

MÉMOIRE

Présenté par : **Mme GUESSOUM Salima**

Pour obtenir le diplôme de **Magister**

Option : Production Végétale et Agriculture de Conservation

THÈME

**Diagnostic du comportement de quelques variétés de blé dur
(*Triticum durum* Desf.) en relation avec l'état hydrique du sol,
en agriculture de conservation, en zone semi-aride.**

Soutenu publiquement le **21/11/2012**

DEVANT LE JURY

PRESIDENT	DEKHILI MOHAMED	Pr. FAC SNV.UFA. Sétif
RAPPORTEUR	HAFSI MILOUD	Pr. FAC SNV.UFA. Sétif
EXAMINATEUR	FENNI MOHAMED	Pr. FAC SNV.UFA. Sétif
EXAMINATEUR	BENMAHAMMAD AMAR	Pr. FAC SNV.UFA. Sétif

Remerciements

Tout d'abord, louange à «**ALLAH**» qui m'a guidé sur le droit chemin et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait abouti.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance et remerciements à mon Encadreur, Docteur **Hafsi Miloud**, Professeur à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Ferhat Abbas de Sétif, pour la confiance et la liberté qu'il m'a accordée, pour avoir partagé son savoir, pour ses critiques et ses encouragements ;

Je tiens aussi à exprimer mes plus grands respects et mes vifs remerciements au Professeur **Dekhili Mohamed**, de la faculté des Sciences et de la Vie de l'Université Ferhat Abbas de Sétif pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury ;

J'adresse aussi mes remerciements aux Professeurs, **Fenni Mohamed** et **Benmahammed Amar**, qui m'ont fait l'honneur de faire part du jury et d'évaluer ce travail ;

Mes remerciements les plus chaleureux vont à Mr **Guendouz Ali** qui a fait preuve d'un grand apport pour la réalisation de ce travail, qu'il trouve ici ma profonde reconnaissance ;

J'adresse mes sincères remerciements et mes plus grands respects à Mr **Hamza Abdelhamid** (Directeur des Services Agricoles) et Mr **Sersoub Djamel**, pour leur soutien et encouragements, qu'ils trouvent ici l'expression de mon profond respect ;

Je remercie vivement tout le personnel de L'**ITGC** de Sétif pour leurs disponibilités, leurs aides précieuses et les facilités qu'ils m'ont accordé, particulièrement Messieurs **Makhlouf Mahfoud**, **Zerargui Hocine** et **Laouar Salim** ;

Je voudrais aussi exprimer mes remerciements particuliers à l'ensemble des collègues chercheurs de l'**INRAA**-Unité de Sétif qui m'ont accueilli au sein de leur organisme et m'ont aidé chacun à sa manière, dans la réalisation de ce travail ;

Mes vifs remerciements vont également à mes collègues de la **Cellule de Développement Rural** de la **DSA de Sétif**, pour leur encouragement ainsi que leur contribution tout le long de ce parcours ;

*Enfin, ce travail n'aurait pas été mené à terme sans le soutien, la patience, les concessions et les encouragements de **mon mari** et de **mes enfants** auxquels je dis merci.*

Enfin, j'adresse mes plus vifs remerciements à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué de quelque manière que ce soit à l'élaboration de ce travail.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

A mes chers parents, en guise de gratitude pour tout leur sacrifice, soutien, confiance, compréhension et amour. Vous êtes les êtres les plus chers à mon cœur, aucun mot ne pourra exprimer ma gratitude et mon estime pour vous ;

A mon Mari et mes enfants pour leur patience, leur soutien et surtout leur tendresse, Je vous remercie infiniment ;

A ma grande famille ;

A ma belle-famille ;

A mes collègues de la promotion de Magister 2009/2012 ;

A tous mes collègues de travail de la Direction des Services Agricoles et spécialement Ceux de la Cellule du Développement Rural.

A tous ceux qui ont contribué à aiguïser ma curiosité scientifique.

Je dédie ce travail

Table des matières

Remerciements

Dédicace

Sigles et abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des annexes

Résumés

Introduction1

CHAPITRE I-REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I - LA CULTURE DU BLE DUR3

1-Historique et Origine du blé dur.....3

1.1. Historique du blé dur.....3

1.2. Origine du blé dur

1.2.1. Origine géographique.....3

1.2.2. Origine génétique.....4

2. Importance de la culture du blé dur

2.1. Dans le monde.....5

2.2. En Algérie.....6

2.2.1. Les zones de production des céréales11

2.2.2. Les contraintes de la production céréalière en Algérie.....11

2.2.3. Consommation et besoin en céréales en Algérie.....12

II- BIOLOGIE, PHYSIOLOGIE ET CONTRAINTES DE DEVELOPPEMENT
DU BLE DUR.....12

1. Biologie de la reproduction du blé dur.....13

2. Cycle de développement du blé dur13

3. Stress Abiotiques et leurs effets sur la plante.....16

3.1. Les stress abiotiques.....16

3.1.1. Le stress thermique.....16

3.1.1.1. Les hautes températures.....16

3.1.1.2. Les basses températures17

3.1.2. Le stress hydrique.....17

3.1.3. Influence du stress hydrique sur le rendement du blé dur.....19

3.2. Mécanismes d'adaptation aux conditions de stress.....20

A-L'esquive du stress21

B-L'évitement du stress21

C-La tolérance du stress.....21

3.2.1. Adaptation phénologique22

3.2.2. Adaptation morphologique.....22

3.2.3. Adaptation physiologique.....24

3.3. Efficacité d'utilisation de l'eau	25
3.3.1. Efficacité d'utilisation de l'eau en relation avec le stress hydrique	26
3.3.2. Efficacité d'utilisation de l'eau en relation avec la discrimination isotopique du carbone.....	27
III-L'ITINERAIRE TECHNIQUE DE LA CEREALE	27
1. Conduite conventionnelle de la céréale sur les hautes plaines Sétifiennes.....	27
2. L'agriculture de conservation comme alternative à la conduite conventionnelle...	29
2.1. Historique, Principes, objectifs et contraintes des techniques de conservation	30
2.2. Les techniques de conservation et leur action sur les propriétés du sol.....	31
2.2.2. Gestion du sol.....	32
2.2.2. Gestion des résidus de récolte.....	33
2.2.3. Gestion des mauvaises herbes.....	33
2.2.4. Lutte contre les maladies et les ravageurs.....	34
2.2.5. Gestion des éléments nutritifs	34
2.2.6. Rotation des cultures.....	34
2.2.7. Agriculture de conservation et GES.....	35
2.3. Conséquences des techniques de Conservation.....	35
2.3.1. Conséquences sur les propriétés du sol.....	35
2.3.1.1. Enrichissement de la surface du sol en matière organique.....	35
2.3.1.2. L'activité biologique.....	36
2.3.1.3. La fertilité du sol.....	37
2.3.1.4. La structure du sol.....	37
2.3.1.5. La densité apparente et la porosité du sol.....	38
2.3.1.6. Humidité du sol et transferts hydriques.....	39
2.3.2. Conséquences sur les rendements des cultures.....	39
2.3.3. Conséquences sur l'érosion des sols.....	39
2.3.4. Rentabilité.....	40
2.4. Contraintes des techniques de conservation.....	40
2.5. Les bénéfices de l'agriculture de conservation.....	40
2.6. La conduite de la céréale en irrigué.....	41

CHAPITRE II-MATERIELS ET METHODES

1-Mise en place de l'expérimentation	43
1.1. Le site expérimental.....	43
1.2. Dispositif expérimental.....	44
1.3. Le matériel Végétal.....	46
2. Les paramètres mesurés	47
2.1. Les paramètres liés au sol.....	47
2.1.1. Suivi de l'humidité du sol.....	47
2.1.2. Mesure de la perméabilité.....	47
2.1.3. Mesure de la densité apparente.....	48

2.2. Les paramètres liés à la plante.....	49
2.2.1. Les caractères phénologiques.....	49
2.2.2. Les caractères morphologiques.....	49
2.2.3. Les caractères agronomiques.....	50
2.2.4. Les caractères physiologiques.....	51

CHAPITRE III-RESULTATS ET DISCUSSION

1. Aperçu sur le climat de l'année d'étude.....	55
2. Les paramètres liés au sol.....	56
2.1. Humidité du sol	56
2.2. La perméabilité.....	61
2.3. La densité apparente.....	63
3. Les paramètres liés à la plante.....	65
3.1. Les caractères phénologiques.....	65
3.2. Elaboration du rendement et ses composantes.....	66
3.2.1. Levée et tallage herbacé.....	66
3.2.2. Le nombre d'épis par m ² (NE/m ²)	67
3.2.3. Le nombre de grains par épi (NGE)	67
3.2.4. Le nombre de grains par m ² (NG/m ²).....	68
3.2.5. Le poids de mille grains (PMG).....	68
3.2.6. Le rendement grain (RDT).....	69
3.2.7. La biomasse aérienne et hauteur des chaumes (Biom).....	70
3.2.8. L'indice de récolte (HI).....	70
3.2.9. Indices de la tolérance à la sécheresse.....	72
3.3. Caractères morphologiques.....	76
3.3.1. La longueur du col de l'épi (LC).....	76
3.3.2. La longueur de l'épi (LEP).....	76
3.3.3. La longueur des barbes (LB).....	77
3.3.4. La hauteur de la tige (HT).....	77
3.3.5. La surface de la feuille étendard (SF).....	78
3.3.6. Le poids spécifique de la feuille (PSF).....	79
3.4. Caractères physiologiques.....	82
3.4.1. Teneur en Chlorophylle Totale (TC).....	82
3.4.2. Teneur Relative en eau (TRE).....	82
3.4.3. Taux de déperdition de l'eau (LWL).....	83
3.4.4. L'efficience de l'utilisation de l'eau (EUE).....	85
3.4.5. L'efficacité de la transpiration (ET).....	85
3.4.6. La Senescence de la feuille drapeau.....	86
4. Etude des corrélations.....	91
4.1. Relation entre rendement en grain et ses composantes.....	91
4.1.1. Fertilité.....	92

4.1.2. Poids de mille grains	94
4.1.3. Nombre d'épis par m ²	96
4.1.4. L'indice de récolte.....	97
4.1.5. Biomasse aérienne.....	98
4.2. Relation entre rendement et les paramètres morphologiques.....	98
4.3. Relation entre rendement et les paramètres du feuillage.....	99
4.3.1. Surface Foliaire.....	99
4.3.2. Poids spécifique de la feuille.....	100
4.3.3. Teneur relative en eau.....	100
4. Relation entre les indices de sensibilité à la sécheresse et les autres caractères	101
SYNTHESE.....	103
CONCLUSION.....	109

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE

Liste des Sigles et Abréviations

<i>Abréviations</i>	<i>Explications</i>
<i>ABA</i>	<i>Acide abscissique</i>
<i>AC</i>	<i>Agriculture de Conservation</i>
<i>ACSAD</i>	<i>The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands</i>
<i>ANOVA</i>	<i>Analyse de Variance (Analysis of Variance)</i>
<i>ATU-PAM</i>	<i>Association trait d'union pour une agriculture moderne</i>
<i>BIOM</i>	<i>Biomasse produite qx/ha</i>
<i>CIC</i>	<i>Conseil International des Céréales</i>
<i>Cm</i>	<i>Centimètre</i>
<i>Cm²</i>	<i>Centimètre carré</i>
<i>Cm³</i>	<i>Centimètre cube</i>
<i>CIMMYT</i>	<i>Centre International pour l'Amélioration du Maïs et du Blé</i>
<i>DA</i>	<i>Densité apparente</i>
<i>DDL</i>	<i>Degré de liberté</i>
<i>EC</i>	<i>Conductivité Electrique</i>
<i>ET</i>	<i>Efficacité de la transpiration</i>
<i>ETP</i>	<i>Evapotranspiration Potentielle</i>
<i>EUE</i>	<i>Efficience d'utilisation de l'eau</i>
<i>FAO</i>	<i>Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (Food and Agriculture Organization)</i>
<i>GES</i>	<i>Gaz à effet de serre</i>
<i>g/m²</i>	<i>Gramme/mètre carré</i>
<i>H%</i>	<i>Humidité pondérale</i>
<i>Ha</i>	<i>Hectare</i>
<i>HI</i>	<i>Indice de récolte (Harvest Index)</i>
<i>HT (cm)</i>	<i>Hauteur totale du chaume</i>
<i>ICARDA</i>	<i>Centre International de Recherches Agronomiques en Zones Arides (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas)</i>
<i>INRAA</i>	<i>Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie</i>
<i>ITGC</i>	<i>Institut Techniques des Grandes Cultures</i>
<i>K</i>	<i>Perméabilité</i>
<i>LB</i>	<i>Longueur des barbes</i>
<i>LC</i>	<i>Longueur du col</i>
<i>LEP</i>	<i>Longueur de l'épi</i>
<i>LWL</i> <i>(g.10³/cm²/mn)</i>	<i>Taux de déperdition de l'eau par la feuille (Leaf water lose)</i>
<i>MADR</i>	<i>Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural</i>
<i>NE /m2</i>	<i>Nombre d'épis comptés par mètre carré</i>
<i>NGE</i>	<i>Nombre de grains par épi</i>
<i>NG/m2</i>	<i>Nombre de grains produits par mètre carré</i>
<i>ONM</i>	<i>Office National de Météorologie</i>
<i>PF</i>	<i>Poids frais</i>
<i>PNDA</i>	<i>Programme National de Développement Agricole</i>
<i>PMG (g)</i>	<i>Poids de 1000 grains</i>

PS	<i>Poids sec</i>
PSF (mg/cm²)	<i>Poids Spécifique Foliaire</i>
PT	<i>Poids à pleine turgescence</i>
Q	<i>Quantité d'eau infiltrée</i>
q	<i>Quintaux</i>
qx/ha	<i>Quintaux/Hectare</i>
RDT (g/m²)	<i>Rendement en grains</i>
RG A	<i>Recensement Général de l'Agriculture</i>
SAT	<i>Superficie Agricole Totale</i>
SC	<i>Somme des carrés</i>
SF	<i>Surface de la feuille étendard en centimètre carré</i>
SPAD	<i>Chlorophylle-mètre mis au point par Minolta Camera Co, Osaka, Japan.</i>
TC	<i>Teneur en Chlorophylle (unité SPAD)</i>
TCS	<i>Technique culturales simplifié</i>
TRE	<i>Teneur relative en eau (%)</i>

Liste des figures

N°	Intitulé	Page
Fig.I.1	Origine et diffusion de <i>Triticum turgidum</i>	04
Fig.I.2	Origine génétique du blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf)	05
Fig.I.3	Evolution des superficies emblavées en blé dur et blé tendre	08
Fig.I.4	Evolution de la production du blé dur et du blé tendre.....	08
Fig.I.5	Evolution des rendements du blé dur et du blé tendre	10
Fig.I.6	Les différents stades de développement du blé	15
Fig.II.1	Dispositif expérimental (Essai plein champs : 2010-2011)	45
Fig.II.2	Schéma descriptif du dispositif de double anneau de Müntz.....	48
Fig.II.3	Appareil de mesure de chlorophylle de model : SPAD-501.....	52
Fig.III.1	Moyennes mensuelles de la pluie et de la température de la campagne 2010-2011 et de la période 1981/82-2009/10.....	55
Fig.III.2	Températures maximales, moyennes et minimales et précipitations enregistrées au cours de la campagne (2010-2011).....	56
Fig.III.3	Fluctuation de l'humidité pondérale moyenne des trois horizons du sol, au cours du cycle Végétatif, en fonction du régime hydrique.....	57
Fig.III.3.A	Fluctuation de l'humidité pondérale de l'horizon H1 (0-20) cm du sol, en fonction du régime hydrique.....	58
Fig.III.3.B	Fluctuation de l'humidité pondérale de l'horizon H2 (20-40) cm du sol, en fonction du régime hydrique.....	58
Fig.III.3.C	Fluctuation de l'humidité pondérale de l'horizon H3 (40-60) cm du sol, en fonction du régime hydrique.....	59
Fig.III.4	Variation de l'humidité des trois horizons du sol, en fonction du régime hydrique, au stade montaison.....	60
Fig.III.5	Variation de l'humidité des trois horizons du sol, en fonction du régime hydrique, au stade fin épiaison.....	61
Fig.III.6	Perméabilité du sol mesurée au stade montaison	62
Fig.III.7	Perméabilité du sol mesurée au stade fin épiaison	63
Fig.III.8	Densité apparente du sol mesurée au stade montaison	64
Fig.III.9	Densité apparente du sol mesurée au stade fin épiaison	64

Fig.III.10	Rendement en grain (Qx/ha) des deux régimes.....	69
Fig.III.11	Biomasse (Qx/ha) des deux régimes.....	70
Fig.III.12	Courbe de l'allure de la sénescence de la feuille drapeau en fonction du cumul des température après la floraison.....	91
Fig.III.13	Relation entre le RDT et le NE/m ² (Régime pluvial).....	91
Fig.III.14	Relation entre le RDT et le NG/ m ² (Régime pluvial)	91
Fig.III.15	Relation entre le RDT et la SF (Régime pluvial)	92
Fig.III.16	Relation entre le NG/m ² et le PMG (Régime pluvial)	93
Fig.III.17	Relation entre le NG/m ² et le PMG (Régime irrigué)	93
Fig.III.18	Relation entre le RDT et l'indice MP (Régime pluvial)	94
Fig.III.19	Relation entre le PMG et LEP (Régime Irrigué)	95
Fig.III.20	Relation entre le RDT et HT (Régime Irrigué)	95
Fig.III.21	Relation entre le PMG et PSF (Régime Irrigué)	95
Fig.III.22	Relation entre le RDT et NE/m ² (Régime Irrigué)	96
Fig.III.23	Relation entre le RDT et NG/m ² (Régime Irrigué)	96
Fig.III.24	Relation entre le PMG et NG/E (Régime Irrigué)	96
Fig.III.25	Relation entre l'indice de récolte et RDT (Régime pluvial)	97
Fig.III.26	Relation entre l'indice de récolte et la hauteur (Régime pluvial).....	97
Fig.III.27	Relation entre l'indice de récolte et la Biomasse (Régime pluvial).....	98
Fig.III.28	Relation entre TRE et LWL (Régime pluvial).....	99

Liste des Tableaux

N°	Intitulé	Page
Tab.I.1	Production mondiale (MT) de blé dur.....	06
Tab.I.2	Superficies Nationales emblavées en blé dur et blé tendre	07
Tab.I.3	Evolution de la production des blés dur et tendre.....	09
Tab.I.4	Evolution des rendements (qha ⁻¹) du blé dur et du blé tendre.....	10
Tab.II.1	Résultats des analyses physico-chimiques du sol de l'essai	43
Tab.II.2	Description du matériel végétal utilisé.....	46
Tab.III.1	Durée des phases phénologiques des dix variétés étudiées.....	65
Tab.III.2	Levée et tallage herbacé.....	66
Tab.III.3	Variation des paramètres agronomiques des dix variétés étudiées, en fonction du régime hydrique.....	71
Tab.III.4	Estimation du taux de sensibilité des dix (10) variétés de blé dur par différents indices de tolérance au stress sous conditions de contraintes et non contraintes hydriques.....	73
Tab.III.5	Corrélations entre rendement grain et les indices de tolérance au stress sous conditions de contraintes et non contraintes hydriques	73
Tab.III.6	Valeurs moyennes de la surface foliaire et du poids spécifique, des deux Régimes.....	79
Tab.III.7	Variation des paramètres morphologiques des dix variétés étudiées, en fonction du régime hydrique.....	81
Tab.III.8	Variation des paramètres physiologiques des dix variétés étudiées, en fonction du régime hydrique.....	84
Tab.III.9	Efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) et efficacité de la transpiration (ET) en Kg/mm/ha, chez les dix variétés étudiées.....	86
Tab.III.10	Valeurs moyennes de la senescence durant tout le cycle (Sa), du cumul des températures à 50% de S ($\Sigma 50S$) et de la vitesse moyenne de la senescence de la feuille drapeau (Vs).....	88
Tab.III.11	Corrélations entre les indices de tolérance à la sécheresse et les caractères mesurés (Régime irrigué)	101
Tab.III.12	Corrélations entre les indices de tolérance à la sécheresse et les caractères mesurés (Régime pluvial).....	101

Liste des annexes

<i>Annexe I</i>	<i>Analyse de la Variance des variables liées au sol</i> <i>I.1. Humidité du sol</i> <i>I.2. Perméabilité du sol</i> <i>I.3. Densité apparente du sol</i>
<i>Annexe II</i>	<i>Analyse de la Variance des variables liées à la plante</i> <i>-Nombre Plants levés/m²</i> <i>-Nombre de talles/m²</i> <i>-Nombre épis/m² (NE) des deux régimes (sec et irrigué)</i> <i>-Nombre Grains/épi (NG) des deux régimes (sec et irrigué)</i> <i>-Poids de Mille Grains (PMG) des deux régimes (Sec et Irrigué)</i> <i>-Biomasse aérienne des deux régimes (Sec et Irrigué)</i> <i>-Rendement Grains des deux régimes (Sec et Irrigué)</i> <i>-Indice de récolte (HI) des deux régimes (Sec et Irrigué)</i> <i>-Indice de tolérance à la sécheresse GMP (Geometric Mean Productivity)</i> <i>-Indice de tolérance à la sécheresse MP (Mean Productivity)</i> <i>-Indice de tolérance à la sécheresse STI (Stress Tolerance Index)</i> <i>-La Hauteur des plants (HT) des deux régimes (Sec et Irrigué)</i> <i>-Longueur de l'épi (LEP) des deux régimes (Sec et Irrigué)</i> <i>-Longueur des barbes (LBR) des deux régimes</i> <i>-Longueur du col de l'épi (LCOL) des deux régimes</i> <i>-Taux de matière sèche du col de l'épi (MSCOL) des deux régimes</i> <i>-Poids spécifique de la feuille (PSF) des deux régimes</i> <i>-Surface foliaire (SF) des deux régimes (Sec et Irrigué)</i> <i>-Teneur Relative en Eau (TRE) des deux régimes</i> <i>-Teneur en Chlorophylle Totale (TC) des deux régimes</i> <i>-Taux de déperdition de l'eau par les feuilles (LWL) des deux régimes (Sec et Irrigué)</i> <i>-Efficacité de la Transpiration et Rendement grain (TE et RDT grain) des deux régimes (Sec et Irrigué)</i> <i>-Coefficient de Variation : Efficacité de la Transpiration (TE) et Rendement en grains (RDT) des deux régimes</i> <i>-Transpiration et Biomasse aérienne (TE et BIOM) des deux régimes (Sec et Irrigué)</i> <i>-Coefficient de Variation : Efficacité de la Transpiration (TE) et Biomasse (BIOM) des deux régimes</i> <i>-Efficacité de la Transpiration, Rendement et Biomasse aérienne (TE, RDT grain et BIOM) des deux régimes</i> <i>-Efficacité de l'Utilisation de l'Eau et Rendement grains (WUE et RDT) des deux régimes (Sec et Irrigué)</i>

	-Coefficient de Variation : Efficience de l'utilisation de l'eau et Rendement en grain (WUE et RDT) des deux régimes - Efficience de l'Utilisation de l'Eau et Biomasse (WUE et BIOM) des deux régimes (Sec et Irrigué) - Coefficient de Variation : Efficience de l'utilisation de l'eau et Biomasse (WUE et BIOM) des deux régimes - Efficience de l'Utilisation de l'Eau, Rendement en Grains et Biomasse (WUE, GY et BIOM) deux régimes
<i>Annexe III</i>	<i>Matrice des corrélations des paramètres agronomiques, morphologiques et physiologiques étudiés du Régime pluvial</i>
<i>Annexe IV</i>	<i>Matrice des corrélations des paramètres agronomiques, morphologiques et physiologiques du régime Irrigué</i>
<i>Annexe V</i>	<i>Corrélation Composante du rendement et efficience de l'utilisation de l'eau et de la transpiration en régime irrigué</i> - En conditions irriguées - En Conditions pluviales
<i>Annexe VI</i>	<i>Corrélation entre la Sénescence et les paramètres Agronomiques, Morphologiques et Physiologiques</i> - En conditions irriguées - En Conditions pluviales

Titre « Diagnostic du comportement de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en relation avec l'état hydrique du sol, en agriculture de conservation, en zone semi-aride ».

Résumé

La présente expérimentation a été conduite au cours de la campagne 2010/2011, sur le site expérimental de la station ITGC de Sétif, avec comme objectif d'évaluer le comportement de dix génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) conduite sous techniques culturales simplifiées (TCS) en zone semi-aride.

Le matériel végétal a été mis en place dans un dispositif en blocs complètement randomisé avec quatre répétitions. Les mesures relevées ont concerné des paramètres liés au sol tels que la variation de l'humidité du profil cultural sur les profondeurs 0-20, 20-40 et 40-60, la perméabilité et la densité apparente du sol, ainsi que ceux liés à la plante: le rendement et ses composantes, les caractères morphologiques (la hauteur de la plante, la longueur de l'épi, la longueur du col de l'épi, la longueur des barbes, la surface et le poids spécifique de la feuille), les caractères physiologiques (la teneur relative en eau, le taux de déperdition de l'eau par la feuille, la teneur en chlorophylle, et la senescence de la feuille étendard) sous deux régimes d'irrigation (avec et sans irrigation), le 1^{er} niveau d'irrigation (20 mm) est appliqué au stade montaison et un autre (20 mm) au stade fin épiaison.

Les résultats obtenus indiquent un effet traitement et une interaction traitement x génotype significatifs pour les caractéristiques mesurées. Le régime hydrique a eu un effet significatif sur toutes les variables mesurées. Le NE/m², le PMG, HP, LEP et le RDT sont hautement significatifs ($P < 0,01$) affecté par les conditions de déficit hydrique et l'effet génotype. Le NG/m², le NE/ m² et la teneur en chlorophylle sont corrélés positivement au rendement grain sous conditions de stress hydrique. Les variétés Waha, Sooty, Dukem et Hoggar ont enregistrées un rendement élevé ($RDT > 60Qx/ha$).

Mots clés : Blé dur (*Triticum durum* Desf.), semi-aride, techniques culturales simplifiées (TCS), rendement et ses composantes, caractères morphologiques, caractères physiologiques, stress hydrique, tolérance à la sécheresse.

العنوان : "تشخيص سلوك بعض أصناف القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) وعلاقته بالحالة المائية للتربة ضمن الزراعة الحافظة بالمنطقة الشبه الجافة"

اجريت هذه الدراسة خلال الموسم الزراعي على مستوى محطة الابحاث الزراعية للمحاصيل الزراعية الكبرى بسطيف و تنطوي على تشخيص سلوك عشرة اصناف من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) وعلاقتها بالمحتوى المائي للتربة ضمن التقنيات الزراعية المبسطة بالمنطقة الشبه جافة.

التصميم التجريبي المعتمد هو التصميم العشوائي بالأجنحة موزعة بأربعة مكررات. القياسات المتخذة للدراسة خست للصفات المرتبطة بالتربة كتغيرات الرطوبة والنفاذية والكثافة الظاهرية وكذا الصفات المرتبطة بالنبات : المردود ومركباته، الخصائص المرفولوجية (طول الساق، طول السنبل، طول عنق السنبل، طول سفة السنبل، مساحة والوزن الخاص للورقة) و الخصائص الفيزيولوجية (المحتوى المائي النسبي، معدل فقدان الماء من الورقة، المحتوى اليخضوري الكلي و الشيوخوخة الورقية) تحت مستويين من الري (مع وبدون سقي) التي تم تطبيقها خلال مرحلة الاستطالة وبعد الاسبال.

اظهرت النتائج المتحصل عليها تأثير معامل وتفاعل علاقات الارتباط المعنوية معامل x نمط وراثي لكل الخصائص المقاسة. لمستوى الري اثر معنوي لكل الصفات المقاسة. لعدد السنايل في المتر المربع، وزن الف حبة ،طول النبات، طول السنبل و المردود الحبي علاقة ارتباط معنوية ($P < 0,01$) التي تأثرت بظروف الاجهاد المائي وتأثير النمط الوراثي. لعدد السنايل في المتر المربع، عدد الحب في المتر المربع ،المحتوى اليخضوري الكلي علاقات ارتباط ايجابي بالمردود الحبي في ظروف الاجهاد المائي. واحة ، سوتي ،ديكام و هوقار سجلت المردود الحبي المرتفع ($60 < Q/ha$).

الكلمات المفتاحية : القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.)، المنطقة الشبه جافة، التقنيات الزراعية المبسطة، المردود ومركباته، الخصائص المرفولوجية، الخصائص الفيزيولوجية، الاجهاد المائي، تحمل النبات للجفاف.

Introduction

INTRODUCTION

La sécurité alimentaire qui constitue une préoccupation stratégique, risque de prendre de l'ampleur et de conditionner le devenir du développement socio-économique des pays en voie de développement qui doivent déployer plus d'efforts pour s'insérer au contexte mondial.

La durabilité des ressources naturelles, la stabilité politique, la croissance économique et le bien-être social dépendent en premier lieu de la capacité d'une société de subvenir à ses besoins alimentaires de base.

Les ressources en terres cultivables dans le monde, et les techniques durables permettant de les exploiter sont à peine suffisantes pour nourrir convenablement toute l'humanité au XXIème siècle (Mazoyer et Roudart, 2006). Chaque pays est contraint à tirer le meilleur parti possible de l'ensemble des terres cultivables dont il dispose, pour améliorer durablement les productions végétales et animales possibles sur son territoire, en utilisant, sans excès, toutes les techniques disponibles (Mazoyer, 2010). Maintenir le système de production viable et durable le plus longtemps possible, est sans doute un des soucis majeurs des producteurs des régions les plus vulnérables telles que les zones arides et semi arides.

De nos jours l'agriculture, doit répondre à des contraintes multiples. Elle doit à la fois optimiser sa production, respecter l'environnement, assurer un développement territorial équilibré et durable et faire face à la globalisation des marchés.

La production des céréales en Algérie reste tributaire des facteurs édapho-climatiques et des facteurs d'ordres techniques (la rotation, la fertilisation et le travail du sol). La prise de conscience concernant le développement rationnel des ressources naturelles a pour but une production agricole durable et une meilleure protection de l'environnement. Le concept de l'agriculture durable vise principalement le maintien de la production qui ne s'accomplit qu'avec la préservation de la capacité de production des sols.

L'eau est le principal facteur limitant la production des céréales au niveau des zones semi-arides. Au cours du cycle de la culture, le caractère intermittent de la pluviométrie associé à la demande climatique élevée du milieu engendrent le stress hydrique avec des conséquences négatives sur la régularité des rendements. Tout gain d'humidité réalisé, suite à une meilleure gestion de la culture ou du précédent, est important parce qu'il induit d'appréciables augmentations des rendements. La conservation de l'eau et le contenu en carbone des sols sont parmi les paramètres importants qui déterminent la qualité du sol. La matière organique et l'activité biologique qui en découle, ont une influence majeure sur les propriétés physiques et chimiques des sols. 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 (Abdellaoui et al ,2011).

Le système conventionnel basé sur le maintien de la jachère et l'intensification des systèmes de production, n'est qu'une agriculture minière puisant dans les ressources du sol sans les renouveler et fragilisant sa structure et son fonctionnement, engendrant ainsi la baisse de la fertilité et par conséquent une diminution progressive de la productivité des cultures jusqu'à des niveaux irréversibles (Mrabet, 2011 ; Lahmar et Bouzerzour, 2011). En Algérie et en un quart de siècle, la matière organique et la fertilité des sols ont chuté de manière drastique (Lahmar et Ruellan, 2007).

Le labour enfouit les résidus et accélère leur minéralisation et particulièrement celle de l'humus qui donne au sol sa stabilité structurale et sa porosité ainsi que les conditions favorables à la vie active du sol. La minéralisation de la matière organique fait que le sol, au lieu d'être un puits de séquestration du carbone devient, une source émettrice d'importantes quantités de gaz carbonique à effet de serre (El Gharras et al, 2009 ; Mrabet, 2011).

La recherche d'itinéraires techniques qui s'adaptent aux conditions abiotiques constitue une alternative qui est à même d'améliorer les rendements. L'Agriculture de Conservation est actuellement promue comme un moyen d'améliorer les productions agricoles, d'utiliser plus efficacement les ressources naturelles et réduire la dégradation des sols dans les zones semi-arides méditerranéennes. Dans ce contexte, la simplification et l'abandon du travail du sol se présentent comme des alternatives susceptibles de freiner la détérioration du milieu, voire de le régénérer et d'assurer ainsi la durabilité du système de production.

La présente contribution porte sur l'analyse des retombées de l'adoption des techniques culturales simplifiées (TCS), sur l'évolution de certains paramètres du sol et d'évaluer le comportement de dix (10) variétés de blé dur (locales et améliorées) et leur réaction aux contraintes hydriques. L'essai a été mis en place sur le site expérimental de la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif au cours de la campagne 2010/2011.

Le mémoire s'articule autour de trois chapitres principaux :

-Le chapitre 1 est une synthèse de la littérature sur la problématique des cultures céréalières notamment celles du blé dur et les techniques culturales appliquées. Dans ce chapitre il est mis l'accent surtout sur les problèmes d'adaptation des céréales aux contraintes abiotiques.

-Le chapitre II décrit de manière plus ou moins détaillée, le matériel végétal utilisé, les paramètres agronomiques, morphologiques et physiologiques mesurés, les paramètres liés au sol ainsi que les méthodes déployées pour cette étude.

-Le chapitre III porte sur la présentation des résultats obtenus et leur discussion à la lumière de ce qui est rapporté dans la littérature. Enfin, la conclusion résume les résultats les plus importants de ce travail et son apport à l'introduction des variétés de blé dur dans la région des hauts plateaux ainsi que l'adoption des techniques de conservation.

Chapitre I

Revue bibliographique

CHAPITRE -I- REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. LA CULTURE DU BLE DUR (*Triticum durum* Desf.)

L'histoire de la domestication et l'introduction des céréales dans l'alimentation humaine est étroitement liée à la sédentarisation de l'espèce humaine. Elle marque l'entrée de l'homme dans la civilisation. Depuis la découverte et la domestication des céréales par les premiers cultivateurs, le blé a toujours été au centre d'enjeux politiques, économiques et sociaux de premiers rangs. Loin d'être un simple aliment, le blé représente une valeur, un besoin et un enjeu géostratégique de par sa place dans l'économie mondiale.

1. Historique et Origine du blé dur

1.1. Historique du blé dur

L'histoire de l'homme et celle des plantes cultivées constituent un ensemble d'interactions continues dans le temps et l'espace (Bonjean et Picard, 1990). Au Néolithique, le passage des premiers groupements humains de l'état de chasseurs-cueilleurs d'une civilisation de nomades à celle d'agriculteurs sédentarisés est le résultat de la domestication progressive de graminées cultivées dont la plus ancienne semble être le blé dur (Feillet, 2000). Le blé est l'une des premières espèces cueillies et cultivées par l'homme au proche Orient, il y a environ 10.000 à 15.000 ans avant J.C (Harlan, 1975).

1.2. Origine du blé dur

1.2.1. Origine Géographique du blé dur

La domestication du blé dur a eu lieu dans le croissant fertile (Dubcovsky et Dvorak, 2007). Des restes de blés, diploïde et tétraploïde, ont été découverts sur des sites archéologiques au proche Orient (Harlan, 1975) et on croit que le blé dur provient des territoires de la Turquie, de la Syrie, de l'Iraq et de l'Iran selon Feldman (2001). Grignac (1978) rapporte que le moyen Orient où coexistent les deux espèces parentales et se rencontrent de nombreuses formes de blé dur, serait le centre d'origine géographique du blé.

Concernant l'origine du blé dur, le croisement spontané du *Triticum monococum* sauvage et d'*Aegilops spelta* est tout à fait vraisemblable puisqu'on rencontre ces deux plantes et *Triticum dicoccoide* dans la même aire géographique (Grignac, 1978 ; Belaid, 1987). A partir de cette zone d'origine, l'espèce s'est différenciée dans trois centres : le bassin occidental de la méditerranée, le sud de l'U.R.S.S. et le Proche-Orient (Monneveux, 1991).

Le centre de diversification du blé semble être le Proche Orient et le Moyen Orient. Toutefois, l'Algérie a été considérée par Vavilov comme un centre de diversification du blé dur. C'est en explorant le pays en 1798 que Desfontaines a individualisé le *Triticum durum* Desf (Erroux, 1974). Bonjean et Picard (1990) affirment que le monde Romain a largement contribué à la diffusion des céréales du bassin méditerranéen vers l'Europe centrale et l'Europe de l'Ouest.

En général, le blé dur, autour duquel ont gravité au cours des siècles, de multiples événements qui ont façonné et contribué à la compréhension de l'histoire, constitue un indicateur de la santé socio - économique des pays (Fig 1.1).



Figure I.1. Origine et diffusion de *Triticum turgidum* (Bonjean, 2001)

1.2.2. Origine Génétique du blé dur

Les différentes espèces de blé ont subi des transformations au fil du temps, les faisant passer de l'état de graminées sauvages à des espèces cultivées. Les différents blés ont été générés par des événements successifs de polyploïdisation intervenant après des croisements interspécifiques entre des espèces ancestrales diploïdes. Le premier événement, impliquant *Triticum monococum* et *Aegilops spelta*, où les deux progéniteurs originaires, se sont croisés dans la nature il y a 10 000 ans (Harlan, 1975) et ont donné naissance au blé tétraploïde « l'amidonniér » (*Triticum turgidum*), qui par domestication a donné le blé dur (*Triticum durum* Desf.) (Fig I.2). Un tel événement s'est produit soit par le fonctionnement des gamètes non-réduits dans les parents, ou bien par un dédoublement chromosomique spontané dans l'hybride, donnant naissance au blé tétraploïde.

Le blé dur (*Triticum durum*) est un hybride naturel, c'est un allotétraploïde avec la constitution génomique (AABB = $2n=4x=28$) (McKey, 1968). Chaque paire de chromosomes du génome A a une paire de chromosomes homologues du B, à laquelle elle est étroitement apparentée (Wall et al., 1971).

Les chromosomes du blé sont groupés en nombre 7, ce qui donne la formule $2n=4x=28$, pour le blé dur et $2n=6x=42$ pour le blé tendre. X étant le nombre chromosomique de base, c'est le nombre de chromosomes dans un génome. Le genre *Triticum* peut être divisé en trois niveaux de ploïdie (diploïde $2n=2x=14$, tétraploïde $2n=4x=28$ et hexaploïde $2n=6x=42$).

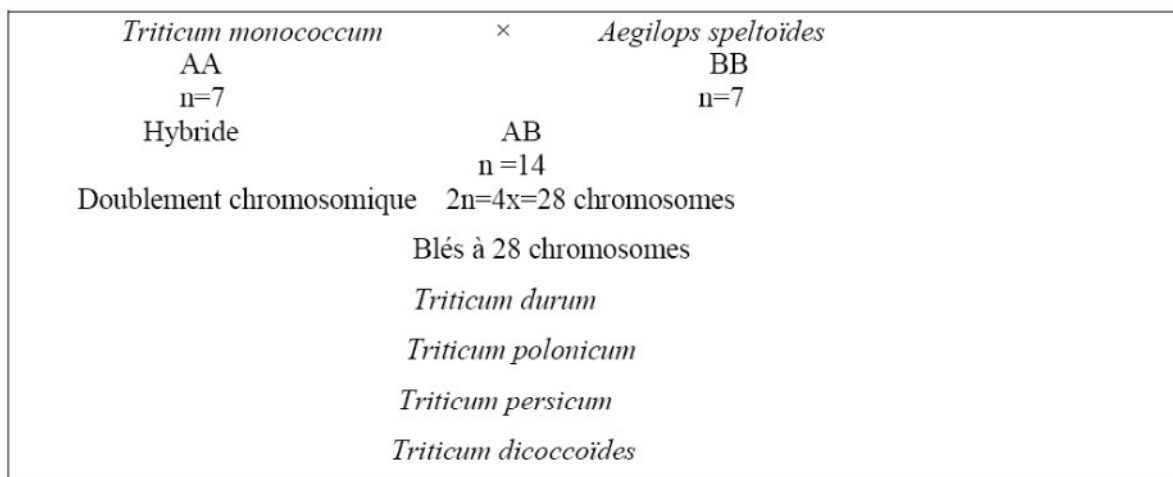


Figure 1.2. Origine génétique du blé dur (*Triticum durum* Desf.) (Croston et Williams, 1981).

2. Importance de la culture du blé dur

2.1. Dans le Monde

La céréaliculture est un des piliers sur lequel se sont élevées des civilisations. C'est l'une des premières activités à laquelle l'homme s'est adonné pour se procurer une source renouvelable de nourriture, et autour de laquelle se sont organisés les liens commerciaux entre les différents peuples.

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est cultivé dans diverses régions du monde, occupant approximativement une superficie de 18 millions d'hectares, avec une présence plus importante dans les grandes plaines du nord de l'Amérique (Dakota, Canada), la Russie et le pourtour du bassin méditerranéen, où il est pratiquement conduit sous régime pluvial. Près de 50 % des superficies mondiales emblavées, sont localisées dans les pays méditerranéens qui sont la Turquie, la Syrie, la Grèce, l'Italie, l'Espagne, la France et les pays de l'Afrique du nord (FAO, 2007).

Les superficies mondiales de blé dur ont tendance à régresser, alors que la production progresse significativement, oscillant entre 24 et 33 millions de tonnes au cours de la période 1994-2007 (FAO, 2007). L'Union Européenne est le plus grand producteur de blé dur, avec une récolte annuelle moyenne de 8,08 millions de tonnes (Tab I.1), le Canada arrive au deuxième rang avec 4,6 MT par an, suivi des États-Unis et la Turquie, avec 2,67 et 1,99 millions de tonnes respectivement. Ces quatre pays fournissent à eux seuls les deux tiers de la production mondiale (Tableau I.1) (FAO, 2007).

Le commerce du blé dur est dominé par l'offre venant du Canada, des USA et de l'Union Européenne. Près de 95 % du volume échangé est produit par ces pays. Le Canada et les USA participent à hauteur de 50 % dans ces échanges (FAO, 2007). Les pays de l'Afrique du nord absorbent la totalité des quantités mises sur le marché. L'Algérie achète à elle seule près de 50% de ces quantités (Smadhi et Zella, 2009).

La quantité consommée a augmenté de 427 %, entre 1961 et 2003, passant de 1,2 millions de tonnes (Mt) à 6,4 Mt (FAO, 2005). Ceci place l'Algérie en première position, suivie par l'Égypte et la Tunisie, pays qui connaissent une forte pression à la demande

alimentaire, notamment en céréales. Les échanges internationaux représentent environ 10% de la production mondiale des céréales, avec une nette prédominance du blé qui assure près de la moitié des transactions internationales, avec environ 100 millions de tonnes (FAO, 2007).

Tableau I.1. Production mondiale (MT) de blé dur (FAO, 2007)

Producteurs	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Algeria	0.56	1.19	2.04	0.46	1.50	0.90	0.49	1.22	0.95	1.81	1.82	1.00	1.00	1.30
Morocco	2.34	0.50	2.27	0.88	1.54	0.80	0.43	1.04	1.03	1.77	2.03	0.75	1.20	1.50
Tunisia	0.44	0.47	1.62	0.80	1.10	1.14	1.10	0.94	0.37	1.31	1.40	1.15	1.10	1.60
Syria	1.95	2.35	2.45	1.90	2.60	1.00	1.10	2.40	2.30	2.30	2.10	2.10	2.10	2.50
Turkey	1.08	1.30	1.50	2.20	2.40	1.60	2.00	1.60	2.30	2.30	2.40	2.30	2.30	2.70
EU	7.16	6.17	7.59	6.70	8.72	7.20	9.07	7.53	9.52	8.34	11.86	7.33	7.66	8.30
India	1.70	1.90	1.80	1.80	1.00	1.00	1.00	1.20	1.40	0.80	1.20	1.20	1.20	1.10
Mexico	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.20	1.20	1.20	0.48	1.20
USA	2.63	2.78	3.16	2.39	3.76	2.70	2.99	2.27	2.18	2.63	2.45	2.56	2.30	2.60
Canada	4.64	4.65	4.63	4.35	6.04	4.34	5.71	2.99	3.88	4.28	4.96	4.75	4.80	4.60
Argentina	0.10	0.10	0.19	0.29	0.16	0.18	0.19	0.14	0.10	0.15	0.18	0.16	0.16	0.40
Australia	0.06	0.20	0.26	0.28	0.40	0.40	0.40	0.40	0.10	0.45	0.40	0.40	0.40	0.70
Russia	1.80	1.00	1.30	2.00	0.50	1.00	1.00	1.30	1.50	1.20	1.00	1.20	1.20	1.70
Kazakh	0.70	0.50	0.50	0.50	0.30	0.40	0.10	0.05	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	3.00
Monde	26.2	24.2	30.4	25.6	31.1	23.7	26.6	24.2	26.8	28.6	33.1	26.2	26.0	33.2

2.2. En Algérie

L'Algérie possède une superficie de presque 2,4 millions de Km², le Sahara occupe plus de 2 millions de Km², soit 84% de la superficie totale du pays. En 2009, sur les 42 millions d'ha cultivables, les terres cultivées ne représentaient que 8,42 millions d'ha soit 19,8 % de la SAT (MADR, 2009). La céréaliculture constitue la principale activité, notamment dans les zones arides et semi-arides. La superficie réservée aux céréales est de l'ordre de 6 millions d'hectares où chaque année 3 à 3,5 millions d'hectares sont emblavés. Le blé et particulièrement le blé dur occupe une superficie voisine de 50 p. cent de la sole céréalière (MADR, 2010) dans un système où domine la rotation jachère/céréale (Feliachi, 2002). Les besoins nationaux, toutes céréales confondues, ont évolués de 19,5 millions de quintaux en 1961 à 95.0 millions de quintaux au début des années 2000 (Hervieu *et al.*, 2006).

Le blé dur est une ancienne culture dont l'origine remonte à la venue des arabes (Laumont et Erroux, 1961) qui ont introduit de notables changements dans l'économie agricole de la région. D'abord par cette culture, dont le succès a été tel qu'il a peu à peu éliminé le blé tendre seul cultivé dans l'Afrique antique (Bouef, 1931 cité par Bencharif, 2011). Le blé dur se partageait avec l'orge, l'essentiel des emblavements ; alors que, le blé

tendre culture européenne qui, après les romains, a été réintroduit et développé pendant la colonisation en raison d'une forte demande en France, connut un certain développement après l'indépendance (Tab I.2). La superficie occupée par le blé dur est de 1 392 726 hectares, en moyenne pour la période 1996/97- 2008/2009, alors que celle du blé tendre est de 758 044 ha (Tab I.2 et fig. I.3) (MADR, 2010). L'importance des superficies occupées par ces deux espèces, comparativement à la superficie occupée par l'orge, est influencée par le prix à la production garanti par l'état. Ces prix sont de 4500, 3500 et 2500 DA respectivement pour le blé dur, le blé tendre et l'orge. La nouvelle politique adoptée par les pouvoirs publics est simple : « Payer les céréales au prix du marché international ».

Tableau I.2. Superficies Nationales emblavées en blé dur et blé tendre
(MADR, 2010)

	Superficie BD (ha)	Superficie BT (ha)
1997	1 510 940	734 420
1998	1 714 720	874 210
1999	1 487 960	791 140
2000	1 485 830	860 170
2001	1 419 040	834 760
2002	1 350 740	813 770
2003	1 321 580	812 510
2004	1 372 495	808 750
2005	1 314 949	721 248
2006	1 357 987	700 066
2007	1 250 617	661 094
2008	1 230 314	641 545
2009	1 288 264	600 892
Moyenne	1 392 726	758 044

La céréaliculture occupe une place prépondérante dans l'agriculture algérienne. Cette importance ne se limite pas seulement à des considérations spatiales mais englobe aussi des dimensions tant alimentaires que socio-économiques. La production céréalière en Algérie ne couvre plus les besoins de la population depuis 1970 (Smadhi et Zella, 2009). Pratiquée en extensif et en régime pluvial, elle ne satisfait plus les besoins alimentaires, besoins qui s'élèvent en moyenne à 250 kg par habitant et par an (Djermoune, 2009 ; Smadhi et Zella, 2009), alors qu'augmentent sans cesse les quantités importées de l'étranger.

Les importations ont atteint 6,35 millions de tonnes en 2008, pour un coût de 3,96 milliards de dollars américains. La France reste le fournisseur traditionnel de notre pays en blé tendre avec 3,85 millions de tonnes importées pour un montant de 886 millions de dollars soit 73,6% du total (tendre et dur) des importations de blé en Algérie durant l'année 2010 (Chabane, 2011).

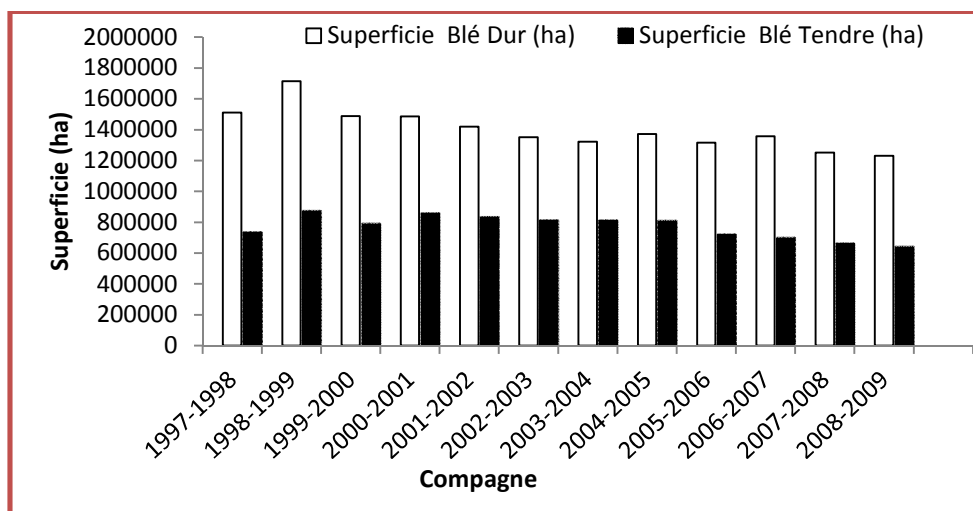


Figure I.3. Evolution des Superficies emblavées en blé dur et blé tendre (MADR ,2010)

La production du blé dur, comme celle du blé tendre, est très fluctuante (Tab I.3 et Fig I.4). Sur la période 1998-2009, la production de blé dur a varié de 4 863 340 qx à 20 017 000 qx, avec une moyenne de 13 804 597 qx. Comparativement, celle de blé tendre a varié de 2 740 270 à 11 625 590 qx, avec une moyenne de 7 222 652 qx. (MADR, 2010).

Pour la même période la production totale des blés a varié de 7 603 610 à 29 648 520 q, avec une moyenne de 21 027 249 qx. Cette production est loin de couvrir la demande qui est de plus en plus importante, suite au faible nombre de produits de substitution et au soutien des prix des céréales (Bedrani et Gerard, 2004).

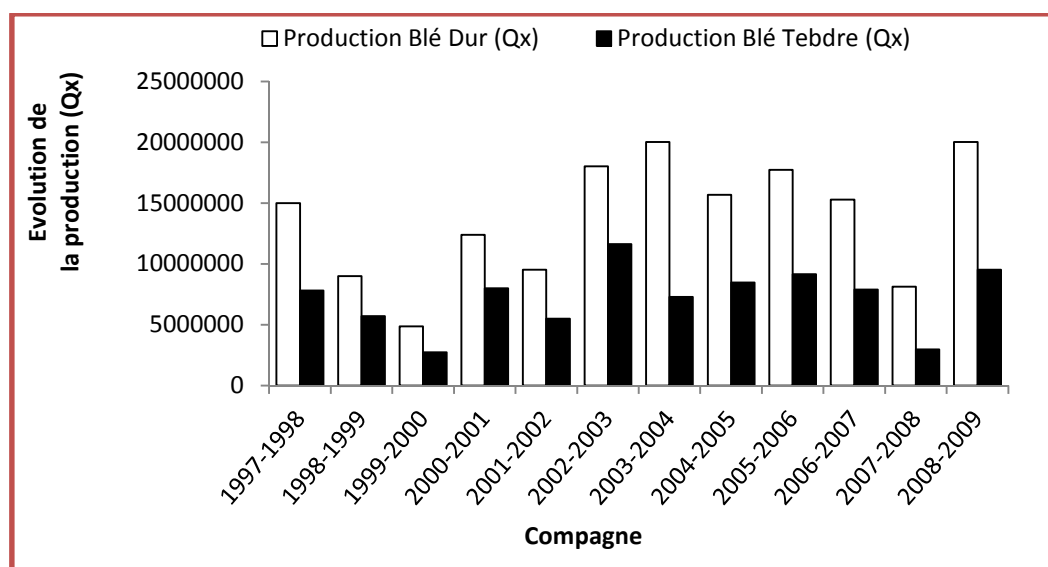


Figure I.4. Evolution de la production du blé dur et du blé tendre (MADR ,2010)

Le pays figure actuellement parmi les premiers importateurs mondiaux de blé dur en s'accaparant de près de 50 % du marché mondial (CIC, 2007). Le rendement moyen de dix quintaux à l'hectare, figure parmi les plus faibles dans le monde, il est en même temps très fluctuant et tributaire de la variation climatique. En effet, la majeure partie des emblavures se trouve sur les hauts plateaux caractérisées par l'altitude, des hivers relativement froids, un régime pluviométrique insuffisant et irrégulier, des gelées printanières fréquentes, et l'apparition du sirocco en fin de cycle (Baldy, 1974 ; Mekhlouf *et al.*, 2006 a).

Tableau I.3. Evolution de la production (q) des blés dur et tendre (MADR, 2010)

Camp/culture	BD	BT	Total
1997-1998	15 000 000	7 800 000	22 800 000
1998-1999	9 000 000	5 700 000	14 700 000
1999-2000	4 863 340	2 740 270	7 603 610
2000-2001	12 388 650	8 003 480	20 392 130
2001-2002	9 509 670	5 508 360	15 018 030
2002-2003	18 022 930	11 625 590	29 648 520
2003-2004	20 017 000	7 290 000	27 307 000
2004-2005	15 687 090	8 460 185	24 147 275
2005-2006	17 728 000	9 151 300	26 879 300
2006-2007	15 289 985	7 899 640	23 189 625
2007-2008	8 138 115	2 972 210	11 110 325
2008-2009	20 010 378	9 520 791	29 531 169
Moyenne	13 804 597	7 222 652	21 027 249

La culture du blé dur demeure encore difficile à maîtriser tant que celle-ci est confrontée à plusieurs contraintes. Cette situation engendre une production faible et variable qui ne couvre que 30 à 35 % des besoins exprimés.

L'analyse des données relatives à la production céréalière obtenue ,durant ces dernières années, montre une évolution en dents de scie avec de très faibles productions au cours des campagnes 1999-2000-2001- 2002 et 2007-2008 (Tab I.3 et Fig. I.4) (MADR, 2010). Cette irrégularité de l'augmentation de la production est due, en partie, aux aléas climatiques, l'utilisation d'anciennes variétés et à la technologie de production moins ambitieuse (gestion du risque).

L'insuffisance de la production agricole algérienne associée à une demande massive et croissante de produits agroalimentaires, fait de l'Algérie un pays structurellement importateur. Conséquences des mauvaises récoltes souvent liées au matériel génétique utilisé (anciennes variétés), à l'irrégularité des saisons pluviales dont dépendent les productions agricoles, et de l'explosion au niveau mondial des prix de certains produits alimentaires d'importation comme les céréales (Smadhi et Zella, 2009).

L'évolution temporelle de la production montre l'ampleur de la dépendance céréalière vis-à-vis de l'étranger. La demande est liée à la croissance démographique et l'amélioration des salaires. L'offre quant à elle est déterminée par l'innovation de nouvelles techniques et la capacité de les mettre à disposition pour augmenter les rendements. Cette situation de dépendance risque de perdurer, si un diagnostic soutenu par une volonté politique n'est pas entrepris pour apporter les correctifs et atténuer le déficit (Djermoune, 2009).

Les études réalisées dans le domaine de la céréaliculture, imputent le plus souvent l'insuffisance de la production céréalière à la non maîtrise de l'itinéraire technique, la méconnaissance des nouvelles variétés par les agriculteurs et au facteur pluviométrique. C'est ainsi que Baldy (1974) fait observer que les zones potentiellement céréalières sont celles qui reçoivent annuellement plus de 350 mm de pluie, ce qui correspond au minimum des besoins en eau des céréales.

Tableau I.4. Evolution des rendements (q ha⁻¹) du blé dur et du blé tendre (MADR ,2010)

Campagne / Culture	Blé Dur	Blé Tendre
1997-1998	8,8	9,0
1998-1999	10,1	11,8
1999-2000	8,9	9,7
2000-2001	11,1	11,1
2001-2002	11,7	9,4
2002-2003	14,2	14,9
2003-2004	15,3	10,4
2004-2005	15	15,1
2005-2006	15,2	14,7
2006-2007	12,9	12,5
2007-2008	11,2	10,6
2008-2009	15,8	16,3
Moyenne	11,28	11,38

D'après les données du Tableau I.4 et figure I.5, nous observons une amélioration progressive des rendements qui sont passés de 8.93 q/ha en 2000 à 15.8 q/ha en 2009, cette situation serait due à l'application des nouvelles stratégies du Programme National de Développement Agricole (PNDA) pour la mise à niveau de cette spéculation.

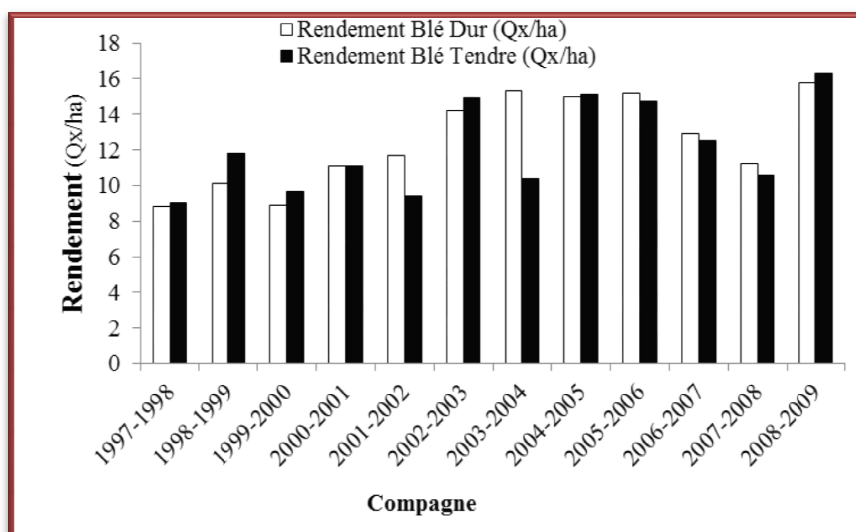


Figure I.5. Evolution des rendements du blé dur et du blé tendre (MADR ,2010)

2.2.1. Les zones de production des céréales

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

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

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

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

***La zone sud**, où se pratique une céréaliculture sous irrigation.

2.2.2. Les contraintes de la production céréalière en Algérie:

La sole céréalière localisée au nord du pays, entre les latitudes 32° et 37° Nord et les longitudes 2° et 9° Est, est limitée entre les isohyètes 300 et 600 mm. Elle occupe 94 % de la surface agricole utile (huit millions d'ha), dont la moitié environ est cultivée alternativement avec la jachère (Smadhi et Zella, 2009). Elle est soumise à de fortes incertitudes liées aux aléas climatiques et aux variations des marchés internationaux. Spéculation pratiquée par la majorité des exploitations : 60 % de l'effectif global (RGA, 2001), associé à la jachère dans la majorité des exploitations. Spéculation présente dans tous les étages bioclimatiques, y compris les zones sahariennes.

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien (Kellou, 2008). Compte tenu de cette importance et l'accroissement démographique, la production nationale n'arrive pas, à satisfaire tous les besoins alimentaires. Face à une telle situation, il est fait recours annuellement à des importations massives de céréales pour combler le déficit (Feliachi, 2000). Cette situation s'explique, essentiellement, par les faibles rendements enregistrés chaque année et qui sont la conséquence de trois principales contraintes :

***La superficie réservée à la culture de blé** est située en grande partie dans les zones des hauts plateaux et des plaines intérieures situées dans l'aire semi-aride et qui sont soumises à des régimes pluviométriques variables qui se traduisent par de fortes contraintes hydriques et thermiques. Cet environnement de production explique en partie la stagnation du rendement qui n'a pas connu d'amélioration notable durant plus d'un siècle (Chehat et al., 1993). S'il

paraît difficile d'agir sur les facteurs naturels, la maîtrise des facteurs techniques palliera à ce problème.

*Les techniques culturales mal maîtrisées, tel que le travail du sol, la protection des cultures et le choix de la date et la dose de semis.

*Un choix du matériel végétal peu ou mal adapté aux conditions d'environnement.

2.2.3. Consommation et besoins en céréales en Algérie

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Ils constituent la source de base de l'alimentation des algériens où elles participent pour 35 à plus de 60% dans la ration alimentaire quotidienne en fournissant plus de 60% de l'apport calorifique et 75% à 80% de l'apport protéique (Djermoun, 2009), sous différentes formes, suite à la diversité de l'art culinaire spécifique à chaque région du pays. Les importantes quantités consommées annuellement par habitant sont le reflet certes de coutumes mais aussi de faibles revenus.

Malgré l'amélioration des productions, le secteur agricole a été souvent dans l'incapacité de faire face à la croissance de la demande liée aux changements des habitudes alimentaires (induites en partie par la colonisation) et à l'élévation des niveaux de vie.

L'agriculture algérienne est structurellement incapable de satisfaire une demande de blé de plus en plus importante qui a classé l'Algérie en 2008 au quatrième rang au monde des pays importateurs du blé, après l'Europe des 27, le Brésil et l'Egypte. La demande de blé en Algérie a été multipliée par 5 depuis l'indépendance et le déficit chronique entre offre et demande ne cesse de croître (Chabane, 2011).

II. Biologie, Physiologie et contraintes de développement du blé dur

Il s'agit d'une graminée annuelle de hauteur moyenne et dont le limbe des feuilles est aplati. Les feuilles sont larges et alternées, la paille souple et fragile, formée d'un chaume portant un épi constitué de deux rangées d'épillets sessiles et aplatis. L'inflorescence en épi terminal se compose de fleurs parfaites (Bozzini, 1988). Le système racinaire comprend des racines séminales produites par la plantule durant la levée, ainsi que des racines adventives qui se forment plus tard à partir des noeuds à la base de la plante et constituent le système racinaire permanent. Le blé dur possède une tige cylindrique, dressée, habituellement creuse et subdivisée en entrenœuds (Bozzini, 1988).

Le chaume (talles) se forme à partir de bourgeons axillaires aux noeuds à la base de la tige principale. Le nombre de brins dépend de la variété, des conditions de croissance et de la densité de plantation. Dans des conditions normales, une plante peut produire en tout trois brins en plus de la tige principale, mais tous ne grènent pas nécessairement (Bozzini, 1988). Comme pour d'autres graminées, Les feuilles de blé dur se composent d'une base (gaine) entourant la tige, d'une partie terminale qui s'aligne avec les nervures parallèles et d'une extrémité pointue. Au point d'attache de la gaine de la feuille se trouve une membrane mince et transparente (ligule) comportant deux petits appendices latéraux (oreillettes). La tige principale et chaque brin portent une inflorescence en épi terminal.

L'inflorescence du blé dur est un épi muni d'un rachis portant des épillets séparés par de courts entrenœuds (Bozzini, 1988). Chaque épillet compte deux glumes renfermant de deux à cinq fleurs distiques sur une rachéole. Chaque fleur est renfermée dans des structures semblables à des bractées, soit la glumelle inférieure et la glumelle supérieure. Chacune

compte trois étamines à anthères biloculaires, ainsi qu'un pistil à deux styles à stigmates plumeux. À maturité, le grain de pollen fusiforme contient habituellement trois noyaux. Chaque fleur peut produire un fruit à une seule graine, soit le caryopse. Chaque graine contient un large endosperme et un embryon aplati situé à l'apex de la graine et à proximité de la base de la fleur.

Le grain : Le grain de blé (caryopse) montre une face dorsale et une face ventrale, un sommet et une base. La face dorsale est creusée d'un profond sillon qui s'allonge du sommet à la base. Le caryopse est surmonté d'une brosse, l'embryon est situé au bas de la surface dorsale. Le grain comporte trois parties : l'enveloppe du grain (péricarpe), l'enveloppe du fruit (assise protéique), l'endosperme (albumen), et le germe ou embryon (Soltner, 2005).

II.1. Biologie de la reproduction du blé dur :

Le blé dur comprend surtout des espèces autogames. Durant la floraison, les fleurs demeurent généralement fermées, et les trois anthères éclatent et libèrent le pollen (anthèse). Les fleurs peuvent aussi s'ouvrir avant la libération du pollen. Après la déhiscence des anthères, de 5 à 7 p. 100 du pollen est libéré sur le stigmate, de 9 à 12 p. 100 demeure dans l'anthère et le reste est dispersé. La floraison peut durer de trois à six jours, selon les conditions météorologiques. Une fois fécondée, l'ovaire grossit rapidement. Deux à trois semaines après la fécondation, l'embryon est physiologiquement fonctionnel et peut produire une nouvelle plantule (Bozzini, 1988).

II.2. Cycle de développement du blé dur

Le cycle de développement est jalonné par une série de transformations qui concernent la tige et l'épi (Gate, 1995).

Le cycle annuel est constitué d'une série d'étapes séparées par des stades repères, dont les plus importantes sont la levée, « épi à 1 cm », l'épiaison, la maturation, permettant de diviser la vie des céréales en trois périodes :

-La période végétative : durant laquelle la plante ne donne que le système racinaire, les feuilles et les talles.

-La période reproductrice : dominée par l'apparition de l'épi et la formation du grain.

-La maturation et dessiccation du grain : migration des réserves élaborées par les feuilles vers le grain.

*La période végétative

C'est au cours de cette phase que la plante produit des feuilles et des racines. Elle s'étend de la germination à l'ébauche de l'épi (Bozzini, 1988). La germination du grain de blé commence quand il en a absorbé environ 25% de son poids d'eau. La racine principale, couverte d'une légère enveloppe ou coléorhize, apparaît, de même que le coléoptile recouvrant la gemmule, il perce la couche superficielle du sol, percé à son tour par la première feuille (Grandcourt et Prats, 1971) (Fig.1.6).

Le tallage est un mode de développement propre aux graminées. Il débute à la troisième feuille, lorsqu'un renflement apparaît à 2cm de la surface du sol, c'est le futur plateau de tallage. La première talle apparaît généralement à l'aisselle de la première feuille lorsque la plante est au stade 4 feuilles. Par la suite, à chaque nouvelle feuille correspond l'apparition d'une talle. En même temps que se déroule la quatrième feuille, et que pointe la première talle, de nouvelles racines sortent de la base du plateau de tallage : ce sont les racines secondaires,

les racines primaires deviennent inactives (Bozzini, 1988).

***Période reproductrice**

La période reproductrice comprend la formation et la croissance de l'épi. Elle s'étend du stade épi-1cm, montaison, au stade floraison. 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 (Grandcourt et Prats, 1971). Cette phase s'achève une fois l'épi prend sa forme définitive à l'intérieur de la gaine de la feuille étendard qui gonfle : c'est le stade gonflement (Bozzini, 1988).

L'épiaison se caractérise par l'émission de l'épi hors de la gaine de la feuille étendard. Les épis sortis de leur gaine, fleurissent, généralement, 4 à 8 jours après l'épiaison. Le nombre de grains par épi est fixé, à ce stade (Bozzini, 1988). C'est au cours de cette période que s'achève la formation des organes floraux et s'effectue la fécondation. La floraison est caractérisée par l'apparition des étamines sur l'épi. Cette phase 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).

Pendant la phase de formation et de **maturation du grain**, il n'y a plus de croissance des feuilles et des tiges. Le produit de l'activité photosynthétique est entièrement dirigé vers le grain qui grossit, met en place ses enveloppes et accumule des éléments carbonés et azotés. Les glucides proviennent de l'activité photosynthétique des feuilles encore vertes et constituent l'amidon du grain. Les acides aminés proviennent de la migration des réserves azotées accumulées dans les parties végétatives (feuilles, tiges, épis) et constituent les protéines du grain (Gate *et al.*, 2003). Le grain passe par trois stades consécutifs : laiteux, pâteux et grain mûr. Entre les stades laiteux et pâteux, la quantité d'eau contenue dans le grain est stable; c'est le palier hydrique, phase critique du remplissage du grain, où un dessèchement prématuré de la plante peut bloquer la migration des réserves et provoquer un "échaudage" du grain (Robert *et al.*, 1993).

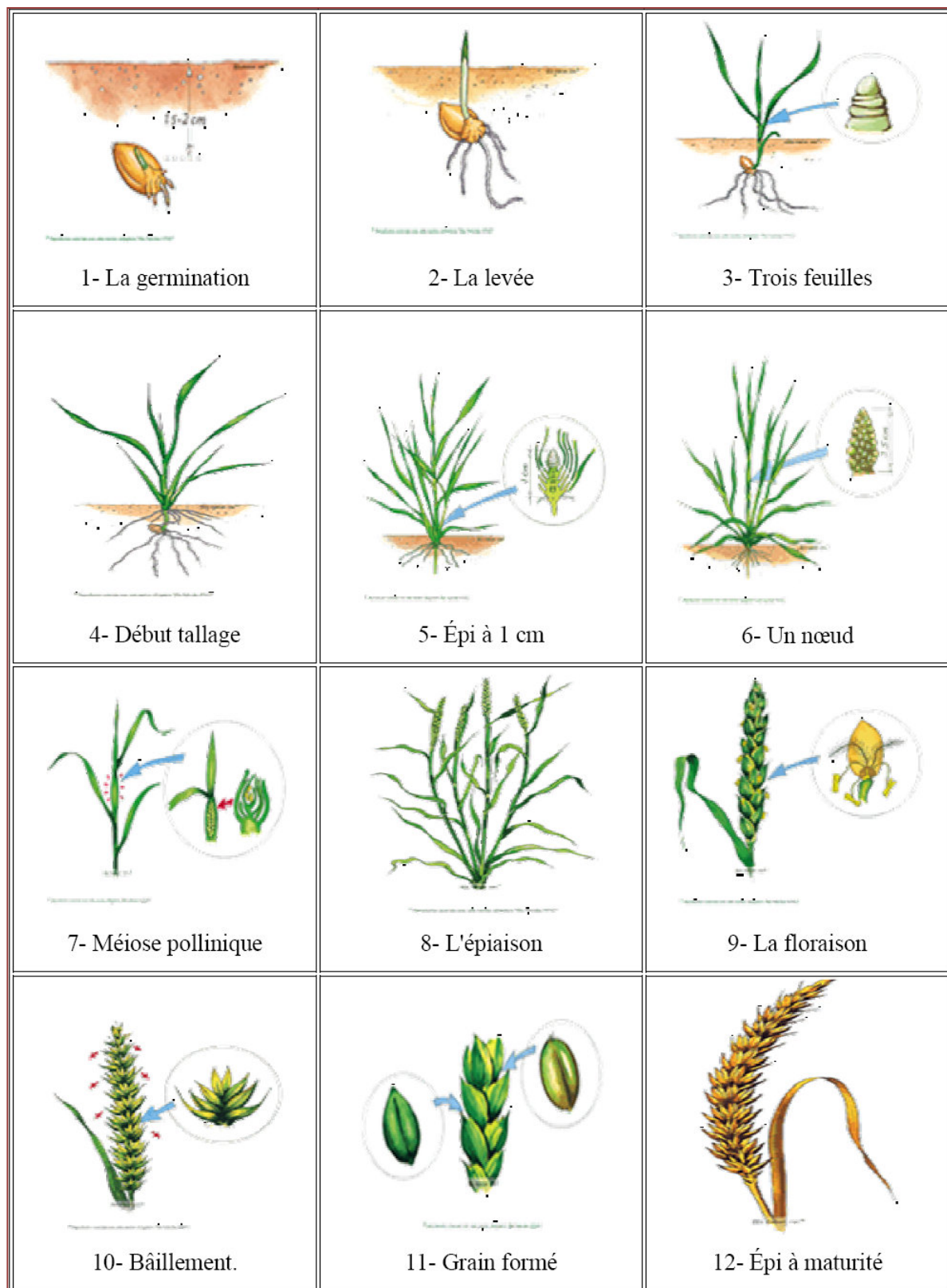


Figure I.6. Les différents stades de développement du blé (Soltner, 2005)

II.3. Stress Abiotiques et leurs effets sur la plante

Dans les zones céréalières de tradition, la culture de blé dur est astreinte, tout le long de son cycle de développement, à de nombreuses contraintes climatiques qui rendent sa production fluctuante. Les contraintes climatiques dominantes sont le déficit hydrique et les excès de température (Benkharbache et al, 2002). Les effets de ces contraintes sont fonction du stade de développement de la plante, de la durée et de l'intensité du stress.

II.3.1. Les stress abiotiques

Le stress désigne généralement les effets que le manque ou l'excès d'un facteur écologique a sur le comportement de la plante, il peut être de nature biotique ou abiotique (Papadakis, 1938). 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, température, salinité,...) affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes (Madhava Rao et al., 2006).

II.3.1.1. Le stress thermique

La variation des températures affecte, au même titre que le manque d'eau, la croissance et le développement de la plante. Certains stades végétatifs et périodes du cycle de développement sont particulièrement plus sensibles à ces événements climatiques (Gate et al., 1997 ; Mekhlouf et al., 2006 b).

Le stress thermique est défini quand les températures sont assez hautes ou basses pendant un temps suffisant pour qu'elles endommagent irréversiblement la fonction ou le développement des plantes. Elles peuvent être endommagées de différentes manières, soit par des températures basses ou élevées de jour ou de nuit, par l'air chaud ou froid ou par les températures élevées du sol. La contrainte thermique est une fonction complexe qui varie selon l'intensité, la durée et les taux d'augmentation ou de diminution de la température (Oukarroum, 2007).

La température est un facteur important pour la durée des phases de pré et post anthèse. Au cours de ces deux phases, le taux de développement des génotypes est différent en raison de la variation de la température selon les années et les environnements (Araus et al. 2003).

3.1.1.1. Les hautes températures interviennent comme contrainte limitant le rendement des céréales en zone semi-aride. Le stress thermique durant la période pré-anthèse modifie, non seulement le poids final du grain, mais aussi le nombre de grains (Wardlaw et al, 1989). Elles affectent les organes floraux, la formation du fruit, ainsi que le fonctionnement de l'appareil photosynthétique (El Madidi et Zivy, 1993). Au cours de la montaison, l'occurrence plus fréquente de températures élevées entraînent la réduction du tallage épi. La méiose et la phase de remplissage du grain sont particulièrement sensibles à l'élévation de la température. Les seuils de 25 à 27°C (jour/nuit) sont rapportés comme étant très pénalisants, réduisent le poids du grain par la limitation de la durée de remplissage (Zahadi et Jenner, 2003).

L'augmentation de 1°C de la température moyenne passant de 22,5 à 27,5 °C réduit la biomasse aérienne, le nombre de grains/épi et le rendement grain (Mahfoozi et al., 2001; Fellah et al., 2002 et Farooq et al., 2011). Des températures de 28 à 32 °C sont considérées comme stressantes. Au-delà de 32°C, on peut observer des dommages irréversibles pouvant aller jusqu'à la destruction de la plante (Wardlaw et Moncur, 1995).

Le stress thermique a un effet néfaste sur l'activité membranaire. Les valeurs de l'intégrité membranaire inférieures à 40% sont jugées comme indicatrices de la résistance génotypique au stress calorique (Blum, 1988). Les hautes affectent le développement de la plante en réduisant la surface foliaire active, la chlorophylle se dégrade et l'activité de la photosynthèse est réduite (Yang *et al.*, 2001). La capacité génotypique à maintenir le limbe foliaire vert, sous haute température, est indicatrice de la résistance au stress thermique (Cornic *et al.*, 2002).

3.1.1.2. Les basses températures sont la cause d'énormes pertes agricoles (Thakur *et al.*, 2010). Le degré de sensibilité des céréales au froid est très variable dans le temps et fonction des stades végétatifs. L'abaissement brutal de la température, en dessous de 0°C, provoque de nombreuses perturbations au sein du végétal. Des cristaux de glace se forment dans les espaces intercellulaires déshydratant les cellules. 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).

Les basses températures hivernales entravent la croissance, en début du cycle, des génotypes sensibles et sont nécessaires pour la satisfaction des besoins des variétés vernalles (Bouzerzour *et al.*, 1995). Lorsqu'elles se présentent tardivement au printemps, leur avènement coïncide avec le stade méiose-épiaison, elles stérilisent alors les grains de pollen et détruisent les ovaires naissants (Abbassenne, *et al.*, 1998).

Au stade plantule, la taille du coléoptile est réduite sous l'effet des basses températures. Au cours de la phase végétative, le feuillage prend une teinte vert foncé avec un port tombant, consécutif à la déshydratation des cellules. 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 (Passioura, 1996). Gate (1995) précise qu'une seule journée à une température minimale inférieure à - 4°C entre le stade épi-1cm et un nœud pénalise le nombre de grains par épi.

Au début tallage, les plantules sont mieux endurcies et les dégâts moins importants. A partir du début de la montaison, la culture redevient sensible aux basses températures parce que les tiges et les jeunes épis entrent en phase de croissance active mettant un terme à l'endurcissement de la plante. Tant que l'ébauche d'épi n'est pas atteinte, les dégâts foliaires ont peu de conséquences sur le devenir de la culture (Paulsen et Heyne, 1983).

Les basses températures pendant la montaison causent la régression des talles montantes et peuvent engendrer des pertes de rendement en grains considérables (Grignac 1981). Dès le stade épi-1cm, limite critique à partir de laquelle la plante redevient très sensible.

II.3.1.2. Le stress hydrique

La variabilité climatique de l'étage bioclimatique semi-aride est principalement liée à la faiblesse et la mauvaise répartition de la pluviométrie dont la conséquence directe est la sécheresse. Dans ce contexte et selon Papy (1979), toute campagne, dont le cumul pluviométrique est inférieur à 300 mm, est systématiquement une année sèche.

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole autour du monde. Il constitue un risque particulièrement présent à tous

les stades de croissance de la céréale et affecte à des degrés divers le rendement (Benchohra et Khelloufi, 2000). Le stress hydrique a été défini comme une baisse de la disponibilité de l'eau, se traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype. 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).

La sécheresse définit l'état de pénurie hydrique dont souffre un végétal (Morizet, 1984). Il y a sécheresse dès que l'eau devient un facteur limitant de la croissance et du rendement (De Raissac, 1992). Baldy (1986) définit la sécheresse comme une combinaison de contraintes hydrique et thermique qui diffèrent considérablement d'un environnement de production à un autre et d'une année à une autre. L'installation d'une sécheresse se manifeste par la combinaison d'une part, de la restriction de la disponibilité en eau du sol et, d'autre part, de l'augmentation de la demande évaporatrice (Kiani, 2007).

Le manque d'eau peut se manifester aussi bien dans le sol que dans l'atmosphère. Généralement, la sécheresse du sol est lente (Larcher, 1995), mais la diminution de l'humidité de l'air peut parfois être rapide (Yokota et al., 2006).

L'effet du stress dépend de son degré, sa durée, le stade de développement de la plante, le génotype et son interaction avec l'environnement (Yokota et al., 2006). Le stress désigne une situation où le végétal n'est pas en état de complète turgescence. Les pertes d'eau de la plante par transpiration dépassent largement la quantité d'eau absorbée (Kramer, 1969). La demande en eau de la plante est déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol (Laberche, 2004).

Gate (1995) mentionne qu'une plante est sous stress hydrique lorsque l'absorption racinaire de l'eau ne peut plus satisfaire la demande induite par la transpiration foliaire. Sous de telles conditions, la plante perd plus d'eau qu'elle n'en absorbe. Cette perte se fait en général au détriment de la turgescence des tissus cellulaires induisant une dérégulation des processus physiologiques et biochimiques (Araus et al. 1998).

Chez les céréales, la période la plus sensible au déficit hydrique élevé est celle qui va de la formation du grain de pollen (stade gonflement) à la fécondation. Tout déficit hydrique survenant à ce moment affecte le nombre de grains/épillet (Gate et al., 1990).

Blum (1996) mentionne que le statut hydrique de la plante peut passer progressivement par trois principales phases, selon le développement du stress hydrique. Au cours de la phase initiale, la transpiration et l'assimilation se déroulent comme si la plante dispose de l'eau à volonté. Cette phase se poursuit jusqu'au moment où le niveau d'absorption racinaire ne peut plus satisfaire la demande climatique que subit la canopée.

La réserve utile du sol est alors épuisée à plus de 50 %. Après ce seuil, la plante entre dans la seconde phase, au cours de laquelle la transpiration et l'assimilation sont réduites relativement à leur potentiel. La plante réagit de façon dynamique, essayant de rétablir l'équilibre entre la demande climatique et l'offre du sol, en faisant intervenir des mécanismes qui lui sont propres comme le développement du système racinaire, la régulation stomatique et la régulation osmotique (Blum, 1996).

Quand le déficit hydrique devient plus intense, alors la plante entre dans la troisième et dernière phase au cours de laquelle les stomates se ferment complètement, annulant toutes activités photosynthétiques. Toutes les pertes hydriques de la plante se font alors à travers les voies non stomatiques (cuticule). Il n'y a plus de gain de matière sèche, la respiration consomme les hydrates de carbone stockés et la plante passe au stade de survie. La période de survie dépend du rythme de la transpiration résiduelle et de la tolérance à la dessiccation des tissus vivants restants (Blum, 1996).

II.3.1.3. Influence du stress hydrique sur le rendement du blé dur

Le déficit hydrique, de nature intermittente, est une des principales causes des pertes de rendement du blé dur, pouvant aller jusqu'au sinistre total. Il influence toutes les phases de développement, de la germination jusqu'à la maturité physiologique (Hsissou et Bouharmont 1994). L'effet de stress hydrique sur la croissance et la phénologie du blé dépend du stade végétatif de l'avènement du stress, de la durée, de l'intensité du stress et de la sensibilité du génotype stressé (El Hafid *et al.*, 1998). Le rendement en grains chez le blé dépend fortement du nombre de grains par épi, du poids de grains par épi et du nombre d'épis par m² (Triboï, 1990). L'effet du déficit hydrique sur ces composantes et par conséquent sur le rendement, dépend du stade au cours duquel il survient (Debaeke *et al.*, 1996). Ainsi, un déficit hydrique à la montaison se traduit par la chute du nombre d'épis par m², la régression intense des talles et la baisse du nombre de grains par épi (Dakheel *et al.* 1993 ; Debaeke *et al.*, 1996). À la fin de la montaison, 10 à 15 Jours avant l'épiaison, la sécheresse réduit le nombre de fleurs fertiles par épillet (Debaeke *et al.*, 1996). Sous stress hydrique sévère, l'épiaison est retardée (Blum, 1996).

La sécheresse provoque la réduction du nombre de grain par épi, du nombre d'épis par plant, du poids moyen du grain, de l'indice de récolte et du rendement en grains (Scofield *et al.* 1988). Le manque d'eau après la floraison, combiné à des températures élevées, entraîne une diminution du poids de 1000 grains par altération de la vitesse de remplissage des grains et de la durée de remplissage (Triboï, 1990 ; Benbelkacem, 2001). Un stress hydrique terminal réduit de la durée de la phase de remplissage du grain induisant une diminution de la taille des grains et réduisant par conséquent le rendement (Dakheel *et al.*, 1993., Gate *et al.*, 1993). au cours de la phase de remplissage le déficit hydrique stoppe l'accumulation de la matière sèche (Wardlaw et Moncur, 1995).

Un faible changement du potentiel hydrique du sol ou du rythme de transpiration peut conduire à une inhibition de la croissance (Simane *et al.* 1993). Le premier effet du déficit hydrique est de réduire de la vitesse de croissance des cellules de la tige (Richards *et al.* 1997., Dakheel *et al.* 1993). La sécheresse provoque l'enroulement du feuillage, le dessèchement des parties apicales, puis la mort des feuilles basales (Blum, 1996). Il active la dégradation de la chlorophylle, et induit la fermeture des stomates, réduisant l'entrée du CO₂. La réduction de la photosynthèse est liée à la réduction de l'activité photochimique du photosystème II (PSII) (Ykhlef, 2002). Un stress hydrique précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Debaeke *et al.*, 1996). Une réduction du statut hydrique des inflorescences peut se produire sous stress sévère provoquant une chute de la fertilité (Eckard, 2000).

L'intensité du stress hydrique induit une baisse de la teneur relative en eau (Scofield *et al.* 1988), ainsi que la réduction des potentiels hydriques foliaire et osmotique (Simane *et al.* 1993). Alors que la croissance foliaire est fortement inhibée, dès l'avènement du stress hydrique, l'assimilation du carbone, réagissant moins vite, produit des assimilats qui sont déroutés en priorité vers la croissance racinaire et utilisés pour l'ajustement osmotique (Blum, 1996). La période la plus critique vis à vis du manque d'eau est comprise entre les 20 jours qui précèdent l'épiaison jusqu'à la fin du palier hydrique (Bouthiba *et al.*, 2006 ; Chennafi *et al.*, 2008).

Pour contrer le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. La résistance globale d'une plante vis-à-vis du déficit hydrique est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques (Passioura, 2004 ; Mefti *et al.*, 2001). Ces dernières interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production (Passioura, 2004). Toute espèce possède donc un éventail de caractères dits adaptatifs qui contribuent au maintien de l'équilibre entre les besoins des organismes et les conditions du milieu (Chaker *et Brinis*, 2005).

II.3.2. Mécanismes d'adaptation de la plante aux conditions de stress

La nature a doté la plante de mécanismes qui lui permettent de tolérer les stress prévalant à des degrés variables. L'exploitation de cette diversité peut déboucher sur une meilleure adaptation au milieu associée à la régularité des rendements. Rosielle *et Hamblin* (1981) définissent la tolérance du stress comme la différence entre les rendements obtenus sous stress et en absence du stress. Elle est aussi définie comme la capacité de la plante à minimiser la baisse de rendement sous stress, comparativement à la baisse de rendement extériorisée par un génotype sensible au stress considéré (Fischer *et Maurer*, 1978 ; Reynolds *et al.*, 2005).

L'adaptation est la capacité d'une plante à croître et à donner des rendements satisfaisants dans les zones sujettes à des stress de périodicités connues (Papadakis, 1932). La notion d'adaptation se confond parfois avec celle de résistance et de tolérance au stress. Elle n'est que la résultante de la tolérance aux contraintes. Une plante adaptée est celle qui tolère ou résiste à un stress donné et réussit à produire à un niveau satisfaisant par rapport à une autre plante qui sera dite non adaptée (Fellah *et al.*, 2002).

La résistance à la sécheresse du blé dur est un phénomène très complexe qui fait intervenir plusieurs caractères phénologiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques. Selon Rejeb *et Ben Salem* (1993), les variétés de céréales résistantes au déficit hydrique se caractérisent par une stratégie regroupant en même temps, un ensemble des mécanismes d'adaptation. La tolérance au stress prend diverses formes dont l'esquive du stress, l'évitement du stress et la tolérance proprement dite du stress (Levitt, 1980). La résistance à la sécheresse est liée à la capacité d'une variété de développer un nombre élevé de mécanismes d'adaptation et non pas à la présence d'un mécanisme donné (Hayek *et al.*, 2000).

A. L'esquive du stress

Pour éviter les périodes critiques du manque d'eau, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique. La précocité ou le raccourcissement de la durée du cycle constitue un important mécanisme d'esquive qui est d'un avantage certain dans les milieux où le stress est plus intense vers la fin du cycle de la culture (Richards *et al.*, 2002 ; Rebetzke *et al.*, 2007). Les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible en produisant la biomasse la plus élevée. De ce fait, le rendement grain est positivement corrélé à la précocité d'épiaison.

Une durée de cycle plus longue où la tardivité peut être, sous certaines conditions, un avantage, car elle permet l'esquive du stress qui apparaît tôt (Ludlow et Muchow, 1990 ; Mekhlouf *et al.*, 2006 b). En absence de stress, les génotypes tardifs sont généralement plus productifs que les précoces. Ceci parce que les génotypes précoces font une moindre utilisation des disponibilités offertes par le milieu de production (Slafer *et al.*, 2005).

B. L'évitement du stress

L'évitement du stress est défini comme étant la capacité de la plante à maintenir un état interne satisfaisant en présence du stress (Blum, 1988). Levitt (1980) cite deux cas d'évitement du stress hydrique : Les plantes économes réduisent la transpiration alors que les plantes dépensières d'eau, évitent la contrainte hydrique en favorisant le développement de leur système racinaire en profondeur (Ali Dib *et al.*, 1992). Pour ce faire, elles dérivent des hydrates de carbone pour développer un système racinaire plus long, au détriment de la biomasse aérienne (Siddique *et al.*, 1990).

C. La tolérance du stress

La tolérance est la stratégie qui permet à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique. Le maintien de la turgescence lors d'un déficit hydrique permet de retarder la fermeture des stomates, de maintenir le volume chloroplastique et de réduire le flétrissement foliaire. Les produits carbonés peuvent alors être utilisés autant pour l'ajustement osmotique que la croissance racinaire. Selon Boyer (1976) et Ehdaie *et al.*, (2006) la translocation est le principal mécanisme qui est associé à la tolérance du stress. D'après Ehdaie *et al.*, (2006), la translocation est mise en œuvre, par la plante stressée, dès que l'activité photosynthétique est inhibée par la contrainte. Ce mécanisme est la principale source de remplissage du grain, sous stress sévère de fin de cycle (Bahlouli et Bouzerzour., 2006 ; Belkherchouche *et al.*, 2009 ; Bouzerzour et Benmahammed ., 2009).

La tolérance exige que l'organisme soit en équilibre thermodynamique avec le stress, ce qui signifie que les conditions qui règnent dans la plante sont en équilibre avec les conditions de l'environnement externe. Cette tolérance implique que l'organisme survive à une dessiccation qui n'endommage pas son protoplasme et qu'il conserve la capacité de reprendre une croissance normale lorsque le protoplasme sera réhydraté.

Selon Araus *et al.*, (2003), il existe divers processus phéno-morpho- physiologiques qui sont à l'origine de ces stratégies. Les variétés qui réussissent à établir un meilleur équilibre entre les différents puits, dans la répartition des hydrates de carbone, paraissent plus avantageuses en milieux variables que celles qui investissent plus dans un puits par rapport à un autre (Siddique *et al.*, 1989 ; Belkherchouche *et al.*, 2009).

II.3.2.1. Adaptation Phénologique

Sous climat méditerranéen, les stress de fin de cycle sont les plus fréquents pour ne pas dire omniprésents. Dans ce cadre, la phénologie de la plante est le moyen le plus simple et le plus utilisé pour échapper à ce type de contrainte. La phénologie est un phénomène relatif à la périodicité des événements morphophysiologiques de la plante et leur interaction avec la variabilité climatique du milieu de production (Kirby *et al.*, 1985). La phénologie rythme le développement de la plante et ajuste le cycle végétatif de manière à l'assortir aux conditions optimales de croissance de l'environnement de production (Bouzerzour *et al.* 1998).

Les paramètres phénologiques d'adaptation ou bien les paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales. En jouant avec ces paramètres, il est possible d'éviter la coïncidence des phases critiques du cycle avec les dates d'occurrence maximales de certains accidents climatiques (hautes températures, déficit hydrique). Ils renvoient au concept d'évitement, ou d'esquive, ou de tolérance définie par Levitt (1980).

La précocité à l'épiaison et à maturité est un mécanisme important d'esquive de la sécheresse tardive. Fischer et Maurer (1978) mentionnent que chaque jour de précocité génère un gain de rendement compris entre 30 et 85 kg/ha. 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 lorsque celles-ci deviennent limitantes (Poorter, 1989).

III.3.2.2. Adaptation morphologique

Les processus d'adaptation interviennent à différents niveaux de l'organisation de la plante. La réponse la plus fréquente d'une plante soumise à une situation environnementale défavorable consiste en une réduction de croissance et une altération de la morphogenèse. En effet, la stratégie adoptée de chaque espèce se traduit par des modifications morphologiques qui affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et/ou un meilleur développement du système racinaire (Slama *et al.*, 2005).

Le développement du système racinaire, joue un rôle essentiel dans l'alimentation hydrique et minérale de la plante. Bensalem *et al.* (1990) notent qu'un système racinaire extensif permet au blé de mieux résister à une contrainte hydrique. Un système racinaire profond permet à la plante de continuer à avoir accès à l'humidité du sol, le plus tardivement possible. Cette caractéristique est le plus souvent liée à la teneur relative en eau foliaire.

La hauteur du chaume est une caractéristique importante dans la translocation des assimilés. En effet sous stress, la contribution des génotypes à paille haute est relativement plus importante que celle des génotypes à paille naine (Ehdaie *et al.*, 2006, Belkherchouche *et al.*, 2009). Fisher et Maurer (1978) mentionnent que les blés hauts ont un indice de sensibilité à la contrainte hydrique plus faible comparativement aux blés nains et semi nains. Alors que Bouzerzour *et al.* (1998) montrent que les variétés d'orge à paille courte, sous stress sévères en fin de cycle, ont une bonne adaptation et une meilleure productivité que les variétés hautes et tardives.

L'enroulement du feuillage chez le blé joue un rôle important dans la réduction de la transpiration, sans diminution de l'activité photosynthétique. Cette régulation est rythmée par l'ouverture et le nombre de stomates par unité de surface foliaire (Hurd, 1974). 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. Alors que Johnson *et al.* (1983), concluent que les plantes à surface foliaire plus grande peuvent tolérer la déshydratation en maintenant le potentiel hydrique élevé.

La stabilité de la chlorophylle est une caractéristique utilisée en sélection pour la tolérance et l'adaptation au stress thermique (Acevedo *et al.*, 1991). La concentration en chlorophylle de la feuille étandard, mesurée deux semaines après l'anthèse montre une corrélation significative avec le rendement grain sous stress thermique (Reynolds *et al.*, 1994).

D'après Acevedo et Ceccarelli (1987), le port des feuilles serait lié à la tolérance à la sécheresse. Le port retombant associé à des feuilles fines, ayant un faible poids spécifique, sont des caractéristiques avantageuses sous climat méditerranéen, parce qu'elles aident à une rapide couverture du sol dès la levée. Cette couverture du sol réduit l'évaporation directe du sol, économisant l'eau pour la seule utilisation de la plante cultivée (Richards *et al.*, 2002). Ces caractéristiques contribuent aussi à une meilleure accumulation de la biomasse aérienne avant l'épiaison.

Selon Rebetzke *et al.* (2007), un coléoptile long est une caractéristique désirable. En effet les génotypes qui présentent une telle architecture sont plus aptes à développer un système racinaire plus long, ce qui leur permet d'éviter les stress précoces, lors de l'installation de la culture. Son rôle est important dans l'amélioration du rendement. Ce rôle peut s'expliquer, d'une part par la photosynthèse courante, et d'autre part, par la migration des quantités d'assimilats stockés à son niveau (Gate *et al.*, 1990., Gonzalez et Ayerbe, 2011).

La présence des barbes chez les céréales augmente la possibilité d'utilisation de l'eau et l'élaboration de la matière sèche lors de la maturation de grain (Nemmar, 1980). La photosynthèse, chez les génotypes barbus comparativement aux génotypes glabres, est moins sensible à l'action inhibitrice des hautes températures lors du remplissage des grains (Fokar *et al.*, 1998). En effet, les barbes peuvent améliorer le rendement en conditions de sécheresse par augmentation de la surface photosynthétique de l'épi (Slama *et al.*, 2005). Sous stress sévère, les barbes sont le dernier organe qui est encore le siège d'une activité photosynthétique, activité qui peut contribuer jusqu'à 40 % au remplissage du grain (Gallagher *et al.*, 1976). L'activité photosynthétique de l'épi du blé est relativement plus tolérante vis-à-vis du stress comparativement à l'activité photosynthétique de la feuille étandard (Xu *et al.*, 2009).

La glaucescence, la pilosité des feuilles ou des tiges, la couleur claire des feuilles et la présence de cire sont des facteurs d'adaptation à la sécheresse; elles sont associées à un abaissement de la température des feuilles et à une réduction de la transpiration (Ceccarelli, 1987). Ces caractères induisent une augmentation de la réflectance des radiations incidentes et limitent donc les pertes d'eau par transpiration (Araus *et al.*, 1997). Clarke *et al.*, (1989) montrent que les variétés qui ont une glaucescence élevée donnent dans des conditions de contraintes, des rendements plus élevés que les variétés à faible glaucescence. C'est un caractère qui influence fortement le rendement et l'EUE en retardant la sénescence foliaire (Richards *et al.*, 1986; Ludlow et Muchow, 1990).

III.3.2.3. Adaptation physiologique

L'adaptation à des milieux aux régimes hydrique et thermique 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 (Chimenti *et al.*, 1995 ; Nouri *et al.*, 2002). La capacité d'ajustement osmotique est variable selon les géotypes, les modalités d'installation du déficit hydrique, et de l'âge de la feuille (Chimenti *et al.*, 2002). En effet, l'accumulation des solutés dans la vacuole et dans le cytosol contribue au maintien de la turgescence d'une part et à la protection des organes jeunes, des membranes et des systèmes enzymatiques d'autre part.

L'accumulation d'osmolites permet de créer un influx d'eau dans la cellule, en augmentant la force de rétention des molécules d'eau (Crowe *et al.*, 1992). Le maintien de cette quantité d'eau permet ainsi de conserver la turgescence nécessaire à la croissance des cellules (Chimenti *et al.*, 2006).

L'accumulation de la proline est indépendante du stade de développement, elle est liée à l'alimentation hydrique (Monneveux et Nemmar, 1986) et l'intensité du stress hydrique (Al Hakimi et Monneveux, 1993). L'existence chez les céréales d'une variation intraspécifique pour l'accumulation de la proline sous l'effet du stress hydrique suggère la possibilité d'une sélection, sur la base de ce caractère, des géotypes qui auront une bonne capacité à survivre et un rendement en grains stable en conditions hydriques limitantes (Bergareche *et al.*, 1993).

La teneur relative en eau est étroitement corrélée à l'ajustement osmotique et peut être considérée comme un critère de sélection dans un programme d'amélioration génétique, comparée aux potentiels hydrique, osmotique ou de turgescence (Rekika, 1997). Il existe une relation entre l'osmorégulation et le rendement en grain chez le blé dur et le blé tendre (Morgan et Gordan, 1986). Selon Rekika (1997), la corrélation observée entre la capacité d'ajustement osmotique et le rendement en conditions semi-arides des lignées, confirme le rôle de l'ajustement osmotique dans la tolérance au déficit hydrique.

D'autres mécanismes peuvent intervenir dans le maintien de la turgescence cellulaire, comme l'élasticité membranaire (Bajji *et al.*, 2000), la réduction de la taille des cellules et la résistance protoplasmique qui dépendent de la capacité des cellules à résister à un dommage mécanique (Lefebvre *et al.*, 2009). Le maintien de la turgescence cellulaire est à la base de la préservation de plusieurs fonctions physiologiques car elle permet de limiter la fermeture des stomates donc de maintenir la photosynthèse, la transpiration, l'assimilation du carbone et l'élongation cellulaire (Bammoune, 1997).

Une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur en conditions de stress hydrique (Bousba *et al.*, 2009). Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle (Slayter, 1974).

L'augmentation du nombre de stomates par unité de surface pourrait être un des facteurs de résistance au stress hydrique si elle est accompagnée par une bonne activité physiologique

(Slama, 2002). L'accroissement de la densité stomatique peut augmenter l'assimilation nette du CO₂ et diminuer la perte en eau. En effet, un nombre élevé de stomates peut engendrer des stomates de petite taille et à fermeture rapide (Djekoun et Ykhlef, 1996). Les variétés ayant une conductance et une densité stomatique élevée sont plus résistantes au stress hydrique en donnant le rendement en grains le plus satisfaisant (Erchidi *et al.*, 2000).

L'acide abscissique (ABA) joue un rôle de médiateur dans les réponses au stress hydrique, principalement dans les mouvements stomatiques. Blum (1996) souligne que l'accumulation de l'ABA dans les différents tissus de la plante, soumise au stress hydrique, a des effets sur le développement et la croissance de la plante qui sont susceptibles de réduire de sa productivité. L'ABA diminue notamment la croissance générale, l'activité photosynthétique, l'initiation foliaire, le tallage, la viabilité du pollen, la formation des graines, et favorise l'abscission des fleurs. Des travaux effectués au niveau moléculaire sur les effets de l'ABA et du stress hydrique confortent l'hypothèse selon laquelle cette hormone joue un rôle clé dans la réponse au stress hydrique (Cattivelli *et al.*, 1995). L'ABA intervient dans la stimulation de la croissance racinaire, la réduction de la surface foliaire, la diminution de la radiation absorbée, l'abscission des feuilles et la fermeture stomatique (Cattivelli *et al.*, 1995). L'identification de géotypes capables de maintenir une photosynthèse active sous contrainte hydrique repose sur une réduction des mécanismes contraignants induits par l'acide abscissique (ABA).

Ces mécanismes ont des effets bénéfiques sur le plan de l'économie en eau, mais accélèrent la sénescence et inhibent la photosynthèse et la croissance, ce qui contribue à réduire le rendement (EL Jaafari *et al.*, 1995).

II.3.3. Efficacité d'utilisation de l'eau

L'amélioration de l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) est l'une des stratégies les plus appropriées pour faire face aux intermittences de sécheresse en conditions de culture pluviale. Elle est définie comme la production de la biomasse par unité d'eau consommée (Richards *et al.*, 2002). L'efficacité de l'utilisation de l'eau dépend toutefois non seulement des caractéristiques biologiques propres à l'espèce, mais aussi de la durée de la saison de culture, de la fertilisation, du rapport partie racinaire sur partie aérienne et de facteurs climatiques tels que le déficit de saturation de l'air (Angus et Herwaarden, 2001).

L'EUE pourrait être obtenue par l'amélioration génétique des cultures permettant l'augmentation du rapport biomasse/transpiration et/ou par des pratiques agricoles maximisant la transpiration (Gregory *et al.*, 2000). L'augmentation des quantités d'eau utilisables par la culture (comme l'irrigation) pourrait aboutir à une augmentation des rendements et de l'EUE, mais à condition que l'augmentation de la transpiration soit proportionnellement plus importante que les pertes d'eau (Gregory, 1989). Cependant, l'augmentation de l'EUE n'est pas toujours avantageuse pour les rendements, puisque l'amélioration de la biomasse végétale peut être à l'origine d'une variation non économique de l'EUE (Van den Boogaard *et al.*, 1997).

Généralement l'EUE exprime le rapport de la matière sèche totale produite à l'évapotranspiration pendant une période donnée (Richards *et al.*, 2002). Si cette période est spécifique au cycle cultural, on parle d'EUE nette ; si elle s'étale durant toute l'année, on parle d'EUE brute (Bos, 1985). Lorsque la production considérée n'est pas la biomasse totale,

mais une partie de celle-ci, telles que les grains ou les fruits, on parle alors d'efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement.

D'un point de vue économique, l'efficacité de l'eau est définie comme le rapport du rendement économique à la quantité d'eau utilisée (Gardner *et al.*, 1985).

Pour les agronomes, l'efficacité d'utilisation de l'eau correspond au rapport de la matière sèche produite à l'évapotranspiration de la culture (EUE), exprimée par la relation suivante :

$$EUE = ET / [1 + (Es/T)] \quad (1)$$

Où ET est l'efficacité de la transpiration (matière sèche/transpiration) ;

Es est l'eau perdue par évaporation de la surface du sol et

T est l'eau perdue par transpiration du végétal (Richards, 1991).

L'EUE peut être améliorée soit par, l'augmentation de l'efficacité de la transpiration, soit par une réduction de l'évaporation du sol. L'importance relative de chacune des composantes de EUE varie selon la distribution des pluies.

Pour les physiologistes, l'unité de base de la production est le gain d'une mole de carbone dans la photosynthèse (A) par rapport à l'eau transpirée (T). Donc, cette définition correspond à l'EUE instantanée à l'échelle des échanges gazeux de la feuille (A/T). Ces deux définitions peuvent être reliées par l'équation suivante (Passioura, 1977):

$$\text{Rendement} = ET * T/ET * W * HI \quad (2)$$

Dans cette relation, le rendement est défini comme étant une fonction du produit de: l'eau utilisée par la culture (évapotranspiration ET), la proportion de la transpiration actuelle de la culture (T/ET), l'efficacité de la transpiration pour la production de biomasse (W) et qui correspond à la quantité de biomasse produite par millimètre d'eau transpirée et enfin le ratio entre le rendement en grain et la biomasse aérienne (HI) (Condon *et al.*, 2004).

Dans la relation (2), aucune des composantes n'est vraiment indépendante l'une des autres (Condon et Richards, 1993). L'efficacité d'utilisation de l'eau à l'échelle foliaire, A/T, est directement et uniquement liée à l'une de ces composantes, W, qui est l'efficacité de la transpiration pour la production de biomasse. Potentiellement donc, A/T peut influencer l'une des trois autres composantes (Condon *et al.*, 2004).

L'EUE est un indicateur de l'adaptation des plantes à la sécheresse. Pour les plantes C3, les processus foliaires qui déterminent l'EUE, sont également ceux qui contrôlent la discrimination isotopique du carbone (Δ), lors de l'assimilation photosynthétique du CO₂. La mesure de Δ est donc une mesure indirecte de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Araus *et al.*, 2003). Les plantes fixant le plus de carbone par unité d'eau transpirée ont une concentration interne de CO₂ faible, une valeur de Δ faible et une composition isotopique riche en ¹³C (Δ peu négative) (Merah *et al.*, 1999). L'altération de l'état physiologique des plantes, causée par le stress, se reflète rapidement au niveau des signaux lumineux et thermique émis par les feuilles. Des mesures *in vivo*, basées sur la fluorescence de la chlorophylle sont utilisées pour estimer la tolérance du stress hydrique, thermique et lumineux (Havaux *et al.*, 1988).

3.3.1-Efficacité d'utilisation de l'eau en relation avec le stress hydrique

Le stress hydrique est l'un des principaux facteurs de l'environnement qui affectent l'EUE. Toute réduction dans le potentiel hydrique du sol engendre une réduction du potentiel

de turgescence foliaire et une réduction dans la conductance stomatique (Kanemasu et Tanner, 1969) ce qui fait augmenter l'EUE i (Nobel, 1991). Lorsque le potentiel hydrique du sol diminue, les plantes réagissent pour conserver l'eau et les stomates sont partiellement ou complètement fermés selon l'intensité du stress. En effet, l'EUE est liée au mouvement stomatique.

La diminution de l'humidité du sol réduit la conductance stomatique, la photosynthèse et le taux de transpiration (Nobel, 1991). Cependant, la réduction de la biomasse due au stress hydrique est moins importante comparativement aux pertes d'eau qui font augmenter l'EUE (Nobel, 1991). Le stress hydrique augmente l'EUE pour une large gamme d'espèce (Hall *et al.*, 1990; Osorio et Pereira, 1994).

3.3.2-Efficacité d'utilisation de l'eau en relation avec la discrimination isotopique du carbone

Le CO₂ Atmosphérique est composé de 98.89% de C¹² et 1.11% de C¹³ et de 0.10 à 0.11% de C¹⁴. Chez les plantes C3, la proportion du C¹³ est plus petite que celle de l'atmosphère, car, les espèces de type C3 discriminent contre le C¹³ pendant la photosynthèse. La discrimination isotopique du carbone ($\Delta^{13}\text{C}$) est la répartition sélective du carbone lors de la photosynthèse. Cette discrimination est liée à la différence de masse entre le C¹² (isotope léger, plus abondant) et le C¹³ (isotope lourd, moins abondant) (Merah, 2000).

La discrimination isotopique du carbone s'explique par le fait que durant la photosynthèse toutes les plantes désavantagent les isotopes plus lourds de carbone en absorbant proportionnellement moins de C¹³ et de C¹⁴. Il y a donc fractionnement isotopique du carbone (Condon *et al.*, 2004). L'importance du fractionnement isotopique dépend du type de photosynthèse mise en action par les plantes. La plupart des plantes sont de type C3, parce qu'elles produisent une molécule de trois atomes de carbone en suivant le cycle photosynthétique de Calvin-Benson. Les plantes C3 retiennent plus le carbone C¹² que le C¹³ (Rebetzke *et al.*, 2007).

L'importance du fractionnement isotopique exercé par la plante est mesurée par le rapport entre C¹² et C¹³, dit $\Delta^{13}\text{C}$, qui est exprimé en parties par mille. Les plantes C3 ont des valeurs $\Delta^{13}\text{C}$ s'approchant de -25 ‰, alors que les valeurs $\Delta^{13}\text{C}$ des plantes C4 ont un écart de -10 à -12,5‰.

La sélection pour de faibles valeurs de $\Delta^{13}\text{C}$ peut constituer une méthode utile pour améliorer indirectement l'efficacité de la transpiration et le rendement grain du blé dur sous conditions de faible pluviométrie lorsque la transpiration est une composante majeure de l'utilisation de l'eau. Des études, conduites sur céréales, montrent la possibilité d'utiliser la discrimination isotopique du carbone ($\Delta^{13}\text{C}$) comme un critère apte à identifier des génotypes tolérants les contraintes climatiques, notamment le stress hydrique (Hafsi, 2001 ; Araus *et al.*, 2003).

III. L'Itinéraire technique de la céréale

III.1.Conduite conventionnelle de la céréale sur les hautes plaines Sétifiennes

Durant l'époque coloniale, Le territoire des Hauts Plateaux Sétifiens fut concédé à plusieurs sociétés financières dont la célèbre **Compagnie Genevoise des Colonies Suisses de**

Sétif (Djennane, 2007) où le dry farming fut appliqué dans la zone. Le principe du dry farming est de produire un blé avec la pluie de 2 années: celle de la précédente jachère et celle du blé qui suit. Cette technique consiste en un travail intensif et répété du sol (généralement un labour profond suivi d'autres plus superficiels). Le dry-farming a cherché à gérer l'eau dans le sol sans se préoccuper de la question de la fertilité. Pour cela, pendant longtemps, le dry-farming a été une agriculture minière puisant dans les ressources du sol sans les renouveler, forçant la minéralisation de la matière organique du sol et fragilisant sa structure et son fonctionnement biologique.

Les sols ainsi traités perdent leur matière organique, leur structure devient fragile et leurs pores s'effondrent. En conséquence, l'eau de pluie n'arrive plus à les traverser et coule en surface (Lahmar et Bouzerzour, 2011). Les techniques conventionnelles de production de céréales semblent atteindre leurs limites. Elles sont mises en cause dans les phénomènes d'érosions hydrique et éolienne, la destruction de la matière organique et de la structure de sols (Wilhelm et al., 1982 ; Bouzerzour et al., 2006).

En Algérie, les zones céréalières dans l'étage bioclimatique semi-aride sont soumises à d'importantes variations pluviométriques et thermiques intra et interannuelles affectant sérieusement les rendements (Bouzerzour et al., 2002). Cependant, l'efficacité de l'utilisation des précipitations doit être gérée dans un contexte d'amélioration du rendement en préservant le réservoir sol. En effet, les conditions pluviales méditerranéennes recommandent une économie de l'eau par les techniques agronomiques et les systèmes de cultures (Machado et al., 2008 ; López-Bellido et al., 2007). Tout en adoptant des méthodes adéquates de conservation des eaux pour réguler le régime des pluies qui est d'une extrême irrégularité spatio-temporelle (Baldy, 1986).

La céréale domine dans un système biennal avec la jachère. Avec ses différentes variantes, la jachère dure 16 mois, de juillet au mois de novembre (Hannachi et Felahi, 2010), le sol pâturé est alors exposé au vent et aux événements pluvieux agressifs. Kribaa et al., (2001) mentionnent que le système jachère céréale, tel que pratiqué, dégrade la structure de l'horizon labouré, réduit la matière organique, l'infiltration et le stockage des eaux de pluie dans le profil du sol. Le recours à des méthodes de conservation des sols valorisant le peu d'eau devient alors incontournable (Kribaa, 2003).

Le travail conventionnel du sol adopté et réalisé en plusieurs passages à une faible profondeur conduit à la compaction des sols et à la fermeture de surface. Le travail excessif des outils induit une dégradation fonctionnelle des sols, dilution de la matière organique dans un volume plus important du sol, une réduction de l'infiltration et un accroissement du ruissellement avec accentuation de l'érosion éolienne et hydrique du sol. La pratique de la jachère intégrale et la pratique systématique du labour profond suivi d'une multitude de façons superficielles nécessaires à l'affinement du lit de semis, augmentent les risques d'érosions dans des milieux déjà fragilisés.

Cependant, il apparaît que la jachère de longue durée (16 mois) n'est pas tellement utile et qu'elle peut être remplacée par une jachère de courte durée. Ceci autorise l'introduction de nouvelles cultures comme cover crops. C'est dans ce contexte que plusieurs recherches suggèrent que certaines cultures peuvent se substituer à la jachère sans que le rendement de la céréale qui suit ne soit affecté (Cayci et al., 2009). Ainsi les espèces à cycle court, dont les besoins en eau sont plus faibles (mélanges fourragers) peuvent être cultivées annuellement, sans le recours à la jachère.

Aujourd'hui, Il est urgent de définir une stratégie de développement durable pour l'ensemble du secteur agricole en visant une utilisation respectueuse des ressources naturelles, mais aussi d'amortir la dégradation des ressources agro écologiques disponibles. Il est nécessaire de choisir un développement raisonné en fonction du potentiel écologique mobilisable par le système et en prenant en considération les contraintes liés à la préservation de l'équilibre environnemental et des impératifs de durabilité (Chabane, 2011).

Les conditions agro-écologiques arides et semi-arides dans les quelles évolue l'agriculture Algérienne portent en eux-mêmes les germes de leur destruction : faible teneur en matière organique, faible stabilité structurale, forte densité apparente, tendance à la prise de masse et faiblesse des résidus en surface. L'agriculture de conservation se réfère à plusieurs pratiques qui permettent la gestion du sol pour des utilisations agraires altérant au minimum sa composition, sa structure et sa biodiversité naturelle et le préservant de l'érosion et de la dégradation. Cela implique le semis direct, les techniques culturales simplifiées ou labour de conservation, la non-incorporation des résidus de récolte et les couverts végétaux ou engrais verts. Les techniques de labour de conservation comprennent un gradient continu allant de la réduction du nombre d'outils aratoires jusqu'à l'élimination complète de toute action mécanique sur le sol (Chevri   et Barbier, 2002).

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).

III.2. L'agriculture de conservation comme alternative à la conduite conventionnelle

Le labour est une pratique agricole ancestrale, dont un des buts premiers est de créer une structure du sol favorable à la germination des graines et au développement des racines (Koller, 2003), répartir la fumure de fond et l'incorporation des amendements, de contrôler le développement des adventices et d'enfouir les résidus de récolte (Guerif, 1994). La charrue moderne fut créée en 1784 ; son utilisation s'est ensuite largement répandue et devint rapidement un des symboles de l'agriculture moderne (Lal et al., 2007). Les inconvénients d'une agriculture intensive sont apparus dès les années 30 aux Etats unies avec la formation du Dust Bowls, Ces tempêtes de poussières qui dévastèrent les cultures dans les plaines du Midwest américain est un exemple de ce qui peut se produire, à long terme, suite à la dégradation du sol, dans les zones arides et semi- arides. Les problèmes de fertilité communs aux sols labourés (baisse des teneurs en matière organique, érosion éolienne et hydrique) ont contribué à l'émergence et le développement de techniques de conservation alternatives au labour dont les résultats sont controversés un peu partout au niveau mondial.

Cette nouvelle conception des métiers de la terre se propose de rendre au sol sa place primordiale au sein de l'agriculture .Ces techniques couvrent une large gamme d'opérations sans retournement du sol, allant du pseudo-labour au semis direct en passant par le travail superficiel. Ces techniques sont fortement développées depuis une trentaine d'années dans certaines régions du monde comme l'Amérique du nord, du sud ou l'Australie pour représenter aujourd'hui environ 115 millions d'hectares dont la plus grande part sur le continent américain (Kassam et Friedrich, 2011).

La céréaliculture algérienne est généralement conduite avec le labour avec exportation de toute la production végétative sans aucun apport d'amendement organique, ce qui entraîne une diminution de la matière organique dans le sol et une répercussion sur l'agrégation, la stabilité de la structure et sur la sensibilité à l'érosion. Les travaux de [Kribaa et al \(2001\)](#) effectués dans la région de Sétif indiquent que la conduite conventionnelle de la céréale dégrade la structure de l'horizon labouré, réduit la matière organique et diminue la réserve en eau dans le sol.

Dans les conditions de l'agriculture Algérienne où les rigueurs du climat, la pression foncière, les besoins de l'élevage, étroitement associé à l'agriculture et les façons culturales conjuguent leurs effets pour appauvrir et dégrader les sols, les techniques de conservation apportent des solutions permettant d'améliorer la teneur en matière organique et la structure des sols, d'utiliser plus efficacement l'eau et les nutriments, et de sécuriser et d'augmenter les rendements de l'agriculture et de l'élevage, dans des conditions compatibles avec la faible pluviométrie ([Raunet et al, 2004](#)). C'est ainsi que le semis direct et les techniques culturales simplifiées, qui se veulent un retour vers les mécanismes naturels mis en jeu dans l'évolution des systèmes écologiques, semblent avoir un regain d'intérêt.

L'agriculture dans les régions arides et semi-arides est une pratique risquée, cependant l'adoption des pratiques de conservation, qui minimisent ou éliminent la perturbation du sol, maintiennent le sol couvert avec des débris morts ou vivants, améliorent, pour le long terme, les propriétés physico-chimiques du sol, économisent du temps et de l'énergie pour la mise en place de la culture, et se montrent très efficace dans le contrôle de l'érosion hydrique et éolienne ([Johnson et al., 1995](#)) assurent la durabilité du système de production et contribuent à l'amélioration de la qualité du sol.

Des résultats contradictoires sont rapportés, en ce qui concerne le comportement de la céréale sous système conventionnel et de conservation dans les régions arides et semi-arides. [Unger \(1994\)](#) ne trouve pas de différences, du point de vue comportement de la céréale, entre les pratiques conventionnelles et conservatrices. Par contre les résultats d'autres recherches indiquent des différences à l'avantage des pratiques de conservation pour le stockage et l'efficacité d'utilisation de l'eau, le rendement et le coût économique ([Johnson et al., 1995](#)). L'adoption des techniques de conservations conduit à une utilisation plus accrue de désherbants sur jachère et sur la céréale qui suit, qui est souvent plus sale.

Le passage du système conventionnel vers les pratiques de conservation doit être accompagné par un changement du raisonnement de la fertilisation azotée de la céréale. Cette dernière doit être revue en hausse, notamment au cours de la période d'installation de la culture. Ceci parce que la matière organique est immobilisée en surface, sa minéralisation n'est pas immédiatement et il faut lui trouver un substitut (apport N minéral). Selon [Doran \(1980\)](#), cette immobilisation est liée à la présence d'une forte population de microorganismes à la surface du sol non labouré.

III.2.1. Historique, Principes, Objectifs et contraintes des techniques de conservation

Les techniques de conservation ne sont pas récentes. De nombreuses formes de l'agriculture traditionnelle l'ont utilisée depuis les temps anciens, notamment en Egypte et par

les Incas dans les Andes. Ils se servaient d'un bâton pour faire un simple trou dans le sol, où la graine était placée à la main et recouverte au pied (Séguy et Bouzinac, 1999).

Cependant, le véritable essor de ces techniques a été atteint aux années soixante avec l'introduction du premier semoir du semis direct sur le marché par Allis Chalmers (Mrabet, 2001 et Raunet, 2004) et l'avènement de l'herbicide total « Paraquat » qui fournit un moyen rapide de destruction totale des adventices (Aibar, 2006).

Selon Robert *et al.* (2004), l'utilisation du non-labour a connu un vif essor aux USA après la crise érosive du **Dust Bowl**. Au cours des années 30, les Etats des Grandes Plaines des Etats-Unis ont été touchés par une intense érosion éolienne. Cette crise résulte d'une sécheresse très prononcée ainsi que d'une mise en culture inconsidérée des prairies naturelles préexistantes. La conjonction de ces deux facteurs a progressivement déstructuré les sols formant des particules facilement mobilisables par les vents. Des tempêtes de sols ont alors frappé les états côtiers. La plus impressionnante des tempêtes (les *Black Blizzards*) a frappé l'Est du pays de Chicago à Manhattan en 1934 (Masutti, 2004).

Les différentes techniques culturales varient essentiellement en fonction de trois critères: la profondeur du travail, l'existence ou non d'un retournement de la surface et le degré de mélange des horizons (Labreuche *et al.*, 2007). Ces critères définissent trois types de techniques à savoir le semis direct, le travail conventionnel et les techniques simplifiées.

III.2.2. Les techniques de conservation et leur action sur les propriétés du sol

Selon Arrouays *et al.* (2002), le travail du sol de conservation est défini comme tout mode de travail du sol et/ou d'implantation de culture qui permet de maintenir au moins 30 % de résidus de culture après le semis. C'est un système conservatoire de gestion des sols et des cultures dans lequel la semence est placée directement dans un sol n'ayant pas été préalablement travaillé. Il ne nécessite aucune préparation, hormis de petits sillons de dimensions suffisantes (profondeurs et largeurs), faits à l'aide d'outils conçus spécialement à cet effet (Séguy et Bouzinac, 1999 ; Richard, 2004).

Les Techniques Culturales Simplifiées sont des techniques de travail superficiel du sol. Elles évitent la dilution de la matière organique sur tout l'horizon de labour en la laissant en surface. En effet les outils utilisés ne travaillent le sol qu'à faible profondeur (moins de 10 cm). Ceci permet de déchaumer, préparer le lit de semences et désherber mécaniquement tout en conservant au maximum la structure du sol.

En Afrique du Nord, le Maroc, a commencé à porter un intérêt à cette pratique au début des années quatre-vingt (Mrabet, 2004). Les recherches sur les techniques de production en semis direct du blé ont commencé en 1983, dans les zones situées sous 200-450 mm de pluie (Bouzza, 1990). En 1987, des essais d'application du semis direct sur les autres cultures ont été entamés. En Tunisie, les projets de développement concernant le semis direct et l'agriculture de conservation ont débutés depuis 1999, par des tests et des expérimentations sur des parcelles d'agriculteurs. Ces projets se sont focalisés sur le travail de comparaison entre les systèmes semis direct et les systèmes conventionnels dans différents étages bioclimatiques (Angar *et al.*, 2011). Comparativement à ces deux pays du Maghreb, l'Algérie, accuse un retard certain (Kheyar *et al.*, 2007) pour la technique du semis direct qui est encore à son stade initial en dépit de nombreuses initiatives de chercheurs et d'agriculteurs pour la

développer sous différentes conditions et cultures. Les premiers travaux sur le semis direct sont ceux initiés par des universitaires et portant sur des aspects phytotechniques (rendements, densité des mauvaises herbes,...). Il est toutefois utile de signaler, qu'au cours des années 80, des essais comparatifs entre le travail conventionnel (TC) et les travaux culturaux simplifiés, (TCS) ont été réalisés à la station ITGC de Sétif en collaboration avec l'ACSAD, les résultats ont été encourageants du point de vue rendements.

Dans la wilaya de Sétif, un intérêt particulier est accordé à l'agriculture de conservation aussi bien par les chercheurs que les agriculteurs qui se sont regroupés autour de « l'Association Trait d'Union pour une agriculture moderne » (ATU-PAM). Celle-ci a d'ailleurs organisé en Mai 2010, les quatrièmes rencontres méditerranéennes sur le semis direct.

Le travail du sol de conservation est une option de plus en plus reconnue pour les avantages agroenvironnementaux qui en découlent (Arrouays et al., 2002). D'après Benouda et al. (2006), Le semis direct est une des meilleures solutions pour atténuer les effets de la sécheresse des zones semi-arides. En plus de ses avantages en matière de réduction de l'évaporation (Richard, 2004), il permet un semis à sec tôt dans la campagne agricole (Raguin, 2008). La culture peut alors profiter des premières pluies de l'année et d'échapper aux sécheresses de fin de cycle, devenues systématiques dans ces régions.

L'adoption des techniques de conservation permettrait la préservation efficace des ressources naturelles et de l'environnement, et leur diffusion doit tenir compte de la diversité du milieu producteur, de ses contraintes et du rôle joué par l'association céréale-élevage ovin. Elle vise aussi à identifier les multiples facettes de ces techniques de conservation qui aident et confortent la durabilité de l'agriculture.

Ce système est adopté un peu partout de par le monde, même dans les régions plus favorables, mais peu dans les régions arides et semi arides où il devrait l'être (FAO, 2002). Parce que maintenir un couvert permanent et utiliser des rotations qui sont les principes de l'agriculture de conservations, sont des pratiques difficiles à mettre en œuvre dans ces régions, nécessitant un long apprentissage.

Le semis direct s'articule sur de nombreuses pratiques qui concourent à sa réussite :

III.2.2.1. Gestion du sol

L'absence du labour permet l'agrégation et la stabilité structurale des horizons supérieurs (Angers et al., 1993 b; Six et al., 2000, 2002), améliore certaines caractéristiques du sol (structure, MO et activité biologique...) en général avec le temps (Massicotte et al., 2000 et Thomas et al., 2009). Les techniques de l'agriculture de conservation (AC) allient la rentabilité des exploitations et le respect du milieu (Sopena, 2006). L'humus, qui désigne l'ensemble du carbone séquestré, contribue à améliorer la structure, le drainage et l'humidité du sol ainsi que sa capacité de rétention des éléments nutritifs. La protection physique de la surface du sol contre les agressions climatiques (Scopel et al. 2005) qui, combinée à une plus grande stabilité des agrégats (Le Bissonais, 1996) permet de lutter très efficacement contre l'érosion.

L'AC permet la fourniture des éléments nutritifs nécessaires aux plantes cultivées, la conservation de l'eau du sol grâce à une meilleure infiltration, une évaporation réduite du fait de la protection du sol contre les fortes températures, une meilleure capacité de rétention en eau et l'utilisation de l'eau profonde du sol.

III.2.2.2. Gestion des résidus de récolte

C'est en zone aride et semi-aride, que l'agriculture de conservation est la plus nécessaire pour combattre la désertification et accroître l'humidité des sols. Mais c'est aussi là qu'elle est le plus difficilement applicable. Laisser les résidus de récolte sur le sol est un élément crucial de cette stratégie. Ceux-ci sont souvent broutés par le cheptel et ne peuvent de ce fait être restitués au sol. Mais laisser sur place des résidus de récolte, même en faible quantité, peut valoir la peine car ils ralentissent l'évaporation de l'humidité du sol. Cet effet est renforcé dans un climat sec, car les résidus mettent plus longtemps à se dégrader. L'absence de travail du sol conserve également l'humidité, ce qui veut dire qu'on produit davantage de matière organique, ce qui l'emporte sur la perte initiale d'aliments pour les animaux ou de revenus de leur vente.

Les résidus de culture laissés dans le champ protègent le sol contre les effets érosifs de pluie et de son ruissellement. Ils contribuent à réduire les risques d'entraînement des particules fines du sol sous l'action des précipitations et à retenir la terre dans le champ. Le mulch agit comme un obstacle à l'évaporation et une protection mécanique : il diminue l'effet splash et l'énergie cinétique de départ des gouttes d'eau, et s'oppose au déplacement latéral en formant des barrières physiques agissant comme des microbarrages. La présence de résidus de culture protège la surface des sols non labourés. Cette protection peut contribuer à limiter l'évaporation (Mielke et al., 1986) et à maintenir une température plus adéquate dans le sol (Coote et Malcom-McGovern, 1989), ce qui favorise possiblement le développement de l'activité biologique, l'agrégation et l'accumulation du C organique dans les premiers centimètres du sol. La diversité (Diosma et al., 2006) et la structure (Peixoto et al., 2006) des communautés microbiennes diffèrent en situation de labour et de non labour, les mécanismes de séquestration du C dans le sol peuvent différer d'un mode de travail du sol à l'autre.

Une bonne gestion des résidus de récolte protège le sol contre l'érosion et les agents climatiques, améliore la qualité du lit de semence en l'enrichissant en matière organique et augmente le taux d'humidité des sols (Guennouni, 2007). Un bon couvert végétal réduit l'évaporation en période sèche et évite le ruissellement en période pluvieuse (Mrabet, 2001). Le système de semis direct implique l'utilisation de résidus de culture, non pas comme fourrages, mais comme couverture. Ainsi, les parcelles ne peuvent pas être pâturées après la récolte des grains. Mrabet (2001) suggère qu'une amélioration et une bonne gestion des pâturages doivent être considérés et intégrés aux pratiques du semis direct.

III.2.2.3. Gestion des mauvaises herbes

L'adoption d'un système de culture se répercute inévitablement sur la flore adventice et toute modification des pratiques culturales se répercute sur la structure de cette dernière (Guillaume et al., 2008). La gestion des mauvaises herbes est l'une des contraintes du développement de la technique du semis direct. Il a été démontré que le labour favorise les adventices annuelles alors que le semis direct favorise le développement des graminées et des vivaces (Vullioud, 2006). Ainsi, la transition du semis conventionnel au semis direct peut engendrer l'inversion de la flore adventice qui peut se traduire par la régression de certaines espèces et l'apparition d'autres espèces plus redoutables (Dridi et al., 2010). La lutte contre les mauvaises herbes constitue un des avantages de la pratique conventionnelle.

Le système non labour ne peut être durable que par la maîtrise de la propagation des mauvaises herbes (El Brahli et al., 1997). Il est essentiel de comprendre les changements que subissent les mauvaises herbes et leur stock semencier dans le sol afin de trouver les pratiques

de lutte les plus efficaces (Brown *et al.*, 2003) par la prévention en utilisant un matériel végétal et des outils de travail ne portant pas de graines de mauvaises herbes (Aibar, 2006), les rotations des cultures (graminées/dicotylédones) qui empêchent l'installation des mauvaises herbes (Brown *et al.*, 2003; Aibar, 2006), le désherbage chimique (Mrabet, 2001 et Aibar, 2006) et les prospections permanentes des champs pour évaluer la densité et la fréquence des mauvaises herbes (Perez De Ciriza Gainza, 2004).

Le développement d'adventices pérennes et vivaces est plutôt facilité par les techniques de conservation à cause des débris laissés en surface. Cette particularité engendre un renforcement des traitements herbicides néfaste pour la biodiversité. La gestion du désherbage chimique et mécanique va jouer un rôle important sur l'évolution du stock d'adventices. Cependant l'utilisation systématique de produits phytopharmaceutiques va à l'encontre de la biodiversité favorisée par les techniques de conservation. Ainsi l'utilisation d'un couvert végétal et d'une rotation culturale étudiée sont les meilleurs moyens pour limiter les infestations majeures.

III.2.2.4. Lutte contre les maladies et les ravageurs

L'habitat, produit par la culture en semis direct, est favorable aux maladies et aux ravageurs, surtout ceux qui s'attaquent aux racines (Guennouni, 2007). Toutefois, la rotation des cultures interrompt le cycle des maladies et assure un apport raisonné d'éléments nutritifs procurant une meilleure résistance (Brown *et al.*, 2003).

III.2.2.5. Gestion des éléments nutritifs

Les besoins en éléments nutritifs dans tous les systèmes culturaux sont les mêmes. Cependant, le type et le moment de l'application changent. En semis direct, les engrais peuvent être apportés au moment du semis si le semoir direct est combiné, ou bien plus tard en fumure de couverture, selon les besoins de la culture et la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol, sans oublier le facteur climatique (Brown *et al.*, 2003).

En semis direct, il y a une réduction de pertes en engrais minéraux et en humus ainsi qu'une distribution plus homogène, due essentiellement à leur rétention par les résidus et les colloïdes formés à la surface du sol non labouré.

III.2.2.6. Rotation des cultures

Dans tous les systèmes culturaux, la rotation des cultures est l'élément essentiel pour préserver la productivité des sols et protéger les cultures contre les infestations majeures de maladies et ravageurs. La rotation dans les systèmes où le travail du sol est réduit est en général plus longue. La quantité de résidus et leurs types sont importants à prendre en compte. L'impact du type de résidus sur les risques de maladies et d'insectes ravageurs est certain. La rotation des cultures aide à réduire ces risques.

Pour les céréales, le choix d'un précédent cultural est très important car il permet à la culture de bénéficier des avantages apportés par ce précédent. Elle augmente le taux de la matière organique dans le sol et la disponibilité de l'azote si elle comprend des légumineuses fixatrices d'azote, comme elle peut également augmenter les rendements (Michon, 2007).

III.2.2.7. Agriculture de conservation et GES (Gaz à effet de serre)

L'agriculture se trouve au centre de multiples enjeux qui font parfois débats. Elle est confrontée à la nécessité d'une part de réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES) et d'autre part de produire de la biomasse. Ces objectifs ne doivent cependant pas occulter le rôle premier de l'agriculture au niveau mondial, à savoir l'alimentation.

L'impact de la crise énergétique sur l'agriculture rend plus que jamais nécessaire la réduction de la consommation d'énergie en s'intéressant en particulier au travail du sol qui représente le poste le plus important. Le semis direct devient de plus en plus attractif, cependant l'impact agronomique et environnemental du SD est encore peu connu (Khaledian et al, 2006). Les pratiques visant à conserver le sol et les éléments nutritifs comme le travail réduit, le non labour, la gestion adéquate des rotations de culture et la préservation des terres humides contribuent à séquestrer du C organique dans le sol (Lai, 2002; Dumanski, 2004).

Cette séquestration du C organique du sol s'avère une stratégie avantageuse en termes de coûts et de bénéfices (Lai, 2002). Lai (2004) définit la séquestration du C, comme l'absorption du CO₂ atmosphérique par les plantes et le stockage ou la fixation du C dans le sol sous forme de matière organique. La stratégie consiste à hausser la quantité de C organique dans le sol, à en accroître la distribution en profondeur et à en augmenter les formes stables par son incorporation dans des microagrégats afin de le protéger des attaques microbiennes (Lai, 2004). L'augmentation de la quantité de C retenue dans le sol est synonyme d'une hausse de sa teneur en matière organique, ce qui influence positivement la qualité du sol, qui se traduit par une amélioration de l'agrégation, de l'aération, de la capacité d'infiltration et de rétention de l'eau et de la qualité des eaux de surface et souterraines, par une diminution de l'érosion et par une augmentation de la capacité d'échange cationique du sol, de l'activité biologique, de la biodiversité et du recyclage des éléments nutritifs (Lai, 2002, 2004; Arrouays et al., 2002).

III.2.3. Conséquences des techniques de conservation

III.2.3.1. Conséquences sur les propriétés du sol

III.2.3.1.1. Enrichissement de la surface du sol en matière organique

La matière organique du sol est l'un des principaux attributs de la qualité du sol, c'est la composante la plus complexe, la plus dynamique et la plus réactive (Tabatabai, 1996). Selon Six et al. (2002), des niveaux appropriés de matière organique dans le sol en assurent la fertilité et minimisent les impacts de l'agriculture sur l'environnement via la séquestration du C, la réduction de l'érosion et la préservation de la biodiversité du sol. La gestion du sol détermine en quelque sorte si les terres cultivées se comportent comme des puits ou des sources de CO₂. Les modes de travail du sol supprimant le labour contribueraient à augmenter la teneur en C organique en surface et ainsi à favoriser la séquestration du C dans les premiers centimètres du sol (Angers et al., 1997; Six et al., 2002).

La teneur en matière organique des sols cultivés est un paramètre fortement dépendant des pratiques culturales, notamment du retour des débris végétaux au sol et de la profondeur d'homogénéisation de la couche de sol travaillée. L'effet des pratiques culturales sur la teneur en carbone organique peut modifier les qualités agronomiques d'un sol (Loveland et Webb, 2003).

En labour, les teneurs en carbone sont homogènes dans l'horizon retourné puis diminuent sur le reste du profil ; en travail superficiel et en non-travail, le carbone est concentré en surface puis diminue rapidement avec des taux inférieurs à ceux obtenus en labour sur l'ancien horizon travaillé (Guérif, 1994). Les horizons de surface sont progressivement enrichis en MO et en éléments minéraux sous l'effet de l'accumulation des résidus de récolte (Chervet *et al.*, 2005).

En absence de labour, la surface du sol est protégée par les résidus de culture et contient davantage de matière organique; le taux de destruction des microagrégats y est beaucoup moindre et la protection physique du sol par les résidus contribue à prévenir la biodégradation de la matière organique (Balesdent *et al.*, 2000). Deen et Kataki (2003) ont eux aussi démontré que l'absence de labour contribue à augmenter la concentration en C organique dans les couches superficielles du sol, mais non dans le profil en entier. C'est également ce que Yang et Wander (1999) ont remarqué. Leurs résultats montrent que l'utilisation du semis direct a entraîné l'augmentation de la teneur en C organique dans les 30 premiers cm du sol, mais qu'il n'y a pas eu d'accroissement des stocks de C organique dans l'ensemble du profil.

III.2.3.1.2. L'activité biologique

Le sol est un milieu vivant constitué de milliers d'espèces. Le type de technique choisi pour travailler le sol va avoir des impacts importants sur les organismes, et il faudra donc adopter celle permettant une interaction bénéfique entre toutes ses composantes. La biodiversité des sols labourés est généralement inférieure à celle subissant de moindres perturbations physiques.

L'absence de labour permet de conserver des résidus de culture à la surface du sol et favorise le développement de l'activité biologique (Angers *et al.*, 1993a). En effet, l'augmentation de la matière organique dans les premiers cm du sol constitue une réserve de nutriments indispensable qui permet le développement et l'activité des êtres vivants. Ainsi, l'ensemble de la chaîne alimentaire pourra bénéficier de l'arrêt du retournement du sol.

L'augmentation de la MO en surface sous techniques de conservation, favorise la biomasse et la diversité microbienne dans la partie superficielle du sol. En effet, la zone 0-5 cm voit une augmentation significative des bactéries mais aussi l'apparition de nouvelles espèces non présentes en labour. Les champignons, sont aussi favorisés et participent activement à l'agrégation des sols ce qui a pour conséquence une meilleure stabilisation.

Les techniques de travail du sol de conservation entraînent donc une stratification verticale de la biomasse microbienne au sein du profil de sol. Dans les systèmes les moins perturbés, 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 (Frey *et al.*, 1999; Kennedy, 1999; Spedding *et al.*, 2004).

Les sols travaillés intensivement seraient donc dominés par des espèces bactériennes tandis que les sols où le travail du sol est limité favoriseraient le développement de populations fongiques (Young et Ritz, 2000).

Le travail du sol affecte plus particulièrement certains groupes microbiens comme les populations nitrifiantes ou les champignons mycorhiziens. Ces derniers sont plus

abondants dans les systèmes les moins perturbés (Drijber et al., 2000) et la communauté des bactéries nitrifiantes est plus diversifiée dans les systèmes non travaillés (Ibekwe et al., 2002). Par ailleurs, il semblerait que les systèmes de conservation favorisent le développement d'espèces anaérobies dans les couches de sol qui ne sont plus fragmentées par les outils (Drijber et al., 2000) tandis que les sols labourés sont dominés par des espèces microbiennes aérobies avec une haute activité métabolique (Spedding et al., 2004).

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; Peigné et al., 2007). Les vers de terre contribuent à structurer les sols. Leurs galeries aèrent la terre et favorisent l'infiltration de l'eau. Leurs déjections, issue des matières organiques et des particules de terres qu'ils broient, sont essentielles au développement de microorganismes qui les recyclent en nutriments et en humus. Le volume de l'ensemble des organismes vivants du sol semé directement se multiplie par dix par rapport au labour (Michon, 2007). Le volume des galeries de vers de terre augmente considérablement lors du passage d'un système labour à un système à semis direct (Bottinelli, 2010). Les galeries agissent comme des voies préférentielles de l'eau sans pour autant que la macroporosité soit augmentée (Capowiez, 2000).

En situation de non labour, l'augmentation de la biodiversité et de l'activité biologique (Holland, 2004 ; Blanchart et al., 2006 ; Blanchart et al., 2007) permettent la création de porosité biologique (Carof et al., 2007) et l'augmentation du recyclage des éléments nutritifs (Scopel et al. 2005).

III.2.3.1.3. La fertilité du sol

L'adoption d'un nouveau mode de travail du sol a des effets multiples sur la fertilité d'un sol, en modifiant les conditions physiques, et biologiques, de l'environnement immédiat des racines en croissance. Ces transformations amèneront graduellement un nouvel équilibre dans les relations entre les formes organique, minérale, soluble, adsorbé, rapidement disponible et lentement disponible des éléments nutritifs.

En passant du système conventionnel, à l'un ou l'autre des modes de travail réduit, les besoins externes des cultures en éléments nutritifs (N, P, etc.) vont diminuer dans la mesure où la capacité du sol à les fournir s'améliorera. Mrabet et al., (2001) ont trouvé que les niveaux de phosphore, d'azote et de potassium augmentent en semis direct par rapport au semis conventionnel, dans les horizons de surface du sol. Elles assurent une amélioration de l'agrégation, du pH et du taux de matière organique (Saber et Merabet, 2002).

III.2.3.1.4. La structure du sol

Le travail du sol modifie la structure du sol ainsi que la répartition des résidus de cultures et l'accessibilité de la MO aux microorganismes. Ces modifications agissent sur la biologie du sol et notamment sur les microorganismes du sol. Dans les systèmes non travaillés (semis direct), la structure est principalement créée par l'action du climat et par des processus biologiques (Oorts, 2006). 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).

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). L'effet du non labour sur la stabilité de la structure du sol en surface est bien établi (Angers *et al.*, 1993 b). Cette amélioration est à mettre en relation avec l'évolution des teneurs en matière organique dans les couches de surface.

Le mulch améliore la résistance du sol au tassement, limite la battance et augmente la stabilité des agrégats (Bouzerzour *et al.*, 2006 et Thomas *et al.*, 2009). La structure du sol se modifie progressivement pour atteindre un profil cultural homogène après quelques années (Brown *et al.*, 2003). Chervet *et al.* (2005) ont noté que la structure à plaques du sous-sol (semelle de labour) est brisée par l'action conjointe de la pénétration des racines et des tunnels creusés par les vers de terre.

III.2.3.1.5. La densité apparente et la porosité du sol

L'adoption des techniques de conservation modifie les caractéristiques de la structure du sol à l'échelle macroscopique et microscopique. La porosité du sol est en général réduite dans les systèmes de conservation mais, ils favorisent la formation de macropores d'origine biologique. Ce sont principalement durant les premières années de différenciation des traitements que la structure du sol paraît être un facteur limitant du rendement des cultures car la prise en masse du sol peut ralentir, entre autres, la minéralisation de la matière organique. Les systèmes de conservations, favorisant l'activité des lombrics, pourraient limiter les phénomènes de tassement durant cette période.

Réduire l'intensité et la profondeur du travail du sol conduit en général à une augmentation de la densité apparente du sol (Guérif, 1994; Rasmussen, 1999). Cette augmentation est toutefois moins importante dans les systèmes de travail du sol réduit que dans les systèmes type semis direct (Kay et Vanden Bygaart, 2002). Les techniques de semis direct, favorisent l'activité fouisseuse de la faune du sol, et la présence de biopores contribue donc à diminuer les effets de ces techniques sur la densité apparente du sol sur le long terme (Munkholm *et al.*, 2003).

Les modifications de l'espace poral du sol ont des répercussions importantes sur la rétention en eau du sol et sur son réchauffement. 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. Le risque d'anaérobiose semble donc être plus élevé dans les systèmes non travaillés par rapport au système conventionnel (Liu *et al.*, 2007; Pekrun *et al.*, 2003). 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 (Balesdent *et al.*, 2000).

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 des fortes pluies et limite les phénomènes de battance et les risques d'érosion hydrique

(Blanco-Canqui et Lal, 2007; Köller, 2003). 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). Selon Lahlou et al (2005), le semis direct augmente le volume poreux (micropores) du sol. À long terme, il favorise la formation de macropores d'origine biologique après l'amélioration de la vie biologique du sol (Vian, 2009).

III.2.3.1.6. Humidité du sol et transferts hydriques

Les techniques de conservation améliorent la rétention de l'eau dans les couches les plus hautes du sol en limitant l'évaporation grâce aux résidus de cultures encore présents. Le semis direct améliore l'humidité du sol de l'horizon superficiel (Abdellaoui et al., 2011). La présence des résidus à la surface du sol réduit l'évaporation, freine le ruissellement et favorise l'infiltration (Chervet et al., 2005) d'où l'amélioration de la capacité d'accueil du sol à des eaux de pluie (Richard, 2004). Le semis direct augmente la réserve utile grâce à l'accumulation de la matière organique par sa capacité de rétention élevée (Teixetra, 1994).

III.2.3.2. Conséquence sur les rendements des cultures

Les résultats obtenus à travers le monde et en Afrique du Nord sont très encourageants et confirment que le système du semis direct permet effectivement de préserver l'environnement, qu'il améliore le potentiel de production du sol, qu'il assure la simplification des temps des travaux agricoles et qu'il permet à l'agriculteur d'économiser sur les charges engendrées par l'installation des cultures (Zaghouane et al, 2006).

Sur le plan de la productivité, les niveaux de rendements sont pratiquement similaires dans les deux systèmes de semis direct et conventionnel, ceci est dû à une plus grande efficacité dans l'utilisation des intrants (pesticides et engrais) suite à la suppression des coûts de labour (Mrabet, 2001), à une meilleure efficacité dans l'utilisation de l'eau (Mrabet, 2002), et à une meilleure structure et fertilité du sol (Mrabet et al., 2000) dans le cas du semis direct.

Le semis direct permet d'augmenter les rendements progressivement bien qu'ils soient chétifs les premières années qui suivent l'adoption de cette technique (Benouda et al., 2006). Ils deviennent même supérieurs à ceux du conventionnel, de plus, le semis direct assure un rendement minimal en année sèche, chose qui n'est pas observée en semis conventionnel (Mrabet, 2001). La technique permet d'accélérer l'implantation des cultures, de minimiser les coûts et d'économiser le temps. Les techniques de conservation permettent d'augmenter l'activité biologique de surface, de diminuer le lessivage d'azote et la consommation en carburant.

III.2.3.3. Conséquence sur l'érosion des sols

En semis direct, l'érosion est réduite jusqu'à plus de 90% (Michon, 2007). En effet, les résidus de récolte protègent la surface du sol de l'effet des gouttes de pluie et ralentissent le ruissellement (Perez De Ciriza Gainza, 2004). Il y a un meilleur contrôle de l'érosion éolienne et hydrique du fait de la présence des résidus en surface. L'agriculture de conservation peut offrir de nombreux moyens d'économiser le sol, l'eau, l'énergie, la main-d'œuvre et le matériel.

La suppression des perturbations mécaniques du sol ainsi que la présence de résidus à sa surface conduisent à de profondes modifications du fonctionnement de l'agrosystème.

III.2.3.4. Rentabilité

La durabilité de l'agriculture est impossible si l'agriculteur n'a pas des perspectives d'avenir acceptables du point de vue de la rentabilité. Etant donné le niveau actuel des prix des produits agricoles, la concurrence des produits extérieurs, la rentabilité ne pourra être sauvegardée que par ajustement des coûts de production. L'agriculture de conservation n'est pas une théorie impossible, mais bien une pratique rentable (Sopena, 2006).

La rentabilité économique des techniques de conservation est liée à la très forte réduction des coûts de main d'œuvre (Mrabet, 2001).

III.2.4. Contraintes des techniques de conservation

De par le monde, les résultats de la recherche scientifique et les pratiques des agriculteurs montrent l'existence d'une importante productivité, des avantages agronomiques, économiques, sociaux et environnementaux qui peuvent être exploitées grâce à l'adoption de pratiques de l'AC dans les milieux semi-arides méditerranéens (Kassam et Friedrich, 2011). Les impacts de l'AC se manifestent de manière très diverse selon les contextes et fluctuent dans le temps, particulièrement au cours des premières années de leur mise en œuvre. Leur application et leur adaptation aux contextes réels de l'activité agricole à grande échelle dans les zones arides peut se heurter à plusieurs obstacles.

Durant les premières années, on peut avoir l'apparition d'un compactage superficiel du sol qui peut être accentué par le passage d'engins de travail ou par le piétinement du bétail (Aibar, 2006). L'abondance de résidus de surface peut rendre le sol plus froid d'où une croissance végétale plus lente (Teixetra et al, 1994), l'augmentation de l'humidité du sol peut provoquer un accroissement des maladies causées par les micro-organismes du sol (Aibar, 2006), l'utilisation d'herbicides peut présenter un risque de pollution de l'environnement. Les techniques de conservation peuvent provoquer une prolifération de certaines mauvaises herbes.

Le zéro-labour est une technique qui requiert l'acquisition de nouveaux équipements et l'achat d'intrants (Mrabet, 2001). Ces techniques culturales réclament de nouveaux outils et exigent de nouveaux investissements matériels souvent plus coûteux et plus développés que le matériel conventionnel.

La diffusion de l'AC nécessite la prise en compte de la spécificité du contexte rural avec ses opportunités et ses contraintes comme la complémentarité de l'élevage et de l'agriculture dans les systèmes de production, le faible niveau d'intensification de l'agriculture pluviale et le faible niveau de sensibilisation des agriculteurs et de l'ensemble des acteurs du secteur agricole aux innovations.

III.2.5. Les bénéfices de l'agriculture de conservation

L'adoption de techniques culturales simplifiées et du semis direct dans les conditions semi-arides méditerranéennes pourrait répondre à un double objectif : une meilleure durabilité de l'agriculture et une préservation efficace de ressources naturelles et de l'environnement.

Les techniques de conservation apparaissent comme des alternatives à même de corriger l'impact négatif des systèmes de production adoptés par les agriculteurs. Elles arrivent à mieux contrôler l'érosion, stocker la matière organique, améliorer l'efficacité hydrique et

restructurer le sol sous l'effet d'une meilleure activité biologique (Mrabet, 2000 ; Kribaa et al., 2001). Ces techniques sont utilisées pour préserver le potentiel biologique et physicochimique des sols et les protéger des risques de l'érosion tout en limitant les frais de mécanisation. Le système du semis direct se voit comme premier pilier pour restaurer la fertilité des sols.

Le caractère économique des techniques de conservation est largement plus avantageux en comparaison avec le semis conventionnel. La diminution du temps passé au niveau de l'ensemble des interventions des machines est importante. Ceci permet un allègement des temps des travaux, une demande en main d'œuvre réduite, la réduction des coûts et dépenses et une usure du matériel moins contraignante. En termes économiques, les systèmes AC sont souvent performants grâce à une augmentation de la productivité du travail et à une diminution des coûts de production (Do Prado, 2004).

L'Agriculture de Conservation est une démarche technique qui demande plus d'agronomie, de réflexion et d'observation afin d'élaborer une approche « système ». Les conditions de récréation des équilibres biologiques pour développer des écosystèmes agricoles performants sont réunies. Cette démarche doit permettre l'orientation vers une agriculture durable qui soit en adéquation avec les potentialités du sol et les demandes sociales.

III.2.6. Conduite de la céréale en irrigué

L'irrigation est considérée comme une technique potentielle qui améliore l'efficacité d'utilisation de l'eau. Cependant, bien que l'irrigation augmente la productivité du blé, la dose optimale à apporter par stade critique reste dépendante des conditions pluviométriques de l'année. La disponibilité hydrique au cours de la période végétative permet l'élaboration de la composante la plus déterminante du rendement grains (nombre de grains) et la formation de la biomasse qui constitue une source très importante pour le remplissage du grain (formation du puits).

L'irrigation est un moyen de compensation, un moyen de production de biomasse végétale et surtout un moyen de changement de la qualité des sols du point de vue chimique, physique et biologique. Le type et la fréquence du travail du sol dépendent notamment de certains facteurs ; du type de sol, de la culture, de la source énergétique disponible, de la taille du système de production et de la variété d'outils de travail du sol.

Le rôle de l'eau est fondamental sur les propriétés physiques des sols (Tessier, 1984), elle intervient sur la déformation du sol, et sur les forces de la cohésion qui déterminent leur structure. Elle agit donc sur la géométrie du système poreux et par lui-même sur l'état hydrique du sol. En outre les variations de teneur en eau s'accompagnent de variation de volume par gonflement lorsque l'humidité est élevée et par retrait lorsque le sol s'assèche. Le volume d'eau qui disparaît crée un retrait qui peut aller jusqu'à engendrer un abaissement du niveau du sol comme cela est observé dans les sols argileux (Cabidoche et al, 1992) ou un retrait latéral dans sa partie superficielle, qui correspond aux fentes de retrait observées à la surface des sols en période sèche, et qui peut se propager aux couches de plus en plus profondes au fur et à mesure que l'assèchement s'intensifie. Une partie des fissures peut communiquer avec la surface et permettre ainsi l'écoulement de l'eau en profondeur.

Au cours de l'humectation, le réseau de fissures se referme progressivement de sorte que les propriétés hydriques du sol changent au cours du temps. D'où une des difficultés dans la prévision des propriétés hydrauliques des sols, surtout lorsqu'ils sont argileux, et donc de prévoir la dynamique du système fissural (Tessier, 1984).

Le fonctionnement hydrique du sol est lié aux entrées et aux sorties d'eau dans le système sol (Musy et Souter, 1999). Les entrées d'eau dans le sol ont pour origine les précipitations et dans une moindre mesure les irrigations ou les écoulements superficiels. Une partie de cette eau pénètre dans le sol par infiltration, le reste s'accumule temporairement en surface en fonction notamment de la rugosité du milieu ou encore ruisselle en fonction de la pente (Le Bissonnais, 1988; Huang et al., 2002 ; Lebayon et al., 2002). Les sorties d'eau se font soit directement par évaporation depuis le sol, soit par transpiration des végétaux, ces deux types étant regroupés sous le terme d'évapotranspiration. A la limite inférieure du sol, les échanges sol-eau et milieu extérieur s'effectuent avec une intensité moindre : les apports sont réalisés par ascension capillaire et les pertes par drainage ou percolation profonde. L'infiltration, qui désigne donc le processus de pénétration d'un fluide dans les interstices d'un corps solide (Lozet & Mathieu, 1997), est influencée principalement par les caractéristiques intrinsèques du sol, à savoir sa texture, sa structure, et par les conditions dans lesquelles se déroulent le processus.

Chapitre II

Matériels et Méthodes

Chapitre II. MATERIELS ET METHODES

II.I. Mise en place de l'expérimentation

II.1.1. Le site expérimental

L'expérimentation a été conduite à la Station Expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif au cours de la campagne 2010/2011. Le site expérimental, lieu dit « **Rmada** », est situé aux coordonnées géographiques 36° 08' N, 5° 20' E, à une altitude de 963 m au dessus du niveau de la mer. Ces coordonnées ont été mesurées à l'aide d'un GPS 'Garmin 12'.

La zone appartient au domaine semi-aride caractérisé par un climat continental typiquement méditerranéen. L'essentiel du cumul pluviométrique est enregistré au cours de la saison de l'hiver qui est froide. L'été est chaud et sec, alors que le printemps et l'automne sont brefs et peu marqués (Baldy, 1974).

D'après les analyses physico-chimiques (Tab, II.1) réalisées au niveau des laboratoires FERTIAL (Mai, 2011), le sol est de texture limono-argileuse, Le sol est de type brun calcaire, avec une texture argilo-limoneuse. Le taux d'argile augmente du haut vers le bas, il est de 28% en surface et de 48% en profondeur. Il est pauvre en matière organique avec des taux diminuant du haut vers le bas (0,98%) en H1, (0,75%) en H2 et (0,71%) en H3 (Tab II.1).

Le taux du calcaire augmente du haut vers le bas (15,17%) en H1 et (34,49 %) en H3. Notre sol est riche en calcaire par conséquent le PH est alcalin. Le phosphore assimilable atteint les une moyenne de 19,37 ppm.

Tableau II.1: Résultats des analyses physico-chimiques du sol de l'essai.
(FERTIAL., 2011)

Profondeur	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	Moyenne
Granulométrie				
Argile en %	28	44	48	40
Limon en %	48	32	32	37,33
Sable en %	24	24	20	22,67
Texture	Argilo-limoneuse			
Carbone Total (%)	14,82	17,98	31,27	21,35
Azote Total	0,12	0,11	0,10	0,11
Na (meq/100g)	0,26	0,29	0,45	0,33
Mg (meq/100g)	0,78	0,96	2,97	1,57
P (PPM)	25,5	17,2	15,4	19,37
K (PPM)	414,1	224,4	531,3	389,93
Matière organique MO (%)	0,98	0,75	0,71	0,81
pH	7,77	7,78	7,79	7,78
Calcaire total (meq/100g)	15,17	22,91	34,49	24,19
C.E (mmohs/cm)	0,130	0,133	0,148	0,137

II.1.2. Dispositif Expérimental

Le dispositif expérimental adopté est constitué de blocs complètement randomisés à quatre répétitions (**Fig. II.1**). La parcelle élémentaire comporte six rangs de 2,5m de long avec un espace inter-rangs de 20 cm soit une superficie parcellaire de 3 m². La densité de semis est de 300 grains/m². Pour éviter l'effet bordure lors des notations, on a fixé dès le semis quatre stations de 1 ml par parcelle élémentaire.

Les deux essais (Irrigué et non irrigué) ont été installés sur une parcelle dont le précédent cultural est une jachère non travaillée. L'itinéraire technique simplifié comporte un passage de scarificateur à 11 dents et d'un cover-crop réalisés le 07/11/2010 suivi d'un hersage le 11/11/2010. L'épandage de 46 unités /ha de superphosphate à 46% est effectué juste avant l'opération semis. Le semis est réalisé le 30/11/2010. Les techniques culturales simplifiées ont pour finalité de remplacer le labour et de réduire le nombre de passage des outils de travail. Cette technique développe un sol plus homogène et une concentration de la matière organique en surface (sur 5 à 10 cm).

Les parcelles de l'essai non stressé ont été irriguées en utilisant des arrosoirs et le volume d'eau de chaque parcelle a été contrôlé. Deux régimes d'irrigation ont été appliqués. La première irrigation (20 mm) a été effectuée au stade montaison (20/04/2011) (30 échelle Zadoks). La deuxième irrigation (20 mm) a été appliquée (08/05/2011) fin épiaison (50 échelle Zadoks).

L'essai a été fertilisé par du SULFAZOT (26% N, 35 % S) **75 Kg/ha**, suivi du désherbage au « Gran Star » (méthyle trébunéron), à raison de **(15 g/ha)** et « TOPIC » **(0,75 l/ha)**, au stade plein tallage.

II.1.3. Le matériel végétal : Il est composé d'un groupe de dix variétés de blé dur (*Triticum durum*. Desf) d'origines différentes et dont le listing et les caractéristiques sont données ci-dessous.

Tableau II.2. Description du matériel végétal utilisé
(Boufenar-Zaghouane et Zaghouane , 2006 et Anonyme , 2009)

N°	Nom	Source	Caractéristiques
1	Waha	Lignée CIMMYT / ICARDA lancée en Algérie en 1986	-Variété précoce. PMG moyen. -Tallage moyen à fort avec très bonne productivité. -Paille courte et demi pleine. -Très sensible au gel tardif et tolérante à la sécheresse. - Epi demi-lâche à compact.
2	Oued Zenati	Sélection dans la population locale Station de Guelma 1936	-Variété tardive à tallage moyen. -Paille haute et pleine, peu sensible à la verse. - PMG élevé. -Epi blanc, compact à barbes noires et longues.
3	Polonicum	Variété locale	-Variété tardive. -Tallage faible. PMG élevé. -Moyennement résistante au froid et à la verse. -Epi demi-lâche et blanc.
4	Hoggar	Introduite d'Espagne Sélection ITGC Tiaret 1986	-Variété Semi précoce, PMG élevé. -Tallage et paille moyenne, -Résistante au froid et tolérante à la verse.
5	Bousselam	Lignée ICARDA / CIMMYT Année d'inscription : 2000	-Variété mi- tardive. -Fort tallage et bonne résistance au froid, à la verse et à la sécheresse. PMG élevé. Rendement élevé.
6	Mexicali	Variété CIMMYT lancée en 1975	-Variété précoce. -Paille courte et résistante à la verse. -Présente de bonnes caractéristiques technologiques
7	Altar	Variété CIMMYT lancée en 1984	-Variété Précoce ; -Paille courte.
8	Kucuk	Variété CIMMYT lancée en 1984	-Variété précoce ; -Paille courte.
9	Dukem	Variété CIMMYT lancée en 2000	-Variété précoce ; -Paille courte.
10	Sooty	Variété CIMMYT lancée en 2000	-Variété précoce ; -Paille courte.

II.2. Paramètres mesurés

II.2.1. Paramètres liés au sol

II.2.1.1. Suivi de l'humidité du sol

L'eau est un facteur clé pour la réussite de tout type de culture. Sous climat semi-aride, cette ressource est devenue de plus en plus précieuse vue l'insuffisance des pluies et leur mauvaise répartition à l'échelle de l'année.

La conservation de l'eau est un paramètre important de qualité du sol. Il constitue souvent un facteur limitant de 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 humidités du sol ont été mesurées au cours du cycle végétatif du blé au niveau des horizons (0-20), (20-40) et (40-60).

Un prélèvement de sol a été effectué par décade à l'aide d'une tarière pédologique sur une profondeur de 60 cm. L'humidité du sol est déduite selon la méthode gravimétrique (Hesse, 1971) sur des échantillons pris des trois premiers horizons par tranche de 20 cm (0 à 60 cm). Les prélèvements sont rapidement placés dans des boîtes métalliques hermétiques, de tare connue. Après pesage (poids frais : PF), les boîtes sont mises à l'étuve pendant 24 heures à une température de 105 °C puis pesées à nouveau (poids sec : PS). Les pesages sont déterminés avec une balance de précision de marque Kern 440-33, au laboratoire de l'INRAA, Sétif.

L'humidité pondérale (H %) du sol est déduite selon Duchaufour, 1997:

$$H\% = \frac{100(PF - PS)}{PS}$$

II.2.1.2. Mesure de la perméabilité

La perméabilité ou vitesse d'infiltration est définie comme étant la quantité d'eau absorbée par le sol durant un certain temps. C'est un processus d'entrée de l'eau dans le sol à travers sa surface et verticalement. Ce processus est d'une grande importance agronomique du fait qu'il déclenche le ruissellement à la surface du sol si la vitesse d'alimentation (intensité de la pluie) dépasse la capacité d'infiltration du sol (Musy et Soutter, 1999). Ce processus est conditionné par les caractéristiques intrinsèques du sol, à savoir, sa texture, sa structure, et par la vitesse d'alimentation.

La perméabilité du sol a été évaluée à saturation en utilisant la méthode à double anneau, appareil de Müntz, décrite par Colombani et al (1973), qui consiste à mesurer la quantité (Q, cm^3) d'eau infiltrée durant une heure de temps dans le sol préalablement saturé d'un cylindre de section connu (S, cm^2), et sous une charge d'eau constante de 3 cm. Cette charge est établie à l'intérieur du cylindre central. Les lectures ont été faites au bout d'une (01) heure (Fig II.2).

Le calcul de la perméabilité se fait par la relation suivante :

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

Où: K (cm/h) : la perméabilité

Q (cm³) : Le volume d'eau infiltré

S (cm²) : la section du cylindre central

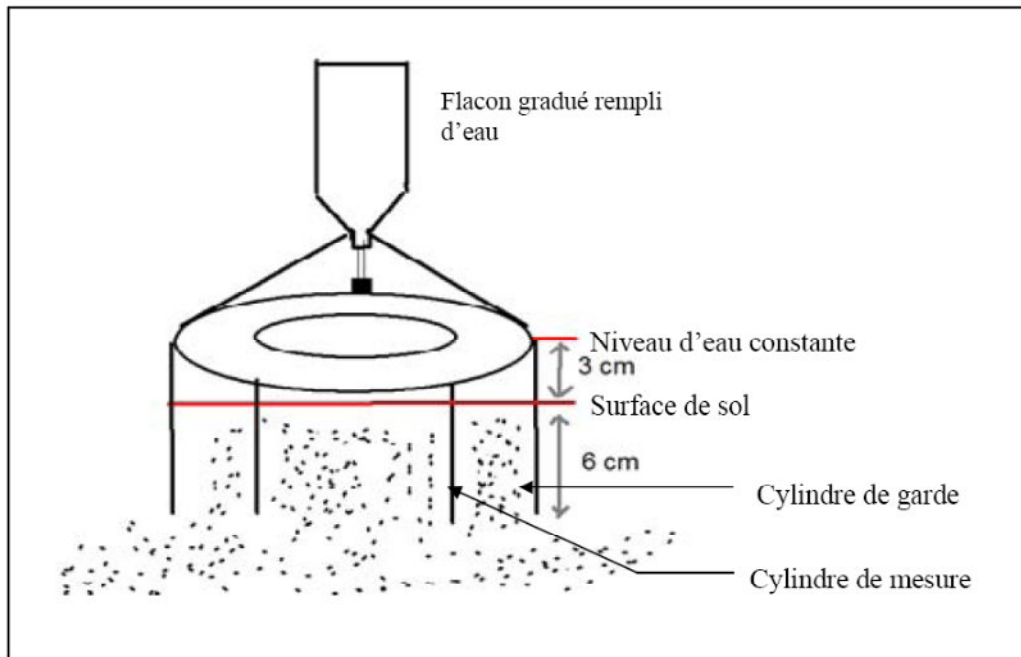


Figure II.2. Schéma descriptif du dispositif de double anneau de Müntz

II.2.1.3. Mesure de La densité apparente du sol

La densité apparente du sol nous renseigne sur sa porosité qui constitue une caractéristique majeure contrôlant les propriétés hydrodynamiques du sol et le développement racinaire des plantes. Elle constitue aussi un indicateur de qualité du sol qui varie avec les techniques culturales adoptées. C'est aussi un indicateur du tassement du sol et de sa porosité totale. Elle augmente lorsque les sols sont compactés, ce qui affecte leur qualité et diminue la porosité. La densité apparente du sol détermine sa porosité, cette dernière joue un rôle important dans les échanges hydrique et gazeux ainsi que dans le développement racinaire (Lahlou et al., 2005). Selon Duchaufour (2001), la porosité est la meilleure expression de l'état actuel de la structure ; elle donne les indications essentielles concernant les propriétés physiques assurant à la plante son alimentation en eau et à la respiration de ses racines.

La densité apparente ou masse volumique, a été déterminée selon la procédure décrite par Yoro et Godo, (1990). La méthode consiste à prélever un échantillon de sol non perturbé à l'aide d'un cylindre métallique biseauté dont le volume est connu avec précision (V en cm³). Le sol ainsi prélevé est placé dans un sachet hermétique, ramené au laboratoire, pesé, puis séché à 105°C durant 24 h afin d'évaporer toute l'eau présente, Le poids du sol prélevé,

contenu dans le cylindre, est déterminé au laboratoire après séchage. La densité apparente est déduite selon la formule suivante :

$$Da = \frac{P(g)}{V(cm^3)}$$

Où : **P** : le poids sec

V : Volume du cylindre

II.2.2. Paramètres liés à la plante

Notations et mesures effectuées

Pour éviter l'effet de bordure lors des notations, on a choisi dès le semis quatre stations de 01 ml par parcelle élémentaire sur les deux lignes du milieu. Afin de caractériser les variétés étudiées, des mesures ont été effectuées et ont porté sur les caractères phénologiques, morphologiques, agronomiques et physiologiques de la plante tout au long du cycle de développement.

II.2.2.1. Caractères phénologiques

*Durée des phases de développement

Les notations ont été effectuées par repérage des dates et le nombre de jours qui correspondent aux quatre stades repères du cycle de croissance des variétés étudiées. Il s'agit des stades : levée, montaison, épiaison et maturité.

La date de la phase semis-épiaison est estimée en jours de la levée à la date de sortie de plus de 50% des épis par parcelle élémentaire.

II.2.2.2. Caractères morphologiques, Les différents caractères mesurés sont :

***La hauteur du chaume en cm (HT)**, est mesurée juste avant la récolte au champ, du sol jusqu'au sommet de la strate moyenne des épis, barbes non incluses.

***La longueur de l'épi en cm (LEP)**, On mesure un échantillon de 5 épis sans barbes /génotype, au stade maturité à partir de la base de l'épi (1^{er} article du rachis) jusqu'au sommet de l'épillet terminal.

***La longueur des barbes en cm (LB)**, On mesure un échantillon de 5 épis/génotype, au stade maturité à partir du sommet de l'épillet terminal jusqu'au sommet des barbes.

***La longueur du col de l'épi en cm (LC)**, par la mesure du pédoncule ou col de 5 épis/génotype depuis le point de jonction entre la tige et le limbe de la dernière feuille jusqu'à la base de l'épi.

***La surface de la feuille étandard en cm² (SF)** La mesure de la surface foliaire qui est un indice nécessaire pour la détermination de la croissance, elle est estimée à partir d'un échantillon de 10 feuilles/génotype dont on mesure la longueur totale et la largeur moyenne.

La surface foliaire exprimée en cm² est calculée sur la base du produit de la longueur totale (L, cm) par la plus grande largeur (l, cm) selon la formule :

$$SF (cm^2) = (L \times l) 0,606 \quad (\text{Spagnoletti-Zeuli and Qualset, 1990})$$

***Le poids spécifique de la feuille étandard (PSF) « mg/cm² »**

Les mêmes feuilles sont ensuite mises à l'étuve à 85°C pendant 48 heures pour avoir leur poids sec. Le poids spécifique de chaque variété est exprimé par le rapport du poids sec (PS) de l'échantillon de 10 feuilles sur la surface foliaire (SF)

Le poids spécifique foliaire (PSF) est déterminé par la formule suivante :

$$PSF (mg/cm^2) = PS/SF \quad (\text{Asseng et al ., 2003})$$

II.2.2.3. Caractères agronomiques

-Le rendement et ses composantes, Les caractères suivants ont été mesurés :

***Le nombre de plants levés par m²,** est déterminé à partir du comptage de quatre placettes, d'une longueur de 1 m linéaire chacune, par parcelle élémentaire/génotype, puis rapportée au m².

***Le nombre de talles par m²,** est déterminé par le comptage de talles des quatre placettes par parcelle élémentaire/génotype, puis rapporté au m² puis le calcul du coefficient de tallage.

***Le nombre d'épis par mètre carré (NE/m²),** est déterminé à partir du comptage de quatre placettes, d'une longueur de 1 m linéaire chacune, par parcelle élémentaire/génotype, puis rapportée au m².

***Le nombre de grains par épi (NGE),** est estimé à partir de la moyenne obtenue sur cinq épis pris au hasard par placette de 1 m linéaire par parcelle élémentaire/génotype après la récolte.

***Le nombre de grains par mètre carré (NG/m²),** a été déterminé partir du produit du nombre d'épis par m² et du nombre de grains par épi.

$$\text{Nombre de grains/m}^2 = \text{nombre de grains/épi} \times \text{nombre d'épis/m}^2$$

***Le poids de mille grains (PMG)** est obtenu à partir de la moyenne des pesées de 100 grains, répétée sur dix plantes prises au hasard au niveau des parcelles élémentaires. Il est exprimé en gramme.

***Le rendement grain qx/ha (RDT)**, est déterminé sur la base de la récolte mécanique de l'expérimentation avec une moissonneuse-batteuse expérimentale de marque Hegé 125.

Le battage des épis provenant des placettes récoltées donne une estimation du rendement grains.

***La biomasse aérienne (BIO) par mètre carré** est évaluée à la maturité par le fauchage des quatre stations de 1 m de long chacune, par parcelle élémentaire/génotype et leur pesée,

***L'indice de récolte (HI)**, a été calculé selon la formule :

$$HI = (RDT \text{ grain} / BIO \text{ aérienne Totale}) \times 100$$

***Les 03 indices de tolérance à la sécheresse** sont calculés sur la base des données du rendement variétal selon les formules suivantes :

$$1-GMP = (GYp * GYs)^{1/2} \quad (\text{La moyenne géométrique de la productivité})$$

$$2- MP = (GYp + GYs) / 2 \quad (\text{L'indice de la productivité moyenne})$$

$$3- STI = (GYp * GYs) / (G\hat{Y}p)^2 \quad (\text{L'indice de tolérance au stress})$$

Où ***GYp** : rendement obtenu en l'absence du stress ;

***GYs** : rendement obtenu sous stress ;

***G $\hat{Y}$ p** : Moyenne de rendements de l'ensemble des génotypes sous régime non stressé.

II.2.2.4. Caractères Physiologiques

* **Chlorophylle Totale**

Sur le milieu de la feuille drapeau de dix plants de chaque variété, le taux de chlorophylle totale (a+b) a été mesuré à l'aide d'un chlorophylle mètre digital (**SPAD Minolta 501**) qui donne des lectures en **unités SPAD**. L'appareil a la forme d'une pince que l'on tient dans la main ; il est compact et léger. Le principe repose sur la mesure de la fraction de la lumière transmise par la feuille à deux ondes (650 nm et 940 nm) sur une surface de 2 mm X 3 mm. C'est une méthode non destructrice. Il suffit de fermer la pince vide sur elle-même pour étalonner l'instrument. Par la suite, une prise est effectuée sur la face abaxiale de la feuille drapeau. Pour chaque variété on a effectué cinq mesures étalées entre les stades épiaison et remplissage. (**Unité SPAD**).



Figure II.3. Appareil de mesure de chlorophylle de model : SPAD – 501

***La teneur relative en eau (TRE):**

L'état hydrique des plantes a été évalué par la mesure de la teneur relative en eau (TRE), c'est une méthode simple dans la caractérisation du statut hydrique d'une plante. Elle est déterminée sur un échantillon de cinq feuilles, selon la méthode décrite par Serrieys, (1992). Les feuilles sont coupées à la base du limbe puis sont immédiatement pesées pour obtenir le poids frais (PF). Les extrémités sectionnées sont insérées par la suite dans un tube à essai contenant de l'eau distillée, mises à l'ombre, à température ambiante du laboratoire, pour réhydrater les tissus du limbe foliaire.

Quatre heures après, elles sont pesées pour obtenir le poids de la pleine turgescence (PT), après avoir pris soin de les essuyer et les débarrasser de l'excès d'eau avec du papier buvard. Les échantillons de feuilles sont mis à sécher dans une étuve, à 85°C pendant 24 heures, et pesés pour obtenir le poids sec (PS). Les valeurs de la teneur relative en eau sont calculées par la formule de Clark et Mac-Caig, 1982.

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

Avec : PF : poids frais (g) des 05 feuilles étendards,
PS : poids sec (g) des 05 feuilles étendards,
PT : poids turgide (g) des 05 feuilles étendards.

***Taux de déperdition d'eau (LWL) « g.10³ /cm²/mn »**

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

$$\text{LWL (mg /cm}^2\text{/mn)} = [(\text{PF1} - \text{PF2}) / \text{SF.30}]$$

Avec : PF1 : poids initial de la feuille ;
PF2: poids de la feuille après 30 minutes
SF : la surface foliaire de la feuille.

***Expression de la Sénescence de la feuille étandard**

Les feuilles ont été photographiées sur un fond blanc, entre 11 :00 et 12 :00 h **MST** (Midi Solar Time), avec une caméra numérique en couleur (Benq à 3 méga pixels de résolution) équipée d'un autofocus automatique. Les images enregistrées sous forme numérique et stockées en fichier **JPEG** (*Joint Photographics Expert Group*) sont transférées de la caméra vers la mémoire de l'ordinateur pour être analysées. L'analyse est effectuée à l'aide du logiciel **IPP** (*Image Pro Plus*), comportant un système de mesure automatique de la surface foliaire (en pixels). La sénescence de la feuille (S) correspond au rapport « gris/noire » de l'image (Adamsen *et al.*, 1999). Les mesures ont été effectuées à cinq reprises depuis l'anthèse jusqu'à la fin de sénescence sur quatre feuilles drapeau de chaque variété. Les cinq dates de mesure sont exprimées en somme de températures après la floraison (Σt_1 à Σt_5) et les valeurs correspondantes de la sénescence (S1 à S5) en pourcentage.

En plus de la sénescence (S), trois paramètres sont calculés pour caractériser la dynamique de la sénescence par la méthode NAI. La sénescence moyenne (Sa) a été calculée avec les valeurs S1 à S5. La date correspondant à la moitié de la sénescence de la feuille drapeau ($\Sigma 50$) a été évaluée à partir de la courbe expérimentale $S = f(\Sigma t)$ comme la somme des températures correspondant à 50% de S. la vitesse de la sénescence (Vs) a été calculée pour chaque date de mesure de la sénescence comme suit : $(\Sigma t_{i+1} - \Sigma t_i) / (S_{i+1} - S_i)$ pour chaque variété.

*** L'efficience d'utilisation de l'eau (EUE)**

L'Efficacité de l'utilisation de l'eau a été calculée en utilisant la formule suivante :

$$\text{WUE rdt} = \text{Rendement grains} / \text{ETR} \quad (\text{Tambussi et al., 2007})$$

Avec ETR : L'évapotranspiration

-Le rendement grains a été déterminé à partir des échantillons de grains récoltés de chaque parcelle.

-L'eau évapotranspirée a été estimée en utilisant le logiciel **AquaCrop version 3.1**. Ce dernier est un logiciel de modélisation, développé par la FAO, pour la prédiction du rendement de diverses plantes herbacées, en conditions de limitation d'eau.

Les entrées du modèle pour l'estimation de l'évapotranspiration de l'eau par le logiciel AquaCrop sont les suivantes :

1-Les précipitations quotidiennes de la saison de croissance provenant de la station météorologique de la Wilaya de Sétif, les précipitations sont saisies (en mm) par jour, par décade ou par mois ;

2-L'évapotranspiration de référence (ET_o)

Estimée à partir de la formule de Penman Montheith (1990), modifiée et recommandée par la FAO (Allen et al 1998) en utilisant le logiciel ET_o (2000) ;

3-Le Sol : les données requises sont la texture du sol, le nombre et la profondeur des horizons ainsi que leurs caractéristiques hydriques (capacité de rétention, capacité au champ, point de flétrissement...etc.).

4)-Le matériel végétal utilisé : Caractéristiques morphologiques des géotypes, la durée des stades de chaque géotype et les coefficients de culture correspondants.

Analyse statistique

L'analyse de la variance (ANOVA), les régressions linéaires, les matrices de corrélation et les comparaisons de groupes de moyennes ont été réalisées en utilisant le **Logiciel SAS**. (Version .8).

Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% a été utilisé pour comparer les moyennes des variables étudiés afin de déterminer les groupes homogènes quand il existe une différence significative entre les traitements.

Le **Logiciel Origin PRO 8** a servi pour établir certaines figures.

Chapitre III

Résultats et Discussion

Chapitre III- Résultats et Discussion

III.1-Aperçu sur le climat de l'année d'étude

La campagne 2010/2011 s'est distinguée par l'irrégularité de la quantité de pluie apportée par mois et par une disparité dans la quantité de pluie totale par an. Le cumul pluviométrique, de septembre au mois de juin inclus, est de 408,7 mm correspondant au cycle de développement de la culture du blé dur. Ce cumul représente 122 % de la période 1981-2010 qui est de 334 mm (ONM, 2011). La pluie enregistrée a été moyenne au cours des mois d'hiver avec des moyennes mensuelles de 51,43 mm et un maximum de 121 mm en février 2011 (Fig III.1).

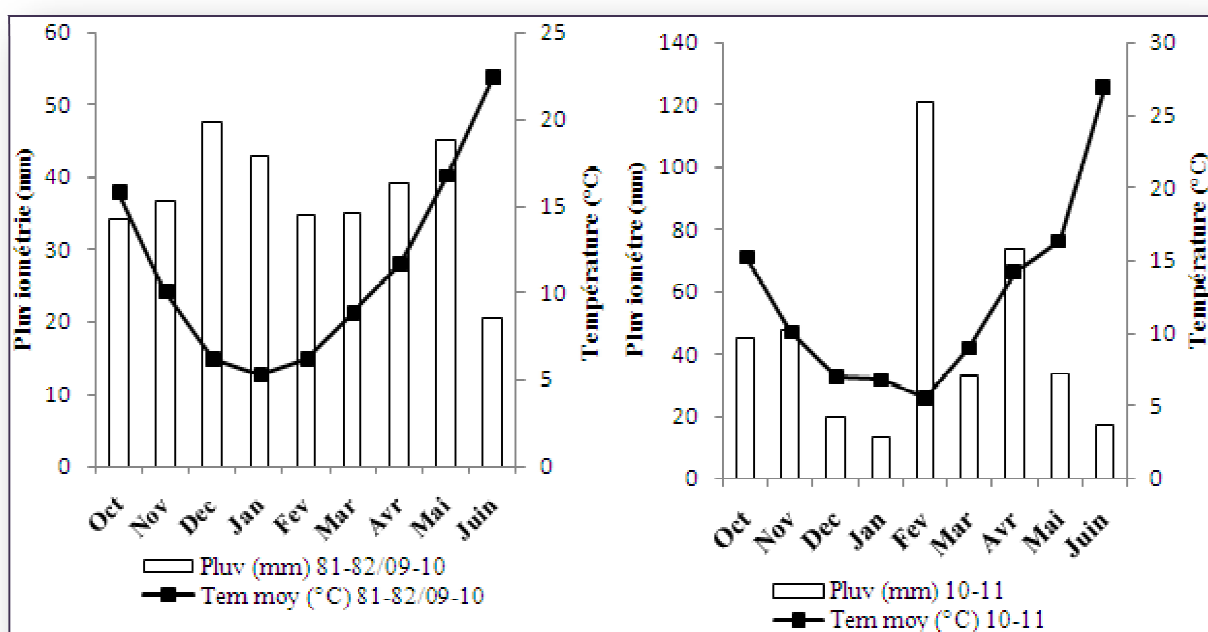


Figure III.1. Moyennes mensuelles de la pluie et de la température de la campagne 2010-2011 et de la période 1981/82-2009/10 (ONM, 2011).

Le printemps a été pluvieux avec une moyenne mensuelle de 47 mm et un maximum de 74 mm au mois d'avril. Globalement, l'hiver et le printemps étaient pluvieux avec 72,16 % du cumul de la saison. Toutefois la pluviométrie de la campagne 2010-2011 s'est caractérisée par une très grande variabilité. Les mois de janvier et juin 2011 ont reçus 13,3 et 17,4 mm, respectivement, alors que les mois de février et avril ont accumulés 121 et 73,8 mm (Fig III.1)

Cette saison peut être qualifiée d'exceptionnelle et caractéristique du climat méditerranéen de par son irrégularité inter saisonnière. Du point de vue répartition, elle se distingue par un automne presque sec, une fin d'hiver-début printemps très pluvieuse et une fin de cycle humide. Le printemps très pluvieux a favorisé un bon développement de la végétation.

L'analyse du régime thermique indique qu'au cours de cette saison, La température moyenne montre la même distribution, froide en hiver, atteignant les plus faibles valeurs au cours des mois de janvier et février (Fig III.2).

Du mois de décembre au mois de mars, la température moyenne mensuelle est restée inférieure à 10°C (Fig III.2), seuil qui permet à la végétation de croître normalement pour valoriser les eaux de pluie enregistrées. Les mois d'avril et mai connaissent, par contre, une élévation importante de la température de l'air passant au-dessus de 10°C à près de 25°C (Fig III.2).

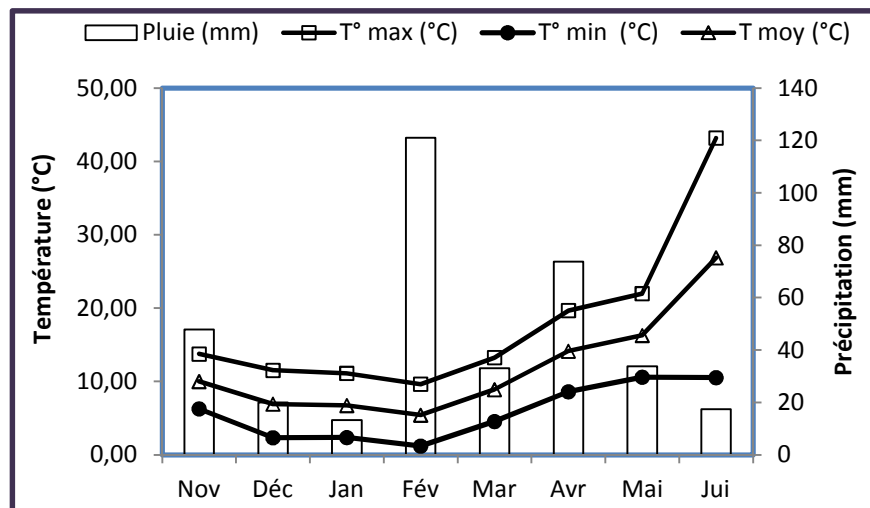


Figure III.2. Températures maximales, moyennes et minimales et précipitations enregistrées au cours de la Campagne (2010-2011)

III.2. Paramètres liés au sol

2.1. Humidité du sol

La conservation de l'eau est un paramètre important de qualité du sol. Le suivi de l'humidité pondérée du sol par décade au cours du cycle végétatif sur les trois niveaux de profondeur, montre de grandes fluctuations allant de 12,87-29,29 % pour l'horizon H1, de 12,36-27,19 % pour H2 et de 10,64-27,48 % pour H3.

Ces variations sont le résultat de l'interaction de la composante « pluie, température, vent et radiation » 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 (remonté capillaire, percolation, drainage) d'une part et le développement racinaire d'autre part. Les humidités assignées dans les figures (Fig III.3, Fig III.3.A, B et C) montrent les variations de l'humidité du sol pour les deux régimes hydriques.

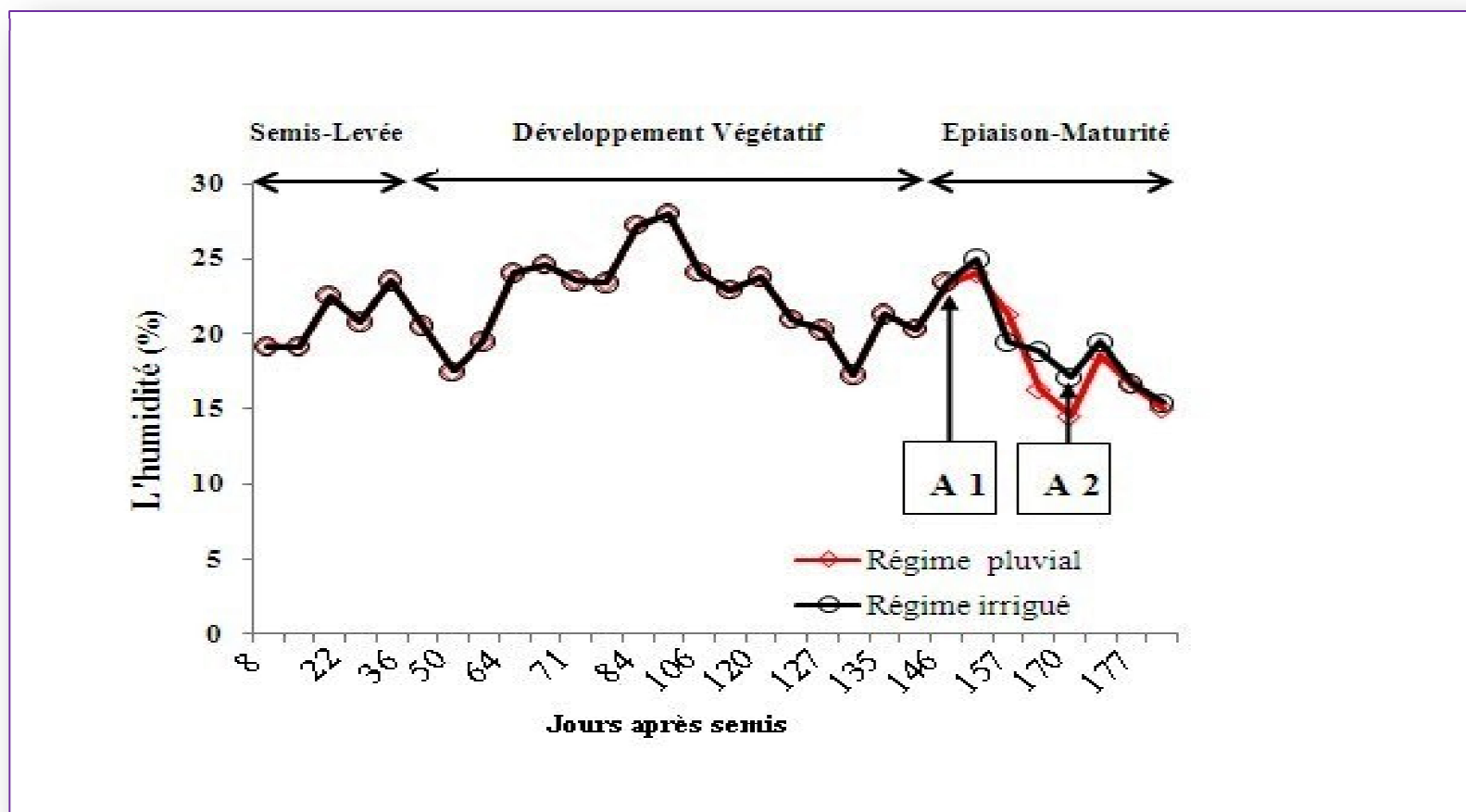


Figure III.3. Fluctuation de l'humidité pondérale moyenne des trois horizons du sol, au cours du cycle Végétatif, en fonction du régime hydrique

L'analyse des conditions climatiques, qui ont prévalu au cours de la campagne 2010-2011 montre l'existence d'un déficit hydrique sévère en particulier aux stades montaison et épiaison (Fig III.3, Fig III.3.A, B et C).

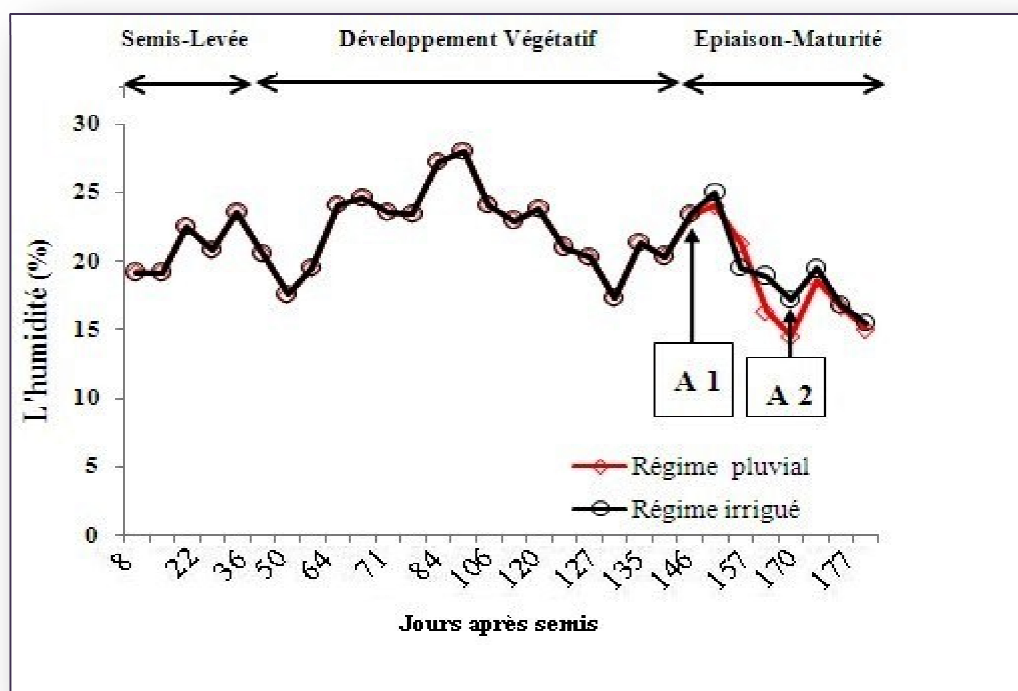


Figure III.3.A. Fluctuation de l'humidité pondérale de l'Horizon H1 (0-20 cm) du Sol, au cours du cycle végétatif, en fonction du régime hydrique

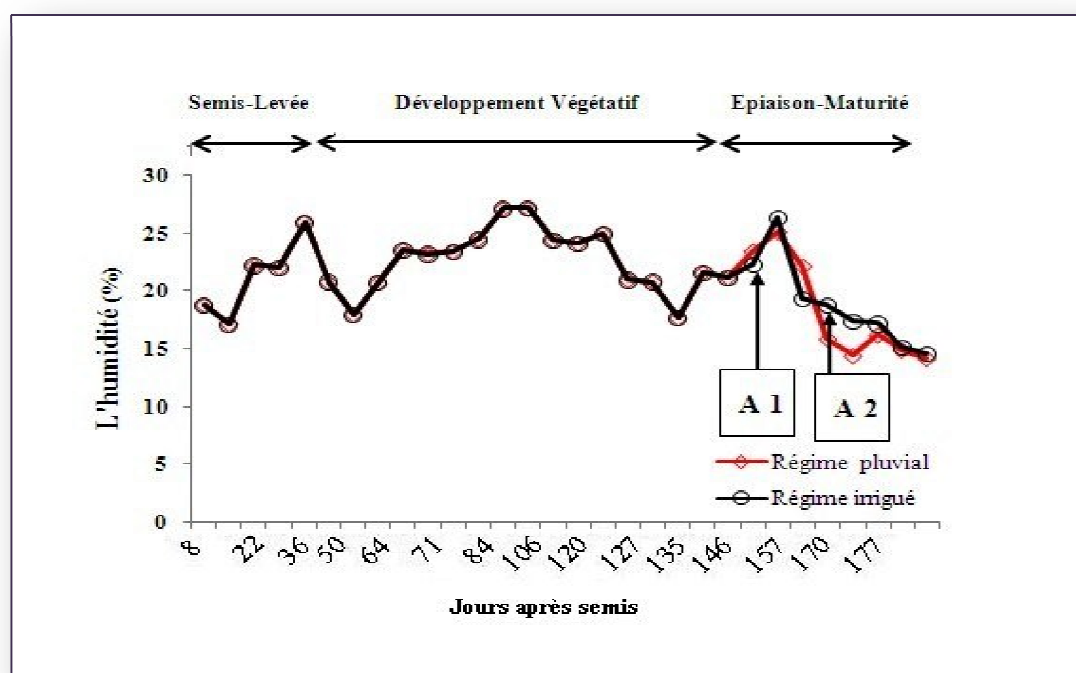


Figure III.3.B. Fluctuation de l'humidité pondérale de l'Horizon H2 (20-40 cm) du sol, au cours du cycle végétatif, en fonction du régime hydrique

Sur les figures III.3 et Fig.III.3.A, B et C, on observe une variation spatio-temporelle de la réserve hydrique du sol. A l'échelle du temps, on constate que pour le même horizon, la réserve hydrique présente de très grandes fluctuations selon les différentes dates. A l'échelle de l'espace, on note que pour la même date, la réserve hydrique n'est pas similaire chez les mêmes horizons (Fig.III.3.A, B et C).

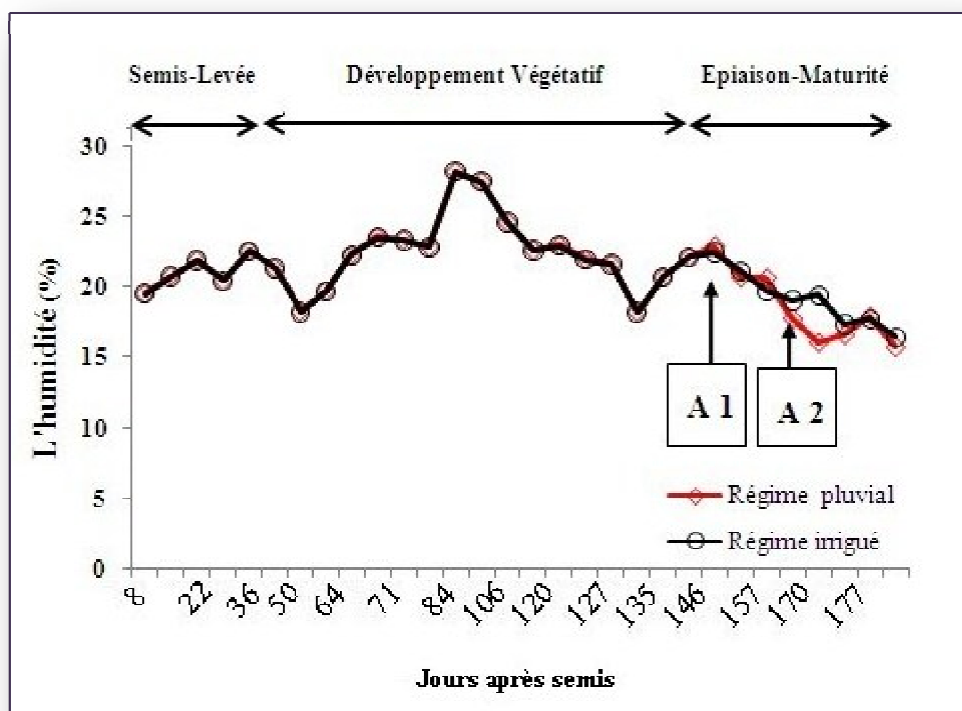


Figure III.3.C. Fluctuation de l'humidité pondérale de l'Horizon H3 (40-60 cm) au cours du cycle végétatif, en fonction du régime hydrique

L'allure de la distribution de l'humidité du sol, sur les 60 cm du profil, suit celle de la pluviométrie. Au moment du semis, le sol était relativement peu humide, portant une teneur moyenne d'eau de 18,5%. Les premiers mois après le semis, notamment au cours de l'hiver, la quantité d'eau emmagasinée dans le sol est plus importante suite aux événements pluvieux plus fréquents surtout au mois de février où elle atteint un pic de 29%, ce qui coïncide avec le développement végétatif des plants. (Fig. III.3, Fig.III.3.A, B et C).

Les humidités pondérales mesurées, relatives à la couche 0-20, 20-40 et 40-60 cm du sol, sont comparées dans les Figures III.3, Fig.III.3.A, B et C. Pour les trois horizons étudiés, une variation d'humidité du sol, est observée en fonction de la profondeur et du temps. De plus, les pics d'humidité du sol correspondent exactement aux moments d'apport d'eau soit par irrigation ou pluie (Fig III.3.A, B et C). Les pics d'humidité sont mis en évidence aussi bien dans les couches superficielles que les couches profondes à cause de la vitesse d'infiltration importante du sol en conditions saturées et donc de l'écoulement rapide de l'eau en profondeur.

L'analyse de la variation du taux d'humidité disponible au cours du cycle végétatif des variétés étudiées, sur la profondeur de 0-20, 20-40 et 40-60 cm, révèle que le taux d'humidité décroît en fonction de l'évolution des stades végétatifs et atteint des valeurs faibles au stade

épiaison (Fig III.3, Fig III.3.A, B et C). Cette période de manque d'eau se positionne en arrière cycle et coïncide avec les stades épiaison et remplissage du grain.

Ces résultats prédisent la sensibilité de la culture à l'épiaison et le degré de l'effet de l'avènement d'un manque d'eau que peut subir la plante. Thompson et Chase (1992) considèrent que les effets d'un stress hydrique aux stades épiaison et remplissage du grain sont plus pénalisants que ceux dont l'avènement survient au stade de tallage et montaison de la culture de blé dur (Annicchiarico *et al.*, 2005).

La phase épiaison est exigeante en eau en période où cet élément est limité en zone semi-aride. Sur les Hauts Plateaux Sétifiens, le positionnement du déficit climatique avec le cycle de la culture du blé dur coïncide avec les exigences en eau les plus importantes (Chennafi *et al.*, 2008). Les variations de la teneur en eau du sol sont sous l'effet de l'interaction des précipitations, la température, le vent et la radiation solaire avec le stade de développement de la culture. Néanmoins, les pratiques culturales améliorent l'efficacité de l'utilisation de l'eau des précipitations (Peterson *et al.*, 1996).

L'évolution de l'humidité par tranche de profil, montre qu'en début de cycle, l'humidité des horizons superficiels et des horizons profonds s'équivalent, probablement à cause de la rareté des événements pluvieux au début de l'hiver. La situation s'inverse à partir de février où les horizons de surface gardent une humidité supérieure à celle des horizons profonds.

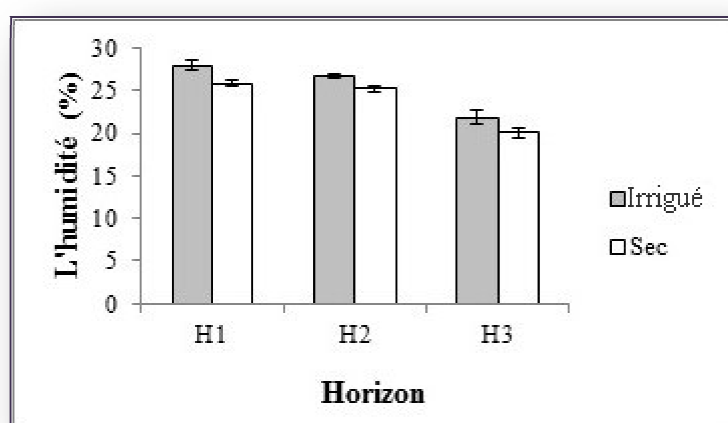


Figure III.4. Variation de l'humidité des trois horizons du sol en fonction du régime hydrique, **au stade montaison.**

L'analyse de la variance de l'humidité du sol mesurée au stade montaison, selon le régime hydrique, montre des effets traitements, dates, profondeurs et interactions significatifs (Tab Annexe I). En conditions irriguée et pluviale, la variation du taux d'humidité disponible décroît en fonction de la profondeur des horizons (Fig.III.4).

Donc on peut dire que l'horizon H3 est désavantagé du point de vue humidité sous les deux régimes sous TCS.

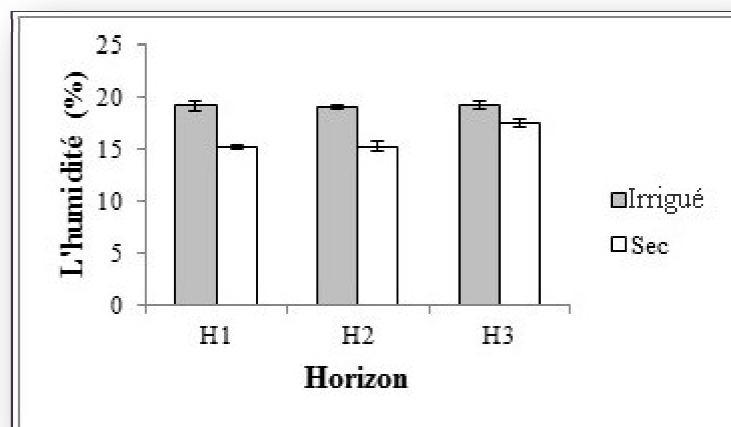


Figure III.5. Variation de l'humidité des trois horizons du sol en fonction du régime hydrique, **au stade fin épiaison.**

L'analyse de la variance de l'humidité du sol mesurée au stade fin épiaison, selon le régime hydrique, montre des effets traitements, dates, profondeurs et interactions significatifs (Tab Annexe I). En conditions irriguées, l'humidité des 03 horizons est équivalente, alors que pour le régime pluvial, l'horizon H3 présente le taux d'humidité le plus important (Fig III.5). Les horizons H1 et H2 sont désavantagés du point de vue humidité sous régime sec sous TCS.

2.2 .La perméabilité

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 agencés entre les agrégats (Lipiec et al., 2006). La macroporosité est elle-même influencée par les pratiques culturales (Hubert et al., 2007).

Les mesures de la perméabilité ont été effectuées sur le terrain, par le dispositif de double anneau de Müntz. Après saturation du sol, nous avons quantifié le volume d'eau infiltré pendant une heure.

L'analyse des résultats de la perméabilité mesurée à la surface du sol au stade montaison fait ressortir que la plus faible valeur moyenne est obtenue avec le régime sans irrigation avec 21,3 l/h (Fig.III.6). Cette valeur semble faible par rapport au régime irrigué qui a enregistré une moyenne de 25,36 l/h, valeur élevée, si on tient compte de la nature granulométrique du sol (Musy et Soutter, 1999), mais on pourrait expliquer cette valeur par l'existence d'une macroporosité responsable de la circulation de l'eau dans le milieu saturé, cette macroporosité résulterait des phénomènes de gonflement retrait fortement marqués dans ce sol, phénomènes à l'origine de fissures qui constituent des voies d'écoulement préférentiel pour l'eau. Donc même, si l'horizon de surface est saturé, l'eau continue à se redistribuer le long du profil dont l'état est relativement pauvre en eau.

La conductivité hydraulique du sol (K) dépend du volume poral. Plus ce dernier augmente et plus la conductivité hydraulique est susceptible d'augmenter.

L'effet de la macroporosité du sol sur les dynamiques de $K(h)$ est dépendant du type de travail de sol (Bottinelli, 2010). De nombreux auteurs ont montré que l'effet des pratiques culturales sur la macroporosité et la conductivité hydraulique n'était pas constant au cours de l'année culturale. La macroporosité du sol évolue à très court terme :

- *Sous l'effet du travail du sol qui produit rapidement une forte macroporosité ou à l'inverse ;
- *Sous l'effet de la pluie qui peut entraîner une prise en masse du sol lorsque la macroporosité est peu stable (Moret et Arrue, 2007) ;
- *Sous l'effet de cycles humectation et dessiccation (Dasgupta et al., 2006), gel et dégel (Sveistrup et al., 2005) ;
- *Sous l'effet de l'activité biologique (Hubert et al., 2007).

En conséquence, les variations intra-annuelles de la structure du sol peuvent être plus grandes que l'effet des pratiques culturales et même masquer l'effet de celles-ci (Chan et al., 1994) ; la conductivité hydraulique suit également une forte dynamique intra-annuelle (Strudley et al., 2008).

Les pratiques culturales, via la modification des propriétés du sol (Waddell et Weil, 1996 ; Xu et Mermoud, 2001), modifient les propriétés d'infiltration du sol (Xu et Mermoud, 2001) ainsi que ses propriétés d'évaporation (Mwendera et Feyen, 1994 ; Sillon et al., 2003) et perturbent la distribution de l'eau dans le sol.

Famiglietti et al. (1998) ont démontré que lorsque le sol est humide, le principal facteur responsable de la distribution des humidités de surface est la porosité du sol et ont en outre montré que les mécanismes gouvernés par les autres facteurs se mettent seulement en place une fois que le sol commence à se dessécher.

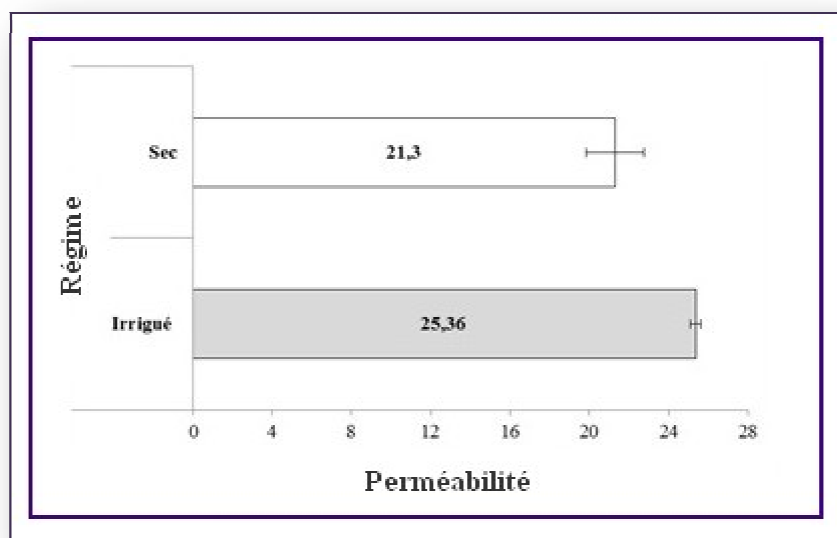


Figure III.6. Perméabilité du sol mesurée au stade Montaison

L'analyse de la variance de la perméabilité du sol mesurée au stade montaison, selon le régime hydrique, montre des effets traitements et interactions significatifs (Tab Annexe I).

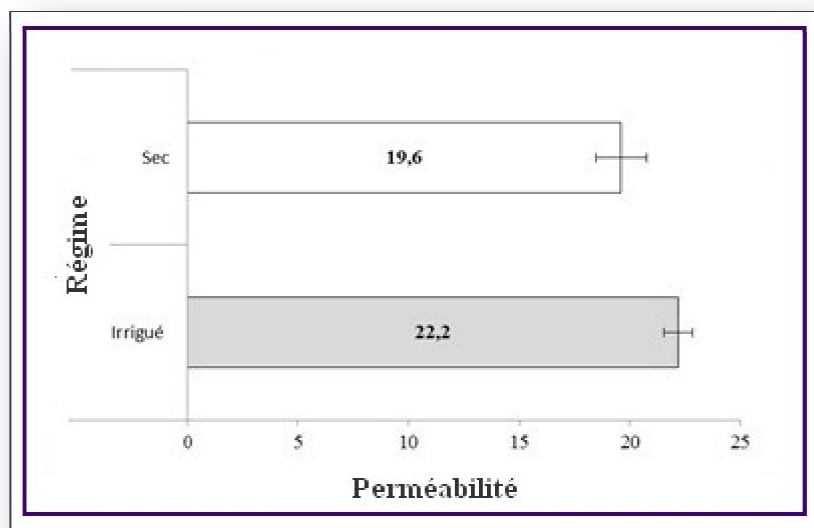


Figure III.7. Perméabilité du sol mesurée au stade fin épiaison

L'analyse des résultats de la perméabilité mesurée à la surface du sol au stade fin épiaison fait ressortir que la plus faible valeur moyenne est obtenue avec le régime sans irrigation avec **19,6 l/h** (Fig.III.7). Cette valeur semble faible par rapport au régime irrigué qui a enregistré une moyenne de **22,2 l/h**. Donc même, si l'horizon de surface est saturé, l'eau continue à se redistribuer le long du profil.

L'analyse de la variance de la perméabilité du sol mesurée au stade fin épiaison, selon le régime hydrique, montre des effets traitements et interactions significatifs (**Tab Annexe I**)

2.3. La densité apparente du sol

La Da est un indicateur de qualité du sol, elle augmente lorsque les sols sont compactés, ce qui affecte leur qualité et diminue la porosité. Les figures **III.8** et **III.9** illustrent une variation significative de la densité apparente entre les deux régimes hydriques et selon le stade d'apport de l'eau où on observe une augmentation de la densité apparente passant de $1,26 \text{ g/m}^3$ à $1,33 \text{ g/m}^3$ du régime sec au régime irrigué au stade montaison et de $1,27 \text{ g/m}^3$ à $1,33 \text{ g/m}^3$ au stade fin épiaison.

La porosité du sol, souvent appréciée par les mesures de la densité apparente, joue un rôle important dans les échanges hydriques et gazeux, ainsi que dans le développement racinaire. Elle est souvent sujette à des modifications variables lorsque les sols sont compactés, travaillés ou irrigués. C'est un paramètre très sensible à l'irrigation, à l'activité biologique, et aux transferts de surface.

De nombreux travaux montrent que le remplacement du labour par un travail simplifié ou non labour entraîne une augmentation de la densité du sol. En conséquence, la porosité totale diminue en non travail du sol dès les premières années de la mise en place du système (Guérif, 1994 ; Rasmussen, 1999). Cette porosité connaît une baisse au cours du cycle cultural lorsque le sol est travaillé, depuis la préparation du sol jusqu'à la récolte. Elle est principalement due à 3 processus de modifications de la structure du sol : (i) l'évolution des états de surface, (ii) la prise en masse du sol sous l'effet de la pluie et (iii) la fragmentation du sol et l'agrégation due à l'activité biologique (Heddadj, 1999 ; Bottinelli, 2010).

La densité apparente constitue une première estimation de la porosité globale du sol. La Da est principalement contrôlée par des facteurs (Strudley *et al.*, 2008):

-**Cultureaux**, le travail du sol fragmente le sol et crée une porosité artificielle. A l'inverse des passages répétés d'engins tassent le sol et peuvent diminuer la porosité, notamment en cas de sol mal ressuyé ;

-**Hydrologiques** : l'alternance des cycles d'**humectation-dessiccation** en relation avec la présence d'argiles dans le sol. Les périodes de dessiccation favorisent l'ouverture des fentes

-**Biologiques** liés à l'activité de la mésofaune et au développement racinaire.

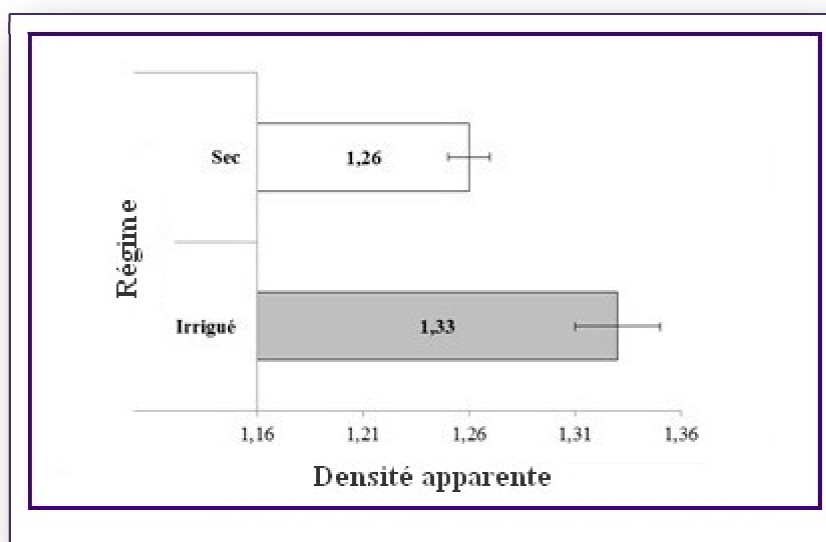


Figure III.8. Densité apparente du sol mesurée au stade montaison

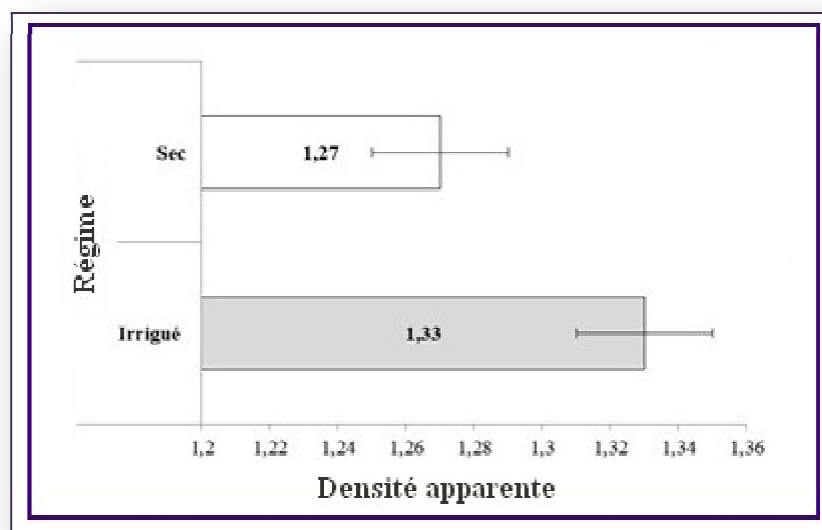


Figure III.9. Densité apparente du sol mesurée au stade fin épiaison

La différence existe entre les deux régimes mais pas entre les deux stades.

III.3. Paramètres liés à la plante

3.1. Caractères Phénologiques

-Durée des phases phénologiques

La durée des phases phénologiques : Semis→ Levée, Levée →Montaison, Montaison→ Epiaison et Epiaison→ maturité, a été étudiée et les résultats qui lui sont relatifs sont consignés dans le tableau III.1.

*Semis-Levée :

La durée de la période semis- levée varie en fonction des conditions de culture et de la pluviosité avant et après le semis. Elle correspond à l'installation de la culture. Cette phase a été relativement grande, ceci est dû aux conditions climatiques. En effet, la campagne a été marquée par une sécheresse en début de cycle, la levée a été difficile. Les chutes de pluies abondantes à partir de Février, ont permis par la suite la reprise et le développement normal des cultures. La phase depuis le semis jusqu'à 50% de plants levés, a pris en moyenne 29,7 jours. Les variétés Altar, Waha, Kucuk et Dukem ont enregistré 35 jours, alors que Mexicali a accompli cette phase en 44 jours. La levée complète a été observée en moyenne après 37,8 jours du semis (Tab III.1).

*Levée-Montaison

La durée moyenne de cette phase est de 115 jours .La variété Mexicali a enregistré 105 jours, alors que les variétés Oued Zenati et Polonicum ont accomplie cette phase en 122 et 123 jours respectivement (Tab III.1).

*Montaison-Epiaison

La durée de cette phase varie de 11 à 12 jours avec une moyenne de 11,10 jours.

*Epiaison-Maturité

La date d'épiaison, souvent utilisé comme un indicateur de précocité, est un important caractère qui influence les rendements des céréales, surtout en zone où la distribution de la pluviométrie et la variabilité des températures affectent la longueur du cycle de développement (Hadjchristodoulou, 1987).

Tableau III.1. Durée des phases phénologiques des dix variétés étudiées

Variétés	Semis-Levée	Levée Montaison	Montaison- Epiaison	Epiaison- Maturité	Cycle total
Oued Zenati	41	122	11	34	208
Altar	35	115	11	45	206
Sooty	37	113	12	44	206
Polonicum	37	123	11	37	208
Waha	35	113	11	47	206
Dukem	35	119	11	41	206
Mexicali	44	105	11	46	206
Kucuk	35	113	11	47	205
Hoggar	37	112	11	46	206
Bousselem	42	115	11	38	206
Moyenne	37,8	115	11,10	42,50	206,30

Les conditions climatiques ayant prévalu au début de la campagne ont influé sur la durée des phases phénologiques. L'écart varie globalement de 1 à 8 jours. Il faut remarquer, quand même que les génotypes expérimentés appartiennent à deux groupes de précocité différents, les génotypes à cycle long présentent un écart plus important à maturité. La durée du passage d'un stade à un autre est variable suivant le génotype.

3.2. Elaboration du rendement et ses composantes

L'analyse de la variance met en évidence un effet génotypique très hautement significatif pour l'ensemble des caractères mesurés. Cette même analyse montre qu'il existe un effet traitement significatif à très hautement significatif pour le rendement en grain et l'ensemble des composantes du rendement, excepté pour l'indice de récolte et le nombre de grains par épi (**Tab III.3**).

Elle met également en évidence une interaction génotype X traitement non significative pour l'ensemble des caractères excepté pour le PMG. Les coefficients de variation varient de 7,53 % (PMG en irrigué) à 21,47 % (NG/m² en sec).

3.2.1. Levée et tallage herbacé

L'analyse de la variance du nombre de plants levés /m² et du nombre de talles /m² montre une différence significative entre les génotypes.

Les variétés Sooty, Waha, Kucuk, Hoggar et Dukem occupent mieux leur milieu et couvrent bien le sol en produisant plus de talles herbacées avec 2,78, 2,72, 2,62, 2,56 et 2,51 talles/plants respectivement, comparé à Oued Zenati qui a enregistré 2,005 talles/plants (**Tab III.2**).

Le tallage herbacé étant tout d'abord une caractéristique génétique, il varie avec les conditions techniques et climatiques qui prévalent en début du cycle végétatif. L'humidité du sol favorise le tallage. Le froid réduit le nombre de talles par plante.

Tableau III.2. Levée et tallage herbacé.

Génotype	Levée (en jours)		NP Levés/m ²	Talles/m ²	Coefficient tallage
	50%	100 %			
Oued Zenati	35	41	197,23 ab	395,55 e	2,005
Altar	28	35	199,45 ab	437,25 de	2,19
Sooty	29	37	205,00 a	570 a	2,78
Polonicum	28	37	191,10 ab	459,45 cde	2,4
Waha	27	35	223,31 a	608,35 a	2,72
Dukem	26	35	214,15 a	538,35 abcd	2,51
Mexicali	33	44	163,88 b	363,35 e	2,22
Kucuk	27	35	210,00 a	550,55 abc	2,62
Hoggar	29	37	184,58 ab	472,1 bcde	2,56
Bousselem	35	42	187,78 ab	453,35 cde	2,41
Moyenne	29,7	37,8	197,65	484,83	2,442

NB : Les valeurs moyennes d'une même colonne ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%.

Ce caractère est influencé par les caractéristiques variétales et les techniques culturales. (Masle-Meynard, 1981). Le potentiel de tallage est associée avec les composantes de rendement telles que le nombre d'épi, qui dépend énormément des talles herbacées, Le poids du grain dépend lui aussi du nombre de talles qui fait de la compétition des différents épis pour l'accumulation des assimilés et également pour la nutrition minérale et l'eau (Masle-Meynard, 1981).

Le nombre de talles par plante est une composante qui explique indirectement le rendement en matière sèche. Ce paramètre est largement influencé par la température (Austin et Johnes, 1975; Masle-Meynard, 1980), et par les caractéristiques variétales et les techniques culturales (Masle-Meynard, 1981 ; Gonde et al., 1986). Le nombre d'épis / plante est dépendant de la capacité du tallage herbacée. Cette capacité de tallage permet à la plante de s'ajuster à un environnement variable pour assurer un minimum de production, de la régularité de production des talles fertiles dépend donc un grand rendement en grain (Hadjchristodoulou, 1985).

Le déficit hydrique retarde la levée, il provoque l'arrêt de l'émission de nouvelles talles, il accentue le taux de régression des talles montantes et augmente le taux d'avortement des fleurs (Gate et al., 1997).

Le nombre de talles par plante est un caractère variétal, qui, en conditions favorables, pourrait renseigner sur le potentiel de production des variétés (Bennaceur et al. 1997). Ce paramètre peut être considéré comme une composante primaire qui affecte indirectement le rendement (Grancourt et Prats (1971). De même Thorne et al. (1968) ont révélé un effet positif de talles herbacées sur le rendement.

3.2.2. Le nombre d'épis par m² (NE)

Les plus élevés au niveau du traitement irrigué sont donnés par les variétés Kucuk et Dukem (378,33 et 374, 58, épis/m²). Les variétés fournissant un faible nombre d'épis par m² sont les variétés Oued Zenati et polonicum (289,16 et 290 épis/ m² respectivement).

Pour le traitement non irrigué, c'est la variété Waha qui détient le nombre d'épis par m² le plus élevé (344,13 épis/m²). Le plus faible nombre d'épis est donné par la variété Polonicum (237,75 épis /m²). La baisse du nombre d'épis /m² moyen est de 15,07% (Tab III.3).

Le nombre d'épis/plant est surtout lié au nombre de talles /plante (Shanahan et al. 1985). Selon Gate et al. (1992), le nombre d'épis subira une forte diminution si le déficit hydrique intervient durant la phase de montée des épis.

3.2.3. Le nombre de grains par épi (NGE) (fertilité de l'épi)

L'analyse de la variance montre qu'il existe un effet traitement non significatif pour ce caractère (Tab III.3).

Le NGE varie de 34,88 (Bousselem) à 46,80 (Dukem) en conditions irriguées et de 34,02 (Bousselem) à 46,50 (Dukem) en conditions sèches (Tab III.3). La fertilité moyenne de l'ensemble des variétés passe de 41,03 grains/épi en conditions irriguées à 40,21 grains/épi en conditions sèches (Tab III.3).

Les valeurs obtenues concordent avec certains résultats publiés par Annicchiarico et al. (2002) où l'on enregistre des variations de nombre de grains par épi pour un même génotype en fonction des conditions de culture (régime hydrique).

Le nombre de grains/épi est la composante de rendement la plus importante (Couvreur, 1984). Il est fonction du nombre d'épillets/épi et du nombre de grains/épillet. L'augmentation du nombre de grains par épi se traduit par une diminution correspondante du poids de 1000 grains et une sensibilité à l'échaudage (Grignac, 1981).

La formation du nombre de grains par épi suit celle des épis dont le développement devient apparent après le stade épi 1cm. Le stade méiose est particulièrement sensible à la variation de température. La réduction de la fertilité peut avoir comme cause le déficit hydrique et les hautes températures de la période de 10 à 15 jours avant l'anthèse (O'Tooles et Stockle, 1989) aussi bien que l'effet de basse température (Fletcher, 1983).

Le nombre de grains / épi est mis en place au moment de l'induction florale, dès la fin du tallage. En même temps que la tige s'allonge, les pièces florales se différencient, quelques jours après la fin de montaison, le nombre d'ovule par épi est fixé (Fisher et Maurer, 1978). Il est sensible à la variation climatique de cette période ainsi qu'à toute déficience de fourniture des assimilats (Triboï *et al.*, 1985). Il influe sur la capacité du puits en conditions de déficit hydrique, c'est un bon indicateur de la tolérance à la sécheresse (Annichiarico et Pecetti, 1993).

3.2.4. Le nombre de grains par m² (NG/m²)

Varie de 15641,34 (Dukem) à 9330,86 (Oued Zenati) en conditions irriguées, et entre 15263,7 (Dukem) à 9615,58 (Oued Zenati) en conditions pluviales. Le nombre de grains par m² moyen des dix variétés passe de 12065,00 en irrigué à 11573,58 en sec soit une diminution de 4,07 %.(Tab III.3).

Le nombre de grains/m² est un caractère étroitement lié avec le rendement en grain, sous différents lieux et pour différents génotypes (Fisher et Maurer, 1978).

3.2.5. Le poids de mille grains (PMG)

Il est compris entre 42,99 g (Dukem) et 56,85 g (Bousselem) dans le traitement irrigué, et entre 41,9 g (Dukem) et 57,07 (Bousselem) en conditions non irriguées (Tab III.3). Le poids de mille grains moyen de l'ensemble des variétés passe de 51,99g en conditions irriguées à 51,25 g en conditions pluviales soit une diminution de 1,40% (Tab III.3).

Le PMG est un critère variétal pouvant subir les fluctuations liées en particuliers à l'échaudage. Grignac (1981) précise que le poids de 1000 grains diminue lorsque la fertilité de l'épi augmente. Ce poids dépend fortement des conditions climatiques et de la nutrition azotée durant la maturité.

En effet Blum *et al.* (1991) font remarquer que deux sources contribuent simultanément au remplissage du grain, les substrats carbonés produits avant anthèse et qui sont stockés dans le col de l'épi et ceux produits au cours de la phase de remplissage du grain. La première source est une caractéristique adaptative alors que la seconde ne l'est pas ; elle est liée à la durée de vie de la dernière feuille.

Le poids moyen du grain participe à la stabilité de la production d'un cultivar donné. Il dépend des conditions de croissance post-anthèse (vitesse de transfert), de l'activité photosynthétique durant le remplissage du grain (durée de vie de la feuille étendard) et du nombre de cellules formés par l'endosperme (Benlaribi, 1984 ; Bouzerzour, 1998).

Pendant une partie de la période de remplissage du grain, la quantité d'eau contenue dans le grain reste constante. Ainsi, la notion du " Palier hydrique" est caractérisée par deux paramètres :

- la vitesse de remplissage de la quantité stockée essentiellement dans la tige est transférée vers le grain et l'assimilation post-floraison.
- la durée de remplissage est négativement corrélée à la vitesse (Triboï *et al*, 1985).

Le PMG est généralement peu maîtrisable, car il est fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage du grain. Un manque d'eau après floraison combiné aux températures élevées entraîne une diminution du PMG par altération de la vitesse et/ou de la durée de remplissage ce qui se traduit par l'échaudage des grains (Benbelkacem et Kellou, 2000).

3.2.6 .Le rendement grain qx/ha (RDT)

Le rendement moyen de l'ensemble des variétés est fortement diminué lorsque l'on passe du traitement irrigué (66,80 qx/ha) au traitement sec (58,50 qx/ha) (Tab III.3).

Dans l'essai irrigué, les variétés Sooty et Kucuk présentent les rendements les plus élevés respectivement 75,55 qx/ha et 73,53 qx/ha, alors que le plus faible rendement a été donné par la variété Oued Zenati 57,45qx/ha (Fig III.10 et Tab III.3).

Dans l'essai sec, les variétés Waha, Dukem et Sooty présentent les rendements les plus élevés respectivement 64,63 qx/ha, 63,94 qx/ha et 63,14 qx/ha alors que le rendement le plus faible a été donné par la variété Oued Zenati 52,2 qx/ha (Fig III.10 et Tab III.3).

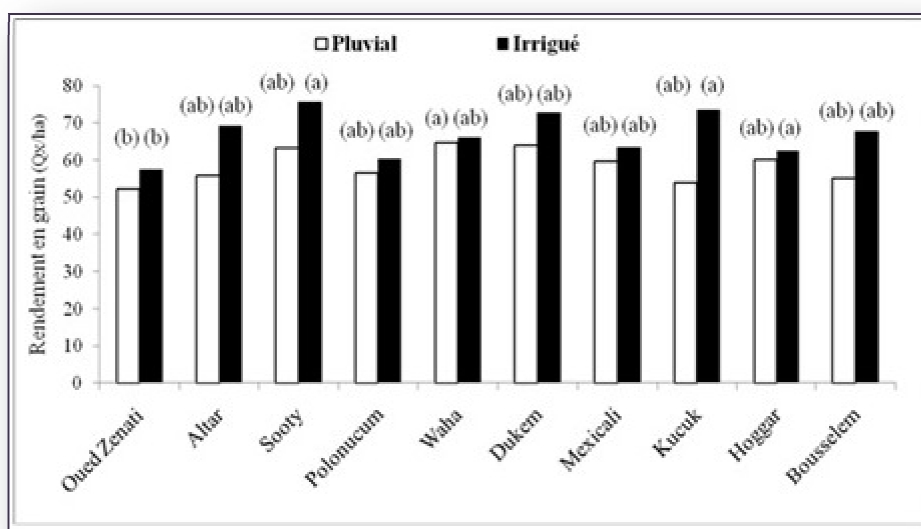


Figure III.10. Rendement en grain (Qx/ha) des deux régimes

Le rendement en grain est conditionné par le potentiel génétique de la variété, mais aussi par les conditions agro-climatiques et la conduite culturale. En effet, le rendement en grains est tributaire de la quantité d'eau transpirée, de l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'indice de récolte (Ludlow et Muchow, 1988).

Le rendement en grain est déterminé par trois composantes principales (le nombre d'épis au mètre carré, le nombre de grains/épi et le poids de mille grains). Les deux premières aboutissent à un nombre de grains au mètre carré qui définit la fertilité globale du peuplement.

Ces composantes principales du rendement interagissent entre elles par des phénomènes de compensation. Chez de nombreuses espèces (le blé, l'orge, le maïs,...), La répartition de la biomasse entre les organes végétatifs et reproducteurs au cours de la fin du cycle peut être décrite au travers de l'indice de récolte de la biomasse (Munier-Jolain et Carrouée, 2005). Cette variable correspond à la fraction de la biomasse totale aérienne représentée par les grains (Munier-Jolain et Carrouée, 2005).

3.2.7. La biomasse aérienne et hauteurs des chaumes (BIOM)

La valeur moyenne de la biomasse passe de 130,03 qx/ha pour le traitement irrigué à 108,27 qx/ha, soit une chute de la biomasse aérienne de 16,72%.

En conditions irriguées, la variété Bousselem enregistre la valeur la plus élevée (148,25 qx/ha) et la variété Hoggar la valeur la plus faible (112,16 qx/ha), alors qu'en régime sec c'est la variété Oued Zenati qui accumule la quantité la plus importante (122,78 qx/ha) et Dukem la quantité la plus faible (98,85 qx/ha) (Fig III.11 et Tab III.3).

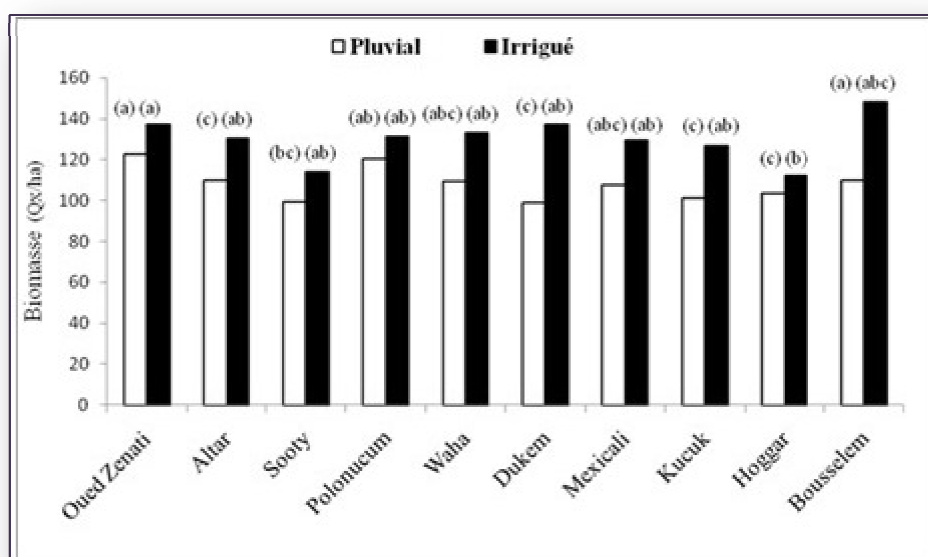


Figure III.11. Biomasse (qx/ha) des deux régimes

3.2.8. L'Indice de récolte

L'analyse de la variance montre qu'il existe un effet traitement non significatif pour ce caractère (Tab III.3).

L'indice moyen de l'ensemble des variétés passe de 57,60 % dans le traitement avec irrigation à 57,06 dans le traitement sans irrigation. Ce qui représente une diminution de 0,93%. (Tab III.3).

Dans les conditions irriguées, les valeurs les plus élevées de cet indice sont obtenues par les variétés Altar (67,75%) et Sooty (66%) et la plus faible par la variété Oued Zenati (40,97%).

En conditions pluviales, la valeur la plus importante de cet indice est obtenue par la variété Dukem (68,02%). La plus faible valeur d'indice de récolte est enregistrée par Oued Zenati (44,76%). (**Tab III.3**).

Tableau III.3. Variation des paramètres agronomiques des dix variétés étudiées en fonction du régime hydrique

	N E /m ²		NG / E		NG / m ²		PMG		RDT		BIOM		HI	
Genotypes	Irr	Sec	Irr	Sec	Irr	Sec	Irr	Sec	Irr	Sec	Irr	Sec	Irr	Sec
Oued Zenati	289,16b	241,65e	37,97cd	39,8cd	9330,86c	9615,58c	53,71ab	54,29b	57,45b	52,2b	137,5a	122,78a	40,97b	44,76e
Altar	339,16ab	266,65de	40,41bcd	36,91de	12001,94bc	9839,01c	54,66ab	56,88a	69,14ab	55,94ab	130,33ab	109,91c	67,75a	58,33bc
Sooty	364,58a	313,75bc	46,25a	44,19ab	13625,32ab	13933,24ab	47,97c	45,44e	75,55a	63,14ab	114ab	99,405bc	66 a	63,42ab
Polonucum	290b	237,75e	44,88ab	44,66ab	11185,88bc	10659,49c	51,96b	52,75c	60,18ab	56,47ab	131,16ab	120,58ab	45,47b	49,2de
Waha	359,16a	344,13a	40,08bcd	38,58cd	12642,12abc	13263,7b	52,94b	48,73d	65,94ab	64,63a	133ab	109,55abc	59,13a	59bc
Dukem	374,58a	331,66ab	46,8a	46,05a	15641,34a	15263,7a	42,99d	41,9f	72,70ab	63,94ab	137,5ab	98,85c	60,63a	68,02a
Mexicali	337,08ab	293,32cd	41,83abc	39,83cd	12548,42abc	11689,89c	51,95b	51,03cd	63,44ab	59,64ab	129,33ab	107,4abc	58,61a	57,19bcd
Kucuk	378,33a	293,32cd	37,27cd	36,55de	12883abc	10724,04c	52,31b	50,3d	73,53a	53,96ab	127ab	101,03c	61,19a	55,22bcd
Hoggar	320,83ab	268,33de	39,83bcd	41,41bc	10755,18bc	11107,96c	54,51ab	54,09b	62,36a	60,05ab	112,16b	103,46c	60,47a	64,04ab
Bousselem	331,25b	283,32ed	34,88d	34,02e	10035,96bc	9639,16c	56,85a	57,07a	67,75ab	55,01ab	148,25a	109,71abc	55,82a	51,42cde
Moyenne	338,41	287,39	41,02	40,20	12065,00	11573,58	51,99	51,25	66,80	58,50	130,02	108,27	57,60	57,06
Min	289,16	237,75	34,88	34,02	9330,86	9615,58	42,99	41,90	57,45	52,20	112,16	98,85	40,97	44,76
Max	378,33	344,13	46,80	46,05	15641,34	15263,70	56,85	57,07	75,55	64,63	148,25	122,78	67,75	68,02
CV %	9,42	12,33	9,61	9,69	18,25	21,47	7,53	9,50	9,00	7,55	8,26	7,61	14,57	12,57
Effet génotype	***		***		***		***		***		***		***	
Effet irrigation	***		ns		***		*		***		***		ns	
Effet interaction	ns		ns		ns		*		ns		ns		ns	
L'augmentation en %	15,07		2,42		4,07		1,40		12,42		16,72		0,93	

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

-NS : Non significatif, * : Significatif à **p= 0,05**, ** : Significatif à **p=0,01**, *** : Significatif à **P=0 ,001**.

-**NE/m²** : Nombre d'épis par m², **NG/E** : Nombre de grains par épi, **NG/m²** : Nombre de grains par m², **PMG** : Poids de mille grains (g), **RDT** : Rendement en grains qx/ha, **BIOM** : Biomasse produite qx/ha, **HI** : Index de Récolte.

Cette analyse montre donc que les niveaux des moyennes affichées par les variables mesurées changent en fonction des traitements (effet du milieu). En effet, une interaction génotype X traitement non significative montre que les génotypes étudiés sont stables pour les caractéristiques indiquées, d'un traitement à un autre sauf pour le PMG.

3.2.9. Indices de la tolérance à la sécheresse

D'après Fernandez (1992), la réponse des génotypes à la variation des milieux a fait l'objet d'une classification en quatre groupes, désignés **A**, **B**, **C** et **D**. Les génotypes du **groupe A** produisent un haut rendement aussi bien sous conditions favorables que défavorables. Ceux du **groupe B** donnent un haut rendement sous conditions favorables, alors que ceux du **groupe C**, au contraire donnent un haut rendement sous conditions contraignantes. Les cultivars du **groupe D** ont un faible potentiel de rendement quelques soit les conditions de croissance auxquelles ils sont soumis.

La tolérance du stress est la capacité des génotypes à minimiser la réduction de rendement sous stress. Plusieurs recherches utilisent des indices de mesure de la tolérance des stress à travers la mesure du rendement pour identifier des génotypes à large adaptation (Fisher et Maurer, 1978 ; Niari-Khamssi, 2011 et Guendouz et al., 2012).

Les dix variétés de blé dur ont été évaluées pour leur aptitudes au rendement en grains sous des conditions irriguées (GYp) et pluviales (GYs). Trois indices ont été utilisés pour identifier des génotypes de blé dur les plus tolérants et performants sous deux conditions hydriques (sec et irrigué). Il s'agit de l'indice de tolérance au stress (STI), l'indice de la productivité moyenne (MP) et la productivité géométrique moyenne (GMP). Les rendements dans les conditions normales n'étaient pas corrélés avec les rendements de l'état de stress.

Ces indices MP, GMP et STI sont aptes à identifier les génotypes qui associent potentiel de rendement et tolérance aux stress. Parmi les génotypes évalués, Waha, Dukem et Sooty montrent une grande tolérance à la contrainte hydrique et donnent des rendements de 64,6, 63,9 et 63,1 qx/ha respectivement (Tab III.3 et III.4). La variété Sooty a été la plus tolérante avec 63,1 qx/ha en milieu stressé et 75,5 qx/ha en milieu irrigué (Tab III.3 et III.4). Ces indices ont aussi identifiés les variétés Oued Zenati et Polonicum, ayant des rendements de 52,2 et 56,4 qx/ha respectivement, comme étant des variétés très sensibles à la contrainte hydrique (Tab III.3 et III.4).

Les rendements dans les conditions irriguées n'étaient pas corrélés avec les rendements de l'état de stress (Tab III.5). La corrélation significative et positive de Gyp et MP, GMP et STI a montré que ces indices sont efficaces pour identifier les cultivars à haut rendement dans des conditions d'humidité. L'indice de tolérance au stress (STI) a donné une classification des cultivars identique à la moyenne géométrique (GMP) et à la productivité moyenne (MP) (Tab III.4).

Tableau III.4. Estimation du taux de sensibilité de 10 variétés de blé dur par différents indices de tolérance au stress sous conditions de contraintes et non contraintes hydriques

	GYs	GYp	STI	GMP	MP
Oued Zenati	52,2d	57,4b	0.671e	5.46e	5.48e
Altar	55,9bcd	69,1ab	0.87bcd	6.20bcd	6.25bcd
Sooty	63,1abc	75,5a	1.065a	6.88a	6.93a
Polonicum	56,4abcd	60,1ab	0.758de	5.79de	5.83de
Waha	64,6a	65,9ab	0.955abc	6.52abc	6.52abc
Dukem	63,9ab	72,7ab	1.039ab	6.80ab	6.83ab
Mexicali	59,6abcd	63,4ab	0.849cd	6.14cd	6.15cd
Kucuk	53,9d	73,5a	0.891abcd	6.29abcd	6.37abcd
Hoggar	60,0abcd	62,3a	0.828cde	6.05cde	6.12cde
Bousselem	55,0cd	67,7ab	0.833cde	6.09cd	6.13cd
Moyenne	58,5	66,8	0.876	6.22	6.26
Min	52,2	57,4	0.671	5.46	5.48
Max	64,6	75,5	1.065	6.88	6.93
C.V	0.815	0.977	0.175	0.632	0.651

N.B : Les valeurs moyennes ayant une lettre en commun ne sont pas différentes significativement au seuil de 5%. **GYs**: Rendement obtenu sous stress (Qx/ha), **GYp**: Rendement obtenu en l'absence du stress (Qx/ha), **STI**: L'indice de tolérance au stress, **GMP**: La moyenne géométrique de la productivité et **MP**: L'indice de la productivité moyenne.

Tableau III.5. Corrélation entre le rendement grain et les indices de tolérance au stress sous conditions de contraintes et non contraintes hydriques

	GYs	GYp	STI	GMP	MP
GYs	1				
GYp	0.37	1			
STI	0.79**	0.86**	1		
GMP	0.79**	0.86**	1.00***	1	
MP	0.77**	0.88**	1.00***	1.00***	1

NB : *** Significatif à P = 0,001; ** Significatif à P = 0,01; * Significatif à P = 0.05; **NS** : non significatif, respectivement. **GYs**: Rendement obtenu sous stress (Qx/ha), **GYp**: Rendement obtenu en l'absence du stress (Qx/ha), **STI**: L'indice de tolérance au stress, **GMP**: La moyenne géométrique de la productivité et **MP**: L'indice de la productivité moyenne

Des corrélations hautement significatives sont observées entre GYp et les indices MP, GMP et STI et montrent l'efficacité de ces indices pour identifier des génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) tolérants et performants. Ces indices sont aussi corrélés entre eux ($r_{MP_STI}=1.00^{**}$, $r_{MP_GMP}=1.00^{**}$, $r_{GMP_STI}=1.00^{**}$) (Tab III.5 et Tab Annexes III et IV).

Les rendements dans les conditions de non contrainte hydrique, font montrer une corrélation positive et significative avec la productivité moyenne (MP) ($r=0.88^{***}$), moyenne géométrique (GMP) ($r=0.86^{**}$) et l'Indice de tolérance au stress (STI) ($r=0.86^{**}$) (Tab III.5). Ces résultats sont compatibles avec ceux de Rosielle et Hamblin (1981). Ils montrent que, dans la majorité des expériences comparatives, la corrélation de rendement entre MP et GYp et également MP et GYs est positive. Le Rendement sous conditions de stress montre une corrélation positive et significative avec la productivité moyenne (MP) ($r=0.77^{**}$), la moyenne géométrique (GMP) ($r=0.79^{**}$), et l'indice de tolérance au stress (STI) ($r=0.79^{**}$) (Tab III.5).

Choukan et al. (2006) et Farshadfar et al. (2001), estiment que le meilleur indice approprié pour sélectionner des variétés tolérantes au stress, est l'indice qui présente une corrélation relativement forte avec la production en grain dans les deux conditions à la fois stressées et non stressées. Par l'évaluation des taux de corrélation entre le rendement en grain et la tolérance au stress dans les deux conditions, il peut être possible d'identifier l'indice le plus approprié.

Shafazade et al. (2004), dans une étude sur des génotypes de blé, ont montré une corrélation positive et significative entre le rendement en conditions de non stress et MP, GMP et STI et ils ont aussi trouvé une corrélation positive et significative entre le rendement en non contrainte et toute tolérance à la sécheresse et les indices de sensibilité à la sécheresse. Ils ont suggéré que l'existence de corrélation positive et significative entre les indices et le rendement dans les deux conditions (stressée et non stressée) signifie que ces indices sont adaptés pour évaluer la tolérance à la sécheresse des génotypes. Les résultats de cette recherche sont compatibles avec ceux de Taghizade et al. (2002). Ils ont trouvé que les indices, MP, GMP et STI ont un effet positif et corrélation significative avec le rendement à la fois dans les deux conditions.

Afin de regrouper les 10 génotypes étudiés, les trois indices évalués au cours des conditions à la fois stressées et non stressées, ces génotypes ont été classés en deux groupes (Tab III.4). Le premier groupe comprend les génotypes : Waha, Dukem et Sooty, le deuxième groupe comprend les génotypes : Oued Zenati, Altar, Polonicum, Mexicali, Kucuk, Hoggar et Bousselem. Les génotypes qui ont des valeurs élevées de ces indices ont enregistrés des rendements élevés dans les conditions de stress et non stress.

Par conséquent, les génotypes Waha, Dukem et Sooty sont les génotypes supérieurs pour les deux environnements. Génotypes Oued Zenati, Altar, Polonicum, Mexicali, Kucuk, Hoggar et Bousselem étaient plus adaptés aux contraintes de non stress que pour les conditions de stress. Farshadfar et Sutka (2003) et Golabadi et al. (2006) ont obtenu des tendances similaires de la tolérance à la sécheresse chez des cultures différentes.

Les indices MP, GMP et STI identifient les génotypes associant le potentiel de rendement et la tolérance des stress. Les indices à valeurs élevées sont les plus désirables. Ils seraient les mieux indiqués pour les régions où la variation climatique inter annuelle est forte.

3.3. Caractères Morphologiques

L'analyse de la variance met en évidence un effet génotypique significatif à très hautement significatif pour l'ensemble des caractères mesurés. L'effet traitement est très hautement significatif pour tous les caractères sauf pour la longueur de l'épi (Tab III.7).

L'interaction variété X effet hydrique est très hautement significative pour tous les caractères à l'exception de la longueur de l'épi (Tab III.7). Les coefficients de variation varient de 5,23 % (Longueur de l'épi en sec) à 30,20 % (Surface foliaire en irrigué).

3.3.1. La Longueur du col de l'épi (LC)

La longueur moyenne du col de cet organe passe de 19,451 cm dans l'essai irrigué à 14,405 cm dans l'essai sec, soit une baisse de 25,96 %.(Tab III.7).

Dans le traitement irrigué, la variété Polonicum présente la longueur du col de l'épi la plus élevée (27,31 cm) et la plus faible valeur est obtenue par la variété Hoggar (15,07 cm).

Dans le traitement sec, la longueur de l'épi la plus élevée est obtenue par la variété Mexicali (18,51 cm), alors que la plus faible valeur est obtenue par la variété Hoggar (12,68 cm) (Tab III.7).

La longueur du col de l'épi est considérée comme un critère de sélection de génotypes tolérants au déficit hydrique (Fischer et Maurer, 1978). Son rôle est important dans l'amélioration du rendement. Ce rôle peut s'expliquer, d'une part par la photosynthèse courante, et d'autre part, par les quantités d'assimilats stockés à son niveau et qui sont susceptibles d'être transportés vers le grain en conditions de déficit hydrique terminal (Gate et al. 1990 et 1992). Elle varie en fonction de la hauteur de la plante et des conditions climatiques de l'année. La sécheresse et les hautes températures limitent le développement des plantes et par conséquent la longueur du col est réduite. Les valeurs enregistrées concordent avec certains résultats publiés (Annichiarico et al., 2002).

Un col de l'épi long constitue une protection contre la contamination de l'épi par les spores de *Septoria* à partir des dernières feuilles (Wardlaw, 1967).

3.3.2. La Longueur de l'épi (LEP)

La longueur moyenne de l'épi passe de 7,570 cm dans le traitement irrigué à 7,517 cm dans le traitement sec soit une diminution de 0,79%. Dans l'essai irrigué, la longueur de l'épi la plus élevée est obtenue par Polonicum (8,3 cm) et la plus faible longueur est obtenue par les variétés Waha (7,1 cm), Hoggar (7,08 cm), Altar (7,04 cm) et Oued Zenati (6,77 cm) alors que dans l'essai sec, la variété Polonicum présente toujours une longueur de l'épi la plus élevée (8,28 cm) et la plus faible valeur est donnée par les variétés Oued Zenati (7,13 cm), Altar (7,07 cm) et Sooty (6,98 cm). (Tab III.7).

Les caractéristiques de l'épi (épi court à barbes peu développées) contribuent également à une limitation des pertes en eau (Febrero et al. 1990). L'épi assure une activité photosynthétique importante au cours du remplissage du grain (Febrero et al. 1990) et sa contribution à la photosynthèse de la plante entière serait comprise entre 13% et 76%, (Biscoe et al. 1975). En cas de stress hydrique, il participe même plus activement à la photosynthèse que la feuille étendard en raison de la sénescence des feuilles, des caractéristiques particulières de son fonctionnement photosynthétique (Febrero et al., 1990) et en particulier

de sa transpiration élevée (Blum, 1985), de la proximité source puits (Carre et Wardlaw, 1985) et de la meilleure capacité d'ajustement osmotique de l'épi (Morgan, 1984). Le rôle essentiel des épis (et en particulier des glumes) en tant qu'organes photosynthétiques a été confirmé chez le blé à l'aide de la méthode de discrimination isotopique de carbone (Romagosa et Araus, 1990).

3.3.3. La longueur des barbes (LB)

La longueur moyenne des barbes passe de 8,728 cm dans le traitement irrigué à 9,945 cm dans le traitement non irrigué. Soit une augmentation de 13,99 %.(Tab III.7).

Dans le traitement irrigué, la variété Oued Zenati présente la longueur des barbes la plus élevée (12 cm) et la plus faible valeur est obtenue par la variété Hoggar (6,12 cm). (Tab III.7).

Nemmar (1980) mentionne que la présence des barbes chez les céréales augmente la possibilité d'utilisation de l'eau et l'élaboration de la matière sèche lors de la phase de maturation. Au cours de la phase de remplissage du grain, la photosynthèse est moins sensible à l'action inhibitrice des hautes températures chez les génotypes barbus comparativement aux génotypes glabres (Fokar et al., 1998). La longueur des barbes est un paramètre morphologique qui semble également étroitement lié à la tolérance au déficit hydrique terminal tout au moins chez le blé dur (Hadjichristodoulou, 1985). Les barbes, par leur port dressé et leur position au voisinage immédiat de la graine, conditionnent sa formation (Gate et al., 1992), augmente la possibilité d'utilisation de l'eau et l'élaboration de la matière sèche surtout après la sénescence des feuilles étendards (Monneveux et Nemmar, 1986; Gate et al., 1992).

3.3.4. La Hauteur de la tige (HT)

La hauteur de la tige présente une variabilité importante. Dans l'essai irrigué, les variétés locales Oued Zenati et Polonicum ont eu les plus grandes tailles (Supérieur à 135 cm). Tandis que les plus petites tailles ont été obtenues par Hoggar (89,83 cm) et Dukem (89,58 cm) qui sont des variétés à paille courte (Tab III.7).

Dans l'essai conduit en sec, la hauteur de la tige varie 118 cm (Oued Zenati) à 78,41 cm (Dukem). L'effet du déficit hydrique est très néfaste sur ce caractère. La moyenne de la taille des génotypes est de 103,70 cm dans le traitement irrigué et de 90,67 cm pour le traitement non irrigué, soit une diminution de 12,56% (Tab III.7).

La hauteur des plantes, grâce à ses effets bénéfiques lors des années sèches, effets attribués aux réserves stockées dans le col de l'épi, est une des caractéristiques qui renforce l'adaptation aux milieux variables et la tolérance des contraintes (Ehdaie et al., 2006).

Les variétés de céréales les plus tolérantes à la sécheresse sont les variétés à paille haute. Cette corrélation pourrait s'expliquer par le fait qu'une taille élevée du chaume est souvent associée à un système racinaire profond (Subbiah et al. 1968). Ce système racinaire aurait une meilleure aptitude à extraire l'eau du sol en profondeur et à assurer le remplissage du grain en cas de déficit hydrique terminal. Le remplissage du grain est lié à la remobilisation des quantités d'assimilats stockés dans cette partie de la plante. Si les tiges sont physiquement courtes, leur capacité de stockage est plus petite et leur sensibilité au stress environnemental est plus grande (Pheloung et Siddique, 1991).

La hauteur de la plante est un critère de sélection important. Mekliche et al (2003) trouvent une liaison positive et significative entre le rendement et la hauteur de la paille. Fisher et Maurer (1978) mentionnent que les blés hauts ont un indice de sensibilité à la contrainte hydrique plus faible comparativement aux blés nains et semi-nains.

La recherche de la tolérance à la sécheresse passe par l'augmentation de la hauteur de la paille. Ceci se justifie, par trois points principaux:

- Les variétés à paille haute ont une meilleure adaptation au déficit hydrique, dans ces conditions elles ont l'aptitude à remplir un grain qui est lié, chez un génotype donné, aux quantités d'assimilats stockés dans la tige et en particulier au niveau du col de l'épi, et à la capacité de remobiliser ces réserves (Blum, 1988).

- La taille élevée du chaume est souvent associée à un système racinaire profond et donc à une meilleure extraction de l'eau du sol (Bagga et al., 1970).

- Le poids du grain se forme à partir de l'activité photosynthétique et des translocations des réserves acquises et stockées pendant la montaison essentiellement au niveau de la tige (Gate et al., 1990).

3.3.5. La surface de la feuille étendard (SF)

La surface mesurée sur tous les génotypes est très différente. En conditions irriguées, les feuilles étendards les plus grandes sont observées chez la variété Oued Zenati (30,66 cm²), et les plus petites sont observées chez la variété Altar (13,83 cm²) (Tab III.6 et III.7).

En ce qui concerne le traitement sans irrigation, les feuilles étendards les plus grandes sont toujours observées chez la variété Oued Zenati (19,37 cm²), et les plus petites chez Polonicum (11,46 cm²) et Waha (12,02 cm²). La moyenne de la surface de la feuille étendard passe de 18,099 cm² dans le traitement irrigué à 14,967 cm² dans le traitement non irrigué, ce qui correspond à une diminution de 17,24 % (Tab III.6 et III.7).

La surface foliaire est un déterminisme important de la transpiration. Une des premières réactions des plantes au déficit hydrique est de réduire la surface foliaire (Lebon et al., 2004). Le développement végétatif sous conditions limitantes d'alimentation hydrique est fortement perturbé (Ferryra et al., 2004), on note principalement une diminution importante de la taille et de la surface foliaire. Cette diminution est une des réponses des végétaux à la déshydratation, elle contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante (Lebon et al., 2004).

L'effet du stress hydrique peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété par des modifications morphologiques, ces modifications affectent la partie aérienne ou souterraine : réduction de la surface foliaire et du nombre de talles, enroulement des feuilles et meilleur développement du système racinaire (Slama et al, 2005). Granier et al., (2000) ont rapporté que les feuilles des plantes soumises au déficit hydrique atteignent habituellement des tailles finales apparentes plus petites par rapport aux contrôles.

La surface de la feuille étendard varie aussi en fonction des conditions d'humidité du sol durant la phase précédant l'épiaison. Il convient de remarquer que selon Bidinger et Witcombe (1989), le taux de régression de la surface sous l'effet de stress hydrique est une forme d'adaptation à la sécheresse. La réduction de la surface foliaire tend à

minimiser les pertes d'eau par transpiration, mais aussi provoquer une diminution du rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique.

Les résultats obtenus concordent avec les observations faites par certains auteurs, La surface foliaire varie en fonction du génotype. En année de sécheresse, les génotypes réagissent différemment (Ali Dib et al ,1992).

3.3.6. Le poids spécifique de la feuille (PSF)

L'analyse de la variance révèle l'existence d'un effet variété, d'un effet traitement et d'une interaction variété X traitement très hautement significatifs pour le poids spécifique de la feuille drapeau. En irrigué, la variété Dukem est caractérisée par le poids spécifique le plus important 0,062 g/cm² et la variété Bousselem par le poids le plus faible 0,03 g/cm² (Tab III.6). En ce qui concerne le traitement sec, les variétés Polonicum et waha ont enregistré les poids les plus élevés respectivement 0,0349 et 0,0333 g/cm² et le poids le plus faible caractérise la variété Mexicali 0,0162 g/cm² (Tab III.6). La moyenne du poids spécifique de la feuille passe de 0,043 à 0,025 g/cm² soit une diminution de 41,86 %. (Tab III.7).

La feuille étandard joue un rôle primordial dans le remplissage du grain. La durée de vie de la feuille étandard apparaît comme un révélateur du niveau du fonctionnement de l'appareil photosynthétique en présence de déficit hydrique (Monneveux, 1991).

Le poids spécifique foliaire est un des marqueurs importants dans la réponse des plantes à la contrainte hydrique et peut être considéré comme un critère simple de sélection de génotypes présentant une efficacité élevée de l'utilisation de l'eau en conditions de déficit hydrique (Ykhlef, 2002).

Tableau III.6. Valeurs moyennes de la surface foliaire et du poids spécifique des deux régimes

Génotype	Surface Feuille (cm ²)		Poids Spécifique (g/cm ²)	
	Irrigué	Sec	Irrigué	Sec
Oued Zenati	30,66 a	19,37 a	0,045 b	0,0251 bc
Altar	13,83 c	14,75 abc	0,039 b	0,0262 b
Sooty	16,43 c	13,12 bc	0,048 ab	0,025 bc
Polonicum	25,41 b	11,46 c	0,042 b	0,0349 a
Waha	17,11 c	12,02c	0,0454 ab	0,0333 a
Dukem	14,66 c	17,15 ab	0,062 a	0,0205 c
Mexicali	15,77 c	17,29 ab	0,0454 ab	0,0162 c
Kucuk	15,67 c	16,35 abc	0,0343 b	0,0196 bc
Hoggar	14,93 c	13,36 bc	0,0381 b	0,0226 bc
Bousselem	16,48 c	14,75 abc	0,0304 b	0,0215 bc
Moyenne	18,099	14,967	0,043	0,025

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

L'augmentation du PSF chez certaines variétés sous stress est hautement corrélée à la réduction de la surface foliaire (Blum, 1989). Le processus de réduction de la surface foliaire et l'augmentation du poids spécifique foliaire permet aux plantes de se confronter au manque d'eau par la réduction de la transpiration (Blanchet et al., 1990).

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. Alors que Johnson *et al.* (1983), concluent que les plantes à surface foliaire plus grande peuvent tolérer la déshydratation en maintenant le potentiel hydrique élevé. La feuille étendard est l'organe principal donneur des photosynthétats nécessaires au développement du grain de blé (Patrick et Wardlaw, 1984).

La durée de vie de cette feuille est estimée par sa surface verte qui apparaît comme un révélateur du niveau de fonctionnement de l'appareil photosynthétique en présence du déficit hydrique (Gate *et al.*, 1992). La surface foliaire est déterminée par la phénologie, la morphologie de la tige, la moyenne de l'émergence foliaire et le niveau du potentiel hydrique foliaire (Blum, 1996). Ce dernier, ajoute que la variation de la surface foliaire est un moyen important, les plantes stressées tendent à maintenir le contrôle de l'utilisation d'eau. C'est ainsi que la diminution de photosynthèse observée chez le sorgho (à un taux allant de 14 à 26 %) sujet à un stress, est due beaucoup plus à la réduction de la surface foliaire qu'à la réponse stomatique. Cette diminution s'explique par la réduction de l'activité de l'expansion des cellules méristématiques (réduction de la division cellulaire).

Tableau III.7. Variation des paramètres morphologiques des dix variétés étudiées en fonction du régime hydrique

	LC		LEP		LB		HT		SF		PSF	
Genotypes	Irr	Sec	Irr	Sec	Irr	Sec	Irr	Sec	Irr	Sec	Irr	Sec
Oued Zenati	22,33a	13,22d	6,77b	7,13b	12a	13,46a	138,75a	118a	30,66a	19,37a	0,045b	0,0251bc
Altar	17,375b	15,37c	7,04b	7,07b	7,6bc	8,62cd	95,1cd	82,21d	13,83c	14,75abc	0,039b	0,0262b
Sooty	18,29b	16,86abc	8,22a	6,98b	7,04bc	7,48d	96cd	86,58c	16,43c	13,12bc	0,048ab	0,025bc
Polonucum	27,31a	17,75ab	8,3a	8,28a	10,85ab	12,16ab	138,58a	113,86b	25,41b	11,46c	0,042b	0,0349a
Waha	18,2b	13,58d	7,1b	7,58ab	8,87abc	9,88bcd	95,33cd	81,16d	17,11c	12,02c	0,0454ab	0,0333a
Dukem	17,8b	13,06d	8,2a	7,7ab	7,77bc	9,46cd	89,58d	78,41d	14,66c	17,15ab	0,062a	0,0205c
Mexicali	20,43a	18,51a	8,1a	7,64ab	9,45abc	10,67bc	96,66c	89,33c	15,77c	17,29ab	0,0454ab	0,0162c
Kucuk	18,9b	15,33c	7,52a	7,82ab	7,9bc	8,83cd	94,75cd	86,77c	15,67c	16,35abc	0,0343b	0,0196bc
Hoggar	15,075b	12,68d	7,08b	7,57ab	6,12c	8,69cd	89,83d	80,41d	14,93c	13,36bc	0,0381b	0,0226bc
Bousselem	18,78b	16,13bc	7,31a	7,36ab	9,63abc	10,16bcd	102,33b	90c	16,48c	14,75abc	0,0304b	0,0215bc
Moyenne	19,451	14,405	7,570	7,517	8,728	9,945	103,700	90,677	18,099	14,967	0,043	0,025
Min	15,07	12,68	6,77	6,98	6,12	7,48	89,58	78,41	13,83	11,46	0,03	0,02
Max	27,31	18,51	8,28	8,28	12,00	13,46	138,75	118,00	30,66	19,37	0,06	0,03
CV %	17,22	13,57	7,75	5,23	20,59	17,97	18,09	15,31	30,20	17,04	20,10	23,89
Effet génotype	*	***	*	*	***	***	***	***	***	***	***	***
Effet irrigation	***		ns		***		***		***		***	
Effet interaction	***		ns		***		***		***		***	
la Différence en %	25,96 ↑		0,79 ↑		13,99 ↓		12,56 ↑		17,24 ↑		41,86 ↑	

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

-NS : Non significatif, * : Significatif à $p=0,05$, ** : Significatif à $p=0,01$, *** : Significatif à $P=0,01$.

-LC : Longueur du col, LEP : Longueur de l'épi, LB : Longueur des barbes, HT : Hauteur de la plante, SF : Surface foliaire, PSF : Poids spécifique de la feuille.

3.4. Caractères physiologiques

3.4.1. La Teneur en Chlorophylle Totale (TC)

L'analyse de la variance de la teneur en chlorophylle montre l'existence d'un effet variété très hautement significatif pour les deux régimes hydriques, d'un effet traitement et d'une interaction variété X traitement non significative. (Tab III.8). Pour le régime irrigué la variété Sooty a la teneur la plus élevée 61,11 unité SPAD et la variété Polonicum a la teneur la plus faible 50,1 unité SPAD. Pour le régime sec les variétés Dukem et Sooty enregistrent des moyennes supérieures 60,7 et 60,24 unité SPAD respectivement. La moyenne de la teneur en chlorophylle passe de 56,64 à 56,36 avec une diminution de 0,49% soit une légère différence en faveur de l'essai irrigué. (Tab III.8).

Selon Hireche, (2006) les différentes observations de la teneur en chlorophylle totale entre les génotypes sont liées à la tolérance au stress hydrique, il montre dans ses travaux sur la luzerne que la variété *Dessica* a tendance à lutter contre le stress hydrique en baissant sa teneur en chlorophylle. Alors que la variété *Moapa* implique une stratégie inverse (Siakhène, 1984).

L'augmentation des teneurs en chlorophylle totale est la conséquence de la réduction de la taille des cellules foliaires sous l'effet d'un stress hydrique qui engendre une plus grande concentration (Siakhène, 1984). Par contre, la chute des teneurs en chlorophylle est la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Bousba *et al.*, 2009). La quantité de la chlorophylle des feuilles peut être influencée par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (Hikosaka *et al.*, 2006).

Cornic *et al.*, (2002) estiment que la survie des plantes au manque d'eau est en grande partie due à l'entretien de la capacité photosynthétique des feuilles.

Au cours de la phase de remplissage, la cinétique d'accumulation de la matière sèche du grain est sous la dépendance de deux sources d'assimilats. Le produit de la photosynthèse de la feuille étendard et les réserves produites lors de la pré-anthèse et qui sont stockées dans les tiges, puis transférées vers le grain (Bahlouli *et al.*, 2008). Sous stress abiotiques, les génotypes qui possèdent la capacité de transférer une partie des réserves stockées dans le col de l'épi vers le grain, font un meilleur rendement (Ehdaie *et al.*, 2006).

3.4.2. La Teneur Relative en Eau (TRE)

En conditions de non stress, la valeur de la TRE varie 91,9% chez la variété Dukem à 81,58% à la variété Polonicum. Pour l'essai sec, la valeur varie de 91,46% chez le génotype Kucuk à 78,09% chez Waha (Tab III.8).

Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement en région aride et semi-aride. Il induit chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau. Clark et Mac-Caig, (1982) attirent l'attention sur l'utilisation de la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress.

La teneur en eau des feuilles de blé dur diminue proportionnellement avec la réduction d'eau contenue dans le sol (Bajji *et al.*, 2001). Scofield *et al.*, (1988) notent que cette

diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes.

C'est une caractéristique génotypique liée à la capacité de la plante à maintenir un niveau d'eau dans la feuille qui garantit la continuité de l'activité métabolique, notamment la photosynthèse. La TRE figure parmi les différents critères d'évaluation de la tolérance à la sécheresse par Clarke et Mc Caig (1982) et Lewicki (1993). Ces auteurs montrent en effet que les variétés de blé qui ont une TRE importante sont plus tolérantes à la sécheresse. Ce caractère est lié positivement avec le rendement en condition de déficit hydrique et négativement en conditions de non-stress. Le maintien de l'eau des feuilles est contrôlé principalement par la transpiration cuticulaire (Clarck et Townley-Smith, 1986).

La TRE est un indicateur très utilisé pour mettre en évidence l'état de la balance hydrique d'une plante. Les génotypes qui arrivent à maintenir une TRE élevée sous stress hydrique sont des génotypes tolérants à la sécheresse, ainsi Levitt, (1980) constate que la capacité de maintenir un potentiel hydrique élevé a été considérée comme un mécanisme qui permet à la plante d'esquiver la déshydratation.

3.4.3. Taux de déperdition de l'eau (LWL) ($\text{g} \cdot 10^3 / \text{cm}^2 / \text{mn}$)

Les résultats de la variance consignés dans le tableau III.6, révèlent l'existence d'un effet variété hautement significatif pour le régime irrigué, d'un effet traitement et d'une interaction variété X traitement très hautement significatifs.

La moyenne du taux de déperdition de l'eau par la feuille étandard passe de $(0,13 \text{ g} \cdot 10^3 / \text{cm}^2 / \text{mn})$ en régime irrigué à $0,07 (\text{g} \cdot 10^3 / \text{cm}^2 / \text{mn})$ en régime non irrigué soit une diminution de 46,15% (Tab III.8).

Les valeurs de la LWL changent entre une valeur maximale de $0,244 \text{ g} \cdot 10^3 / \text{cm}^2 / \text{mn}$ (Oued Zenati) à une valeur minimale de $0,094 \text{ g} \cdot 10^3 / \text{cm}^2 / \text{mn}$ (Altar) sous conditions de non stress (Tab III.8).

Sous conditions non irriguées, la valeur maximale est enregistrée chez la variété Kucuk ($0,113 \text{ g} \cdot 10^3 / \text{cm}^2 / \text{mn}$), alors que la valeur minimale de la LWL est inscrite chez la variété Polonicum ($0,047 \text{ g} \cdot 10^3 / \text{cm}^2 / \text{mn}$) (Tab III.8).

Nos résultats indiquent que les plantes en régime sec perdent une quantité d'eau moins importante que celles en régime irrigué. D'autres chercheurs (Clark et Mac-Caig, 1982) ont montré que les feuilles qui proviennent de plantes stressées perdent plus d'eau que les plantes non stressées. Kirkham et al., (1980) relie 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 leur permet la diminution des pertes d'eau par transpiration cuticulaire (El-Jaafari et al, 1995).

La fermeture stomatique rapide est la meilleure adaptation au stress hydrique, elle permet à la plante d'économiser l'eau disponible et de maintenir une teneur en eau des tissus élevés et aussi une certaine sensibilité à la déshydratation (Djekoun et Planchon, 1992; Djekoun et Ykhlef, 1996). Les génotypes dits tolérants assurent une bonne ouverture stomatique, contrairement aux variétés sensibles dont la fermeture stomatique est intense (El Jaafari, 1993).

Tableau III.8. Variation des Paramètres Physiologiques des dix variétés étudiées, en fonction du régime hydrique

Genotypes	LWL		TRE		TC	
	Irr	Sec	Irr	Sec	Irr	Sec
Oued Zenati	0,244a	0,069a	84,14a	79,98ab	55,48ab	51,48d
Altar	0,094c	0,045a	84,77a	76,57b	57,61ab	56,22bc
Sooty	0,135c	0,104a	85,91a	88,28ab	61,11a	60,24a
Polonucum	0,186b	0,047a	81,58a	80b	50,1c	50,96d
Waha	0,123c	0,068a	82,87a	78,09b	58,51ab	58,65ab
Dukem	0,107c	0,102a	91,9a	82,93ab	58,82ab	60,7a
Mexicali	0,121c	0,063a	89,95a	85,77ab	57,56ab	57,94ab
Kucuk	0,106c	0,113a	88,71a	91,46a	57,71ab	58,85a
Hoggar	0,099c	0,073a	84,16a	89,49ab	56,15ab	55,37bc
Bousselem	0,118c	0,059a	82,37a	79,14b	53,26b	53,18cd
Moyenne	0,13	0,07	85,64	83,18	56,64	56,36
Min	0,09	0,04	81,85	76,57	50,10	50,96
Max	0,24	0,11	91,90	91,46	61,11	60,70
CV %	34,88	32,09	4,03	6,30	5,48	6,25
Effet génotype	**	ns	ns	***	***	***
Effet irrigation	***		*		ns	
Effet interaction	***		ns		ns	
L'augmentation en %	46,15		2,81		0,49	

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

-**NS** : Non significatif, * : Significatif à $p=0,05$, ** : Significatif à $p=0,01$, *** : Significatif à $p=0,001$.

-**LWL** : Taux de déperdition de l'eau par la feuille (Leaf water lose) ($g \cdot 10^{-3} / cm^2 / mn$),

-**TRE** : Teneur relative en eau (%),

-**TC** : Teneur en chlorophylle (Unité SPAD)

3.4.4. L'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE)

A.EUE-RDT

Une variabilité importante peut être notée pour ce caractère (**Tab III.9**). Des différences génotypiques hautement significatives ont été notées pour les variétés testées, ainsi qu'un effet traitement très hautement significatif et une interaction variété X traitement significative. Dans l'essai irrigué, la variété Sooty enregistre une EUE pour le rendement en grains la plus élevée (12,44 kg/mm/ha) et la variété Oued Zenati une EUE la plus faible (9,21 kg/mm/ha). Pour l'essai en sec, les variétés Waha, Dukem, Sooty, Hoggar, Mexicali, Altar, Bousselem et Kucuk forment un seul groupe homogène et présentent une EUE pour le rendement en grains plus importante que les autres variétés qui constituent le second groupe (Polonicum et Oued Zenati). La différence d'une EUE pour le rendement en grains est de 13,99% entre les essais en faveur de l'essai sec. (**Tab III.9**).

B.EUE-BIOM

Les résultats de l'analyse de variance (**Tab III.9**) montrent l'existence d'un effet variété et d'un effet traitement hautement significatifs et d'une interaction variété X traitement significative. En ce qui concerne le traitement irrigué, 2 groupes sont distingués (**Tab III.9**) : les variétés Bousselem et Oued Zenati constitue le premier groupe et présentant des EUE pour la biomasse les plus importantes (22,73 et 21,35 kg/mm/ha respectivement) que les autres variétés qui constituent le deuxième groupe. Dans le cas du traitement sec, on peut noter la présence de trois groupes homogènes, le premier présentant une EUE pour la biomasse la plus importante, il s'agit de la variété locale Waha (24,22 kg/mm/ha), la valeur de l'EUE la plus faible est enregistrée chez la variété Hoggar (20,29 kg/mm/ha). La moyenne de l'EUE pour la biomasse de l'ensemble des génotypes est de 21,86 kg/mm/ha dans l'essai sec à 20,02 kg/mm/ha pour l'essai irrigué soit une diminution de 9,19 %.

Les variétés locales ont un comportement différent des variétés précoces ; elles produisent moins de grains par rapport aux pailles.

3.4.5. L'efficacité de la Transpiration (ET)

A.ET-RDT

L'analyse de la variance révèle l'existence d'un effet variété très hautement significatif, d'un effet traitement et d'une interaction variété X traitement non significatifs. On peut noter que les variétés se classent de la même façon dans les deux traitements. Pour l'essai irrigué, on distingue deux groupes homogènes (**Tab III.9**), les variétés Oued Zenati et Polonicum constitue le premier groupe avec une ET pour le rendement en grains les plus faibles (11,87 et 12,43 kg/mm/ha respectivement) et le deuxième groupe présentant une ET pour le rendement en grains la plus élevée avec un maximum de 19,07 kg/mm/ha enregistré par la variété Sooty.

Pour l'essai non irrigué, les mêmes groupes homogènes sont constitués, le premier par les variétés Oued Zenati et Polonicum avec une ET pour le rendement en grains les plus faibles (11,71 et 12,67 kg/mm/ha respectivement) et le deuxième groupe présentant une ET la plus élevée de 18,79 kg/mm/ha enregistrée par la variété Waha. (**Tab III.9**)

La moyenne pour l'efficacité de transpiration pour le rendement grains de l'ensemble des variétés est de 16,33 kg/mm/ha en régime irrigué à 16,24 kg/mm/ha d'eau transpirée pour le régime non irrigué soit une diminution de 0,55%. (**Tab III.9**).

Tableau III.9. Efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) et efficacité de la transpiration (ET) en Kg/mm/Ha, chez les dix variétés étudiées

Génotype	EUE RDT		EUE BIOM		ET RDT		ET BIOM	
	Irr	Sec	Irr	Sec	Irr	Sec	Irr	Sec
Oued Zenati	9,21c	9,25b	21,35a	20,73ab	11,87b	11,71b	27,51b	26,24b
Altar	11,38ab	12,37a	20,61ab	21,34ab	17,45a	16,27a	31,59ab	28,07ab
Sooty	12,44a	13,96a	19,64ab	21,98ab	19,07a	18,36a	30,12ab	28,91ab
Polonicum	9,65bc	10,01b	20,34ab	20,84b	12,43b	12,67b	26,21b	25,68b
Waha	10,86abc	14,29a	19ab	24,22a	16,65a	18,79a	29,13b	31,86a
Dukem	11,97ab	14,14a	19,35ab	20,9ab	18,35a	18,59a	29,67ab	27,49ab
Mexicali	10,45ac	13,18a	20,32ab	23,06ab	16,02a	17,34a	31,15ab	30,33ab
Kucuk	12,11ab	11,93a	19,84ab	21,61ab	18,57a	15,69a	30,42ab	28,43ab
Hoggar	10,27abc	13,28a	17,04b	20,29ab	15,74a	17,46a	26,13b	27,41ab
Bousselem	11,16ab	12,16a	22,73a	23,66ab	17,1a	16a	34,85a	31,13a
Moyenne	10,93	12,46	20,02	21,86	16,330	16,24	29,680	28,55
Min	7,74	8,67	15,97	16,95	9,97	10,97	23,83	22,29
Max	14,16	15,52	24,41	24,69	21,71	20,41	37,43	32,47
CV %	14,13	15,45	11,20	9,06	17,85	16,39	12,27	9,69
Effet génotype	**	***	**	*	***	***	**	**
Effet irrigation	***		***		NS		*	
Effet interaction	*		*		NS		NS	
la Différence en %	13,99		9,19		0,55		3,80	

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

NS : Non significatif, * : Significatif à $p=0,05$, ** : Significatif à $p=0,01$, *** : Significatif à $P=0,001$.

B.ET-BIOMASSE

La moyenne de l'efficacité de transpiration pour la production de la biomasse varie de 29,68 kg/mm/ha pour le régime irrigué à 28,55 kg/mm/ha d'eau transpirée pour le régime sec soit une diminution de 3,8%. (Tab III.9).

Les résultats de la variance consignés dans le Tableau III.9, montrent l'existence d'un effet génotype hautement significatif, d'un effet traitement significatif et d'une interaction variété X traitement non significative. Pour l'essai irrigué, la variété Bousselem enregistre l'efficacité de transpiration pour la production de la biomasse la plus élevée (34,85 kg/mm/ha) et la variété Hoggar présente la valeur la plus faible (26,13 kg/mm/ha). Pour l'essai non irrigué, les variétés waha et Bousselem enregistrent les valeurs les plus élevées (31,86 et 31,13 kg/mm/ha respectivement), les variétés Polonicum et Oued Zenati présentent des valeurs (25,68 et 26,24 kg/mm/ha respectivement) d'eau transpirée pour la production de la biomasse les plus faibles.

3.4.6. La Sénescence de la feuille drapeau

L'allure de la courbe de la sénescence, en relation avec sa durée telle que mesurée par la méthode NAI (Numerical Image Analysis), est de type sigmoïde, et en accord avec les travaux antérieurs (Lutts *et al.*, 1996 ; Hafsi *et al.*, 2000 ; Guendouz., 2009). Cependant les paramètres de cette courbe sont différents entre les variétés comme le montre cette large variation pour $\Sigma 50$ et Vs (Tab III.10).

L'analyse de la variance met en évidence un effet génotypique très hautement significatif pour l'ensemble des caractères mesurés. Cette même analyse montre qu'il existe aussi un effet traitement très hautement significatif.

Un effet très hautement significatif a été noté pour **Sa** qui a marqué une moyenne de 51,2% en régime irrigué et 55,68% en régime sec, soit une diminution de 8,04%. (**Tab III.10**). En conditions de non stress, Les variétés locales Oued Zenati et Polonicum enregistrent les plus petites moyennes de sénescence 40,24% et 43,19% respectivement, donc elles restent verte le plus longtemps contrairement aux variétés Kucuk et Bousselem qui enregistrent les moyennes les plus élevées avec 56,51% et 56,39% respectivement, c'est-à-dire qu'elles sont les premières à se dessécher et à se faner (**Tab III.10**). En sec, la variété Oued Zenati enregistre la valeur la plus faible 44,51% et la variété précoce Waha la plus élevée avec 63,44 %.

Ces résultats sont confirmés par le paramètre ($\Sigma 50\text{ S}$) somme des températures à 50% de sénescence, où la variété Oued Zenati a totalisé le plus faible cumul 373,08 °C pour le régime non stressé et 356,78°C pour le régime pluvial. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées par la variété Waha (640,59°C) en conditions irriguées et la variété Kucuk (625,25 °C) en conditions de stress. (**Tab III.10**).

Un effet très hautement significatif est noté pour la vitesse moyenne de la sénescence de la feuille étendard (**Vs**) qui a enregistré une moyenne de 0,196 en régime irrigué et 0,202 en régime sec, soit une diminution de 2,97% (**Tab III.10**). La variété Oued Zenati a marqué la valeur la plus élevée pour les deux régimes, avec 0,292 en sec et 0,282 en irrigué, suivi par la variété Bousselem avec 0,212 et 0,215 respectivement. La valeur la plus faible a été enregistrée par la variété Waha (0,174) en régime irrigué et la variété Kucuk (0,184) pour le régime sec (**Tab III.10**). Ce paramètre (**Vs**) confirme les résultats des autres paramètres **Sa** et ($\Sigma 50\text{ S}$) pour la valeur minimale mais pas pour la valeur maximale.

De par son âge, sa position, la feuille étendard joue un rôle primordial dans le remplissage du grain. La durée de vie de la feuille étendard estimée par l'évolution de sa surface verte apparaît comme un révélateur du niveau de fonctionnement de l'appareil photosynthétique en présence de déficit hydrique (Austin, 1987 ; Monneveux, 1991)

Tableau III.10. Valeurs moyennes de la sénescence durant tout le cycle (Sa), du cumul des températures à 50 % de S ($\Sigma 50$ S) et de la vitesse moyenne de la sénescence de la feuille drapeau (Vs).

Génotype	Sa %		Vs		$\Sigma 50$ s	
	Irri	Sec	Irri	Sec	Irri	Sec
Oued Zenati	40,24c	44,51d	0,292a	0,282a	373,08f	356,78f
Altar	51,79a	58,94ab	0,183c	0,193cd	615,05ab	593,49cb
Sooty	52,37a	55,5bc	0,186c	0,192cd	610,63ab	594,93cb
Polonicum	43,19b	51,53c	0,187c	0,185cd	524,58d	479,54e
Waha	51,1a	63,44a	0,173d	0,196c	640,59a	578,72c
Dukem	53,32a	60,26ab	0,176d	0,192cd	555,44c	515,37d
Mexicali	51,31a	54,18bc	0,187c	0,195c	629,94ab	612,43ab
Kucuk	56,51a	54,12bc	0,188c	0,184d	611,19ab	625,25a
Hoggar	55,8a	57,53bc	0,185c	0,188cd	604,97b	594,25cb
Bousselem	56,39a	56,79bc	0,212b	0,215b	472,63e	470,64e
Moyenne	51,2	55,68	0,196	0,202	563,81	542,14
Min	40,24	44,51	0,173	0,184	373,08	356,78
Max	56,51	63,44	0,292	0,282	640,59	625,25
CV%	10,63	9,33	17,76	14,5	15,11	15,72
Effet génotype	***	***	***	***	***	***
Effet irrigation	***		***		***	
La différence en %	8,04		2,97		3,84	

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

ns : Non significatif, * : Significatif à $p=0,05$, ** : Significatif à $p=0,01$, *** : Significatif à $P=0,01$.

Selon la **figure III.12**, l'allure de la courbe de sénescence de type sigmoïde est en accord avec les travaux antérieurs (Lutts *et al.*, 1996).

En conditions de non contraintes hydriques, on note des corrélations qui relient la sénescence aux autres paramètres étudiés où la sénescence moyenne est positivement corrélée au rendement grain ($r=0,68^*$), au NE/m² ($r=0,72^*$) et à l'indice de récolte (HI) ($r=0,79^*$), alors qu'elle est négativement corrélée à la longueur du col de l'épi (LC) ($r=-0,77^*$), au taux de déperdition de l'eau par la feuille étendard (LWL) ($r=-0,91^*$), à la longueur des barbes (LB) ($r=-0,79^*$), à la hauteur de la plante (HT) ($r=-0,90^*$), et à la surface foliaire (SF) ($r=-0,91^*$) (**Annexe VI.2**).

Pour le régime pluvial, les corrélations relient la sénescence aux autres paramètres étudiés où on observe que la sénescence moyenne est positivement corrélée au rendement grain ($r=0,71^*$), au NE/m² ($r=0,74^*$) et à l'indice de récolte (HI) ($r=0,74^*$), ainsi qu'aux indices de tolérance à la sécheresse : MP ($r=0,72^*$), STI ($r=0,71^*$) et GMP ($r=0,72^*$), alors

qu'elle est négativement corrélée à la longueur des barbes (LB) ($r = -0,68^*$) et à la hauteur de la plante (HT) ($r = -0,88^*$) (**Annexe VI.1**).

Quand à la vitesse de sénescence (V_s) et pour le régime irrigué, les corrélations la reliant aux autres paramètres étudiés montrent qu'elle est négativement corrélée à l'indice de récolte (HI) ($r = -0,72^*$) ainsi qu'aux indices de tolérance à la sécheresse : MP ($r = -0,70^*$), STI ($r = -0,68^*$) et GMP ($r = -0,69^*$), alors qu'elle est positivement corrélée au taux de déperdition de l'eau par la feuille étendard (LWL) ($r = 0,81^*$), à la longueur des barbes (LB) ($r = 0,68^*$), à la hauteur de la plante (HT) ($r = 0,67^*$), et à la surface foliaire (SF) ($r = 0,79^*$) (**Annexe VI.2**).

Pour les conditions de contraintes hydriques, la vitesse de sénescence (V_s) et les corrélations avec les autres paramètres étudiés montrent qu'elle est négativement corrélée à l'indice de récolte (HI) ($r = -0,63^*$) ainsi qu'à la longueur des barbes (LB) ($r = -0,68^*$) (**Annexe VI.1**).

En régime pluvial, le paramètre ($\Sigma 50 S$) somme des températures à 50% de sénescence et les autres paramètres étudiés présentent des corrélations positives avec l'indice de récolte (HI) ($r = 0,65^*$) et la teneur en chlorophylle (TC) ($r = 0,70^*$), alors qu'il est négativement corrélé à la longueur des barbes (LB) ($r = -0,80^*$), à la hauteur de la plante (HT) ($r = -0,76^*$), et à la biomasse (Biom) ($r = -0,78^*$) (**Annexe VI.1**).

En conditions irriguées, Ce même paramètre ($\Sigma 50 S$) est positivement corrélé avec l'indice de récolte (HI) ($r = 0,80^*$) et au NE/m² ($r = 0,64^*$), alors qu'il est négativement corrélé au taux de déperdition de l'eau par la feuille étendard (LWL) ($r = -0,78^*$), à la longueur des barbes (LB) ($r = -0,73^*$), à la hauteur de la plante (HT) ($r = -0,74^*$) et à la surface foliaire (SF) ($r = 0,79^*$) (**Annexe VI.2**).

La méthode basée sur l'analyse numérique de l'image est d'un grand intérêt pour mesurer la sénescence des feuilles de céréales. Selon [Adamsen et al. \(1999\)](#), cette technique permettrait de détecter des changements de sénescence au cours d'une journée.

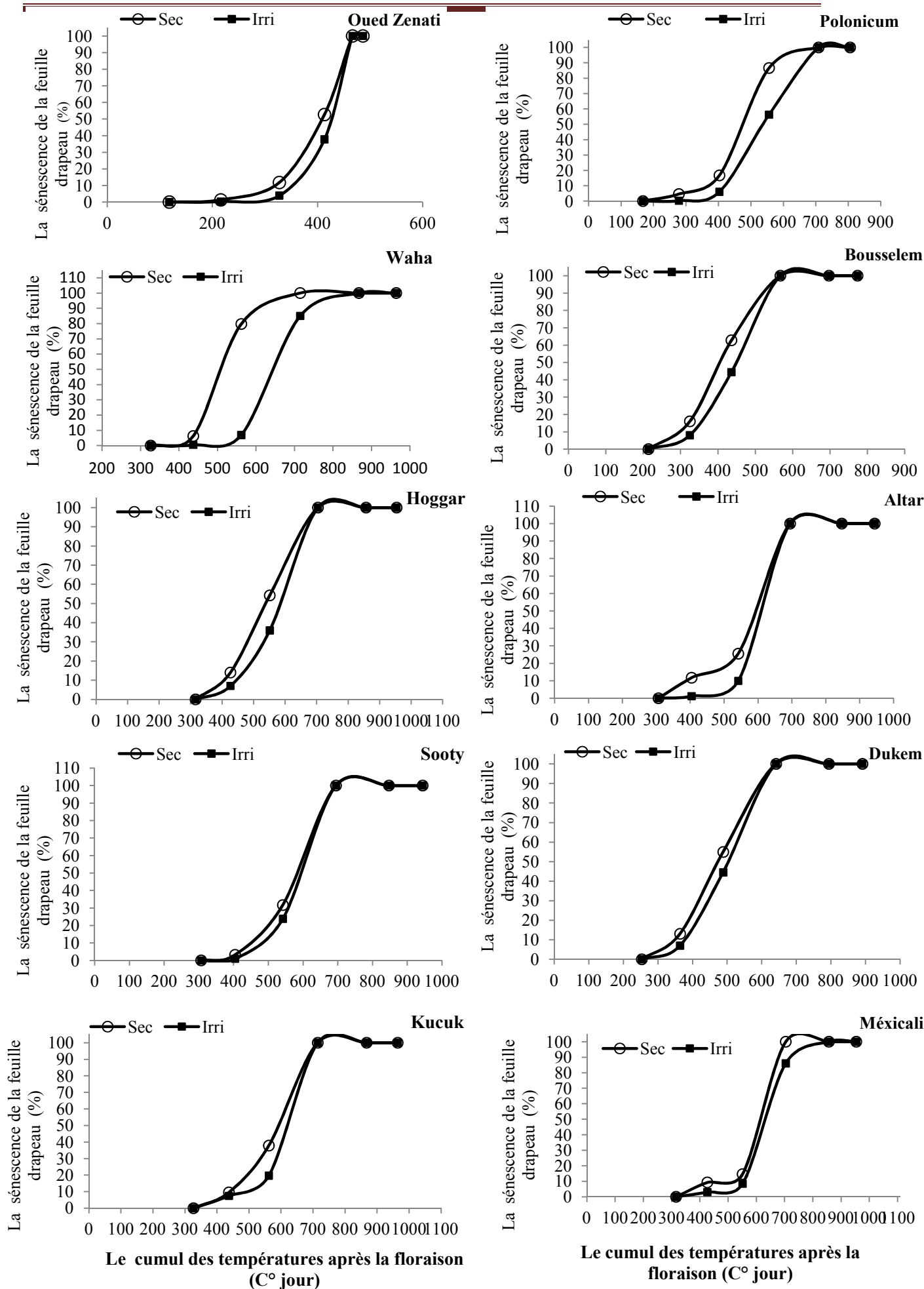


Fig. III.12- Courbe de l'allure de la sénescence de la feuille drapeau en fonction du cumul des températures après la floraison (C° jour)

III.4.Etude des corrélations

(Les matrices des corrélations sont données dans les **Annexes III et IV**).

4.1. Relation entre rendement en grain et ses composantes

Le rendement en grain est la résultante de plusieurs caractères qui contribuent directement ou indirectement à sa réalisation (Mckee, 1978). Les caractères associés au rendement grain sont importants à identifier pour un milieu donné, parce qu'ils déterminent la formation et la réalisation d'un niveau de rendement.

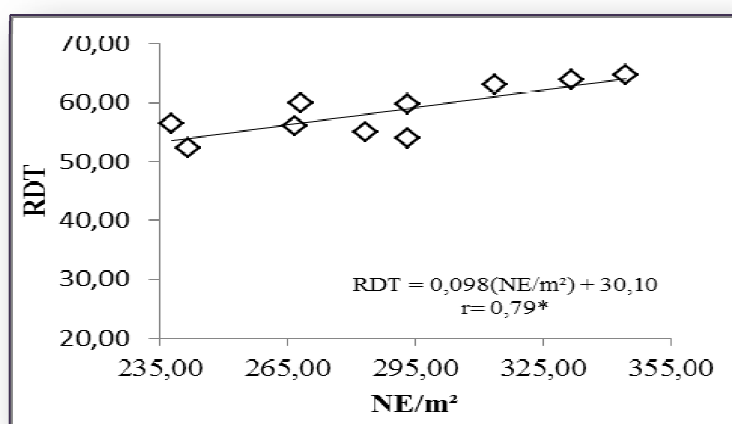


Figure.III.13. Relation entre le RDT et le NE/m² (Régime pluvial)

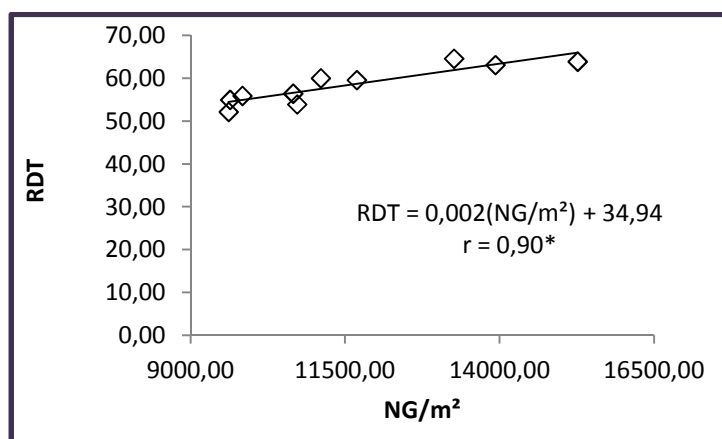


Figure.III.14.Relation entre le RDT et le NG/m² (Régime pluvial)

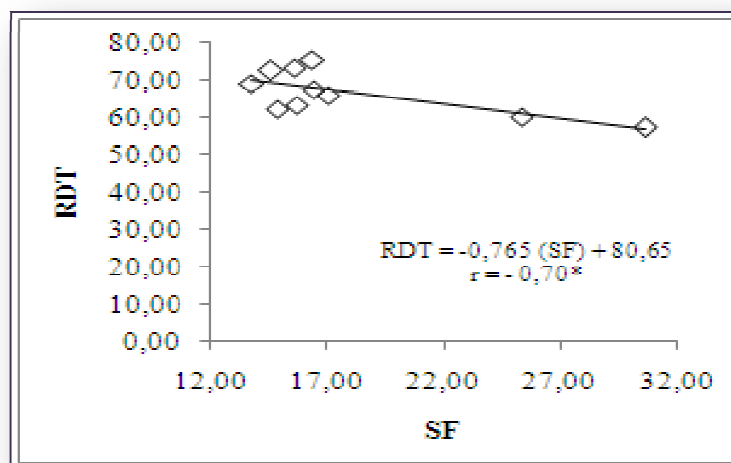


Figure.III.15 .Relation entre le RDT et la SF (Régime pluvial)

Le rendement grain est corrélé positivement au NE/m² ($r=0,79^*$) (**Fig.III.13**) et avec le NG/m² ($r=0,90^*$) (**Fig.III.14**), l'indice de récolte ($r= 0,81^*$), La TC ($r=0,70^*$) et avec les indices de tolérance à la sécheresse MP, STI et GMP ($r = 0,77^*$, $r = 0,79^*$ et $r =0,79^*$) respectivement, et négativement avec le PMG ($r=-0,73^*$), La HT ($-0,61^*$) et la SF ($r=-0,70^*$) (**Fig.III.15**) pour le régime sec.(**Annexe III**).

En conditions de non stress, le rendement en grains est positivement corrélé au nombre d'épis /m² ($r=0,90^*$) et avec le nombre de grains /m² ($r=0,73^*$), l'indice de récolte ($r= 0,78^*$), La TC ($r=0,65^*$) et avec les indices de tolérance à la sécheresse MP, STI et GMP ($r = 0,88^*$, $r = 0,86^*$ et $r =0,86^*$) respectivement, et négativement avec La HT ($-0,69^*$).(**Annexe IV**).

Les variétés qui ont fait monter trop d'épis par unité de surface souffrent le plus de la contrainte hydrique de fin de cycle et réduisent leur nombre de grains par épi. Les variétés tardives ont un nombre d'épis élevé, un faible indice de récolte et un faible nombre de grains par épi. Le nombre de grains/épi est corrélé négativement mais de façon non significative à la biomasse à maturité ($r =-0,37n.s$), au nombre d'épis/m²($r= -0,14$).Une bonne fertilité est donc indicatrice d'un bon rendement en grain et d'une faible quantité en biomasse. (**Annexes III et IV**).

4.1.1. Fertilité

L'élaboration du rendement implique l'enchaînement de processus multiples qui débute par la formation des épis, suivi des graines par épi puis se termine par le remplissage des grains. Les stress précoces affectent la formation des épis et les sites des grains par épi. Alors que les stress les plus tardifs affectent beaucoup plus le poids individuel de grain et le nombre de grains formés par unité de surface ensemencée (**Fischer, 1985**). Le rendement est déterminé par trois composantes principales : le nombre d'épis, de grains par épi et le poids de 1000 grains.

Les génotypes introduits présentent un nombre de grains/épi élevé comparé aux génotypes locaux .Ceci peut s'expliquer par la bonne fertilité des génotypes introduits qui est en moyenne de 42,51 grains/épi pour le régime irrigué et de 40,71 grains/épi pour le régime pluvial. Pour les génotypes locaux, la valeur varie de 39,53 grains/épi pour le régime irrigué et de 39,69 grains/épi pour le régime pluvial. D'autre part, les génotypes introduits

produisent plus d'épis par unité de surface qui est en moyenne de 358,75 épis/m² pour le régime irrigué et de 299,75 épis/m² pour le régime sans irrigation, comparés aux variétés locales, avec seulement 298,08 épis/m² en régime irrigué et 275,04 épis/m² en régime pluvial.

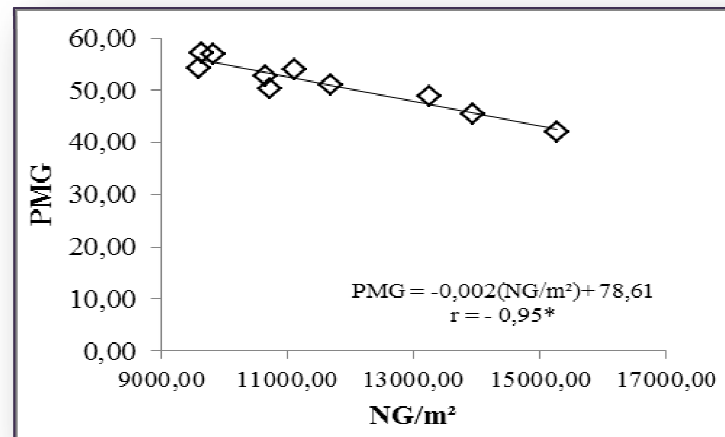


Figure.III.16 .Relation entre le NG/m² et le PMG (Régime pluvial)

Pour l'essai sans irrigation, une corrélation est observée entre le nombre de grains/m² et la fertilité ($r = 0,66$), avec le rendement ($r = 0,90^*$), avec l'indice de récolte ($r = 0,77^*$), avec la teneur en chlorophylle ($r = 0,78^*$) et avec les indices de tolérance à la sécheresse MP, STI et GMP ($r = 0,82^*$, $r = 0,85^*$ et $r = 0,84^*$) respectivement (**Tab. Annexe III**). Une corrélation négative est notée entre le nombre de grains/m² et le PMG ($r = -0,95^*$) (**Fig.III.16**).

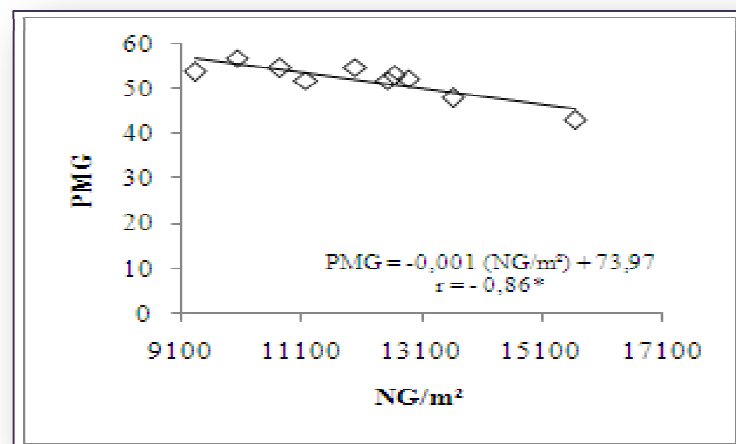


Figure.III.17 .Relation entre le NG/m² et le PMG (Régime irrigué)

Pour l'essai avec irrigation, une corrélation est observée entre le nombre de grains/m² et la fertilité ($r = 0,68$), avec le rendement ($r = 0,73$), avec la TRE ($r = 0,74$), avec la teneur en chlorophylle ($r = 0,65$), avec le poids spécifique de la feuille ($r = 0,69$) et avec les indices de tolérance à la sécheresse MP, STI et GMP ($r = 0,86$, $r = 0,87$ et $r = 0,87$) respectivement (**Tab. Annexe IV**). Une corrélation négative est notée entre le nombre de grains/m² et le PMG ($r = -0,86$) (**Fig.III.17**).

La fertilité de l'épi et le poids de mille grains sont négativement corrélés pour l'ensemble des géotypes et selon le régime hydrique. La corrélation du rendement et le PMG est négative et non significative pour les deux régimes ; Ainsi, [Blum et Pnuel, \(1990\)](#) ; [Debaeke et al., \(1996\)](#) considèrent que le rendement grain du blé est plus lié à la fertilité de l'épi qu'à la taille du grain ([Annexes III et IV](#)).

Ces résultats corroborent ceux de [Shanahan et al. \(1984\)](#) qui ont indiqué que la variation dans le rendement grain, au sein du même environnement où entre environnements différents, est plus liée au nombre de grains qu'avec le poids du grain, mais une réduction dans le poids des grains est plutôt plus probable qu'une baisse du nombre de grains en période post anthèse en conditions de sécheresse ([Fischer et Maurer, 1978](#)).

L'effet de compensation entre composantes du rendement rend souvent l'effet des stress moins visible, ainsi une forte réduction des épis produits par m² est compensée par une augmentation de la fertilité des épis voire par celle du poids du grain, de même une réduction des grains produits par m² est compensée par une augmentation du poids individuel du grain ([Wardlaw, 2002](#) ; [Bahlouli et al., 2005](#)).

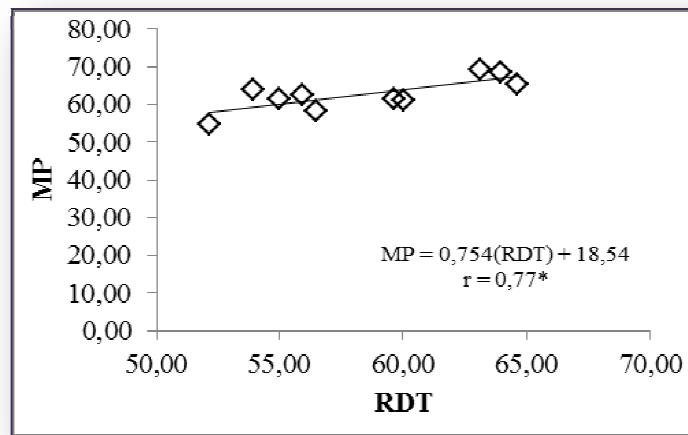


Figure.III.18. Relation entre le **RDT** et l'indice **MP** (Régime pluvial)

4.1.2. Poids de mille grains

Le nombre de grains par unité de surface est la composante la plus liée aux variations du rendement grain du blé et par conséquent, le poids moyen du grain peut être une importante source de variation du rendement grain ([Calderini et al., 2001](#)), particulièrement dans les régions caractérisées par des stress. ([Acevedo et al., 1999](#)).

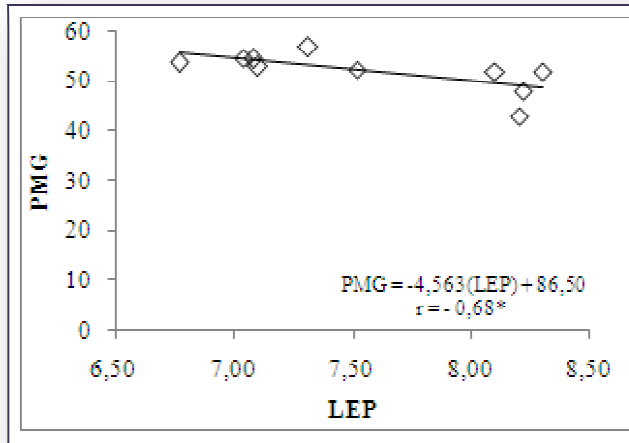


Figure.III.19. Relation entre le **PMG** et **LEP** (Régime Irrigué)

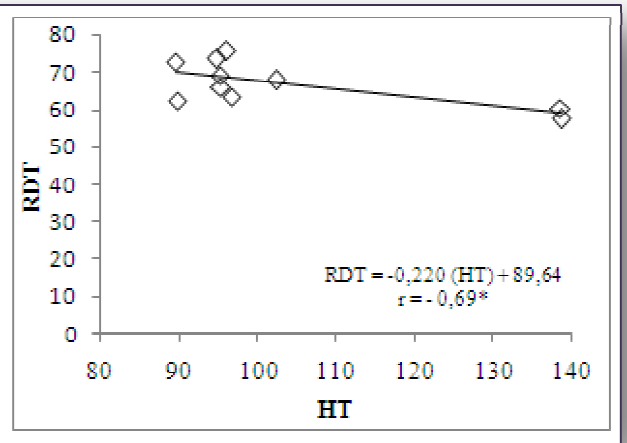


Figure.III.20. Relation entre le **RDT** et **HT** (Régime Irrigué)

Une faible association est enregistrée entre le rendement grain et le PMG de l'ensemble des variétés ($r=-0,49$) pour les conditions de non stress. Des corrélations négatives sont enregistrées entre rendement et TRE ($r=-0,69$), avec LEP ($r=-0,68$) (**Fig III.19**), avec PSF ($r=-0,89$) (**Fig III.21**) et avec les indices de tolérance à la sécheresse MP, STI et GMP qui sont respectivement ($r=-0,74$, $-0,77$ et $-0,75$) (**Annexe IV**).

En conditions de sécheresse, le PMG est négativement corrélé au rendement ($r=-0,73$), à la LWL ($r=-0,73$), à la teneur en chlorophylle ($r=-0,75$), avec les indices de tolérance à la sécheresse MP, STI et GMP qui sont respectivement ($r=-0,64$, $0,67$ et $0,65$) (**Annexe III**).

Housley *et al.*, (1982); Bruckner and Froberg, (1987); notent l'absence de relation significative entre le rendement et le PMG. Elhani *et al.*, (2007) rendent cette association en conditions pluviales au stress hydrique en post anthèse et particulièrement lors du remplissage grain.

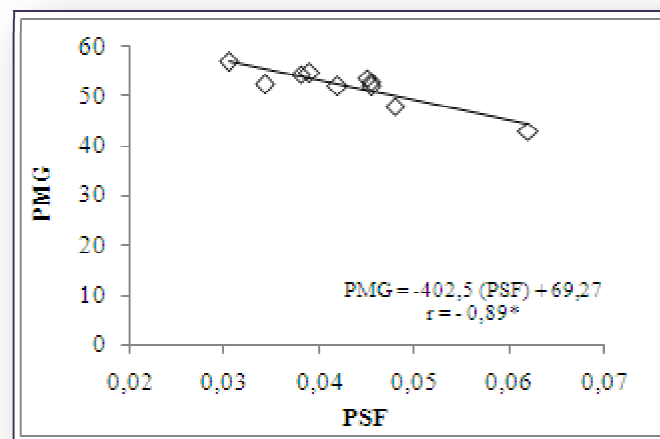


Figure.III.21. Relation entre le **PMG** et **PSF** (Régime irrigué)

La fertilité épi et le poids de mille grains sont négativement corrélés chez l'ensemble des génotypes ($r=-0.68$ et $-0,83$) respectivement pour le régime stressé et non stressé (**Annexes III et IV**).

4.1.3. Nombre d'épis par m²

Pour le régime irrigué, le rendement grain a été fortement corrélé avec le nombre d'épis par m² ($r=0.90$) (**Fig III.22**), NG/m² ($r=0,81$) (**Fig III.23**), HI ($r=0,78$), TC ($r=0,77$) et avec les indices de tolérance à la sécheresse MP, STI et GMP qui présentent respectivement ($r=-0,89$, $0,87$ et $0,88$). Et négativement corrélé avec LWL ($r=-0,71$), LB ($r=-0,65$), HT ($r=-0,82$), SF ($r=-0,76$) (**Annexe IV**).

Pour le régime stressé, le rendement grain est fortement corrélé avec le nombre d'épis par m² ($r=0.79$) (**Fig III.13**), NG/m² ($r=0,81$), HI ($r=0,69$), TC ($r=0,87$) et avec les indices de tolérance à la sécheresse MP, STI et GMP qui présentent respectivement ($r=-0,85$, $0,86$ et $0,87$). Et négativement corrélé avec BIO ($r=-0,70$), PMG ($r=-0,72$), et HT ($r=-0,73$) (**Annexe III**).

Ces résultats corroborent ceux de [Blum et Pnuel \(1990\)](#) et [Erchidi et al., \(2000\)](#) qui mentionnent que le rendement en grain du blé est plus lié à la fertilité de l'épi qu'au poids moyen du grain.

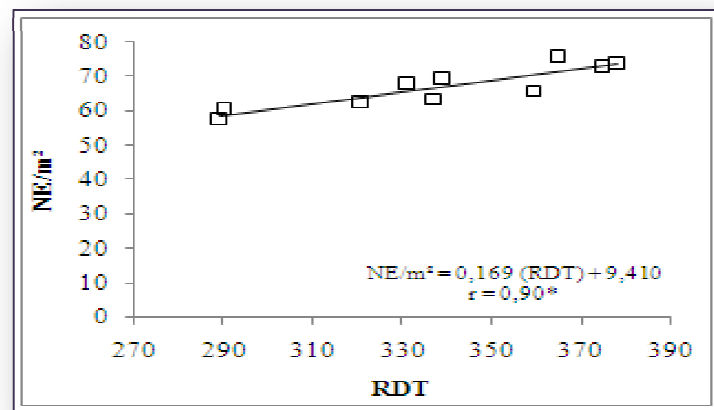


Figure.III.22.Relation entre le RDT et NE/m² (Régime Irrigué)

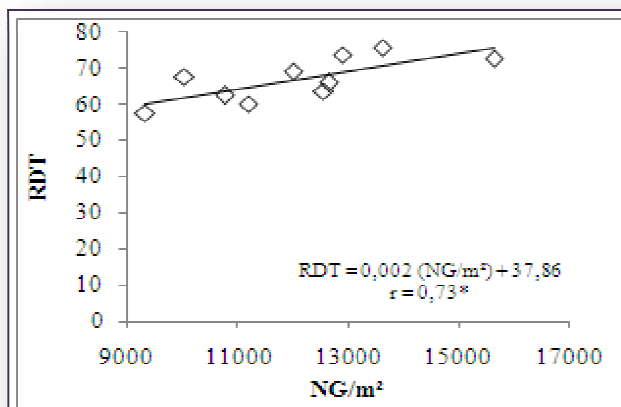


Figure.III.23.Relation entre le RDT et NG/m² (Régime irrigué)

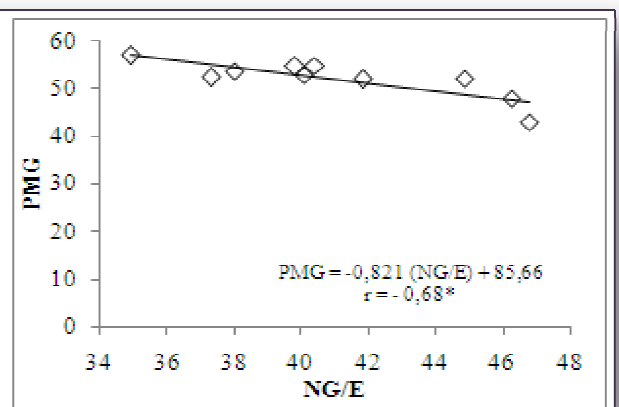


Figure.III.24 .Relation entre le PMG et NG/E (Régime Irrigué)

4.1.4. L'indice de récolte

Le meilleur indice de récolte enregistré dans notre étude est celui de la variété Altar avec 67,75% pour un rendement grain de 69,14 q/ha en régime irrigué. La variété locale Oued Zenati a enregistré le plus faible indice 40,97% avec un rendement grain de 57,45 q/ha en régime irrigué et de 44,76% avec un rendement grain de 52,2 q/ha pour l'essai pluvial.

Le rendement grain est corrélé à l'indice de récolte pour l'ensemble des variétés expérimentées ($r=0,78$) pour le régime irrigué et ($r=0,81$) pour le régime pluvial (**Annexes III et IV**).

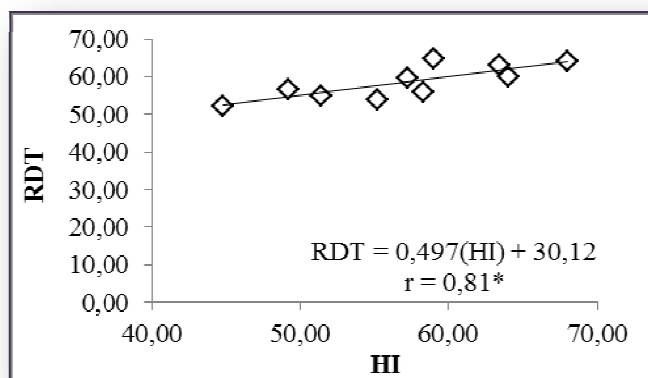


Figure III.25.Relation entre l'indice de récolte et le rendement (Régime pluvial)

L'ensemble des variétés précoces a enregistré un indice de récolte (HI) supérieur à celui des variétés locales ce qui va dans le même sens que les résultats de Merah et al., (2001) et Rouabhi (2008).

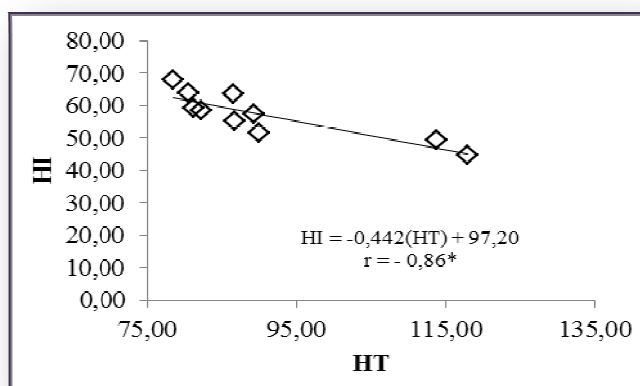


Figure .26.Relation entre l'indice de récolte et la hauteur (Régime pluvial)

En régime irrigué, L'indice de récolte est corrélé positivement avec la teneur en chlorophylle ($r=0,70$) et les indices de tolérance à la sécheresse MP, STI et GMP avec de valeurs respectives de 0,79, 0, 77 et 0,78, et négativement corrélé avec la LWL ($r = -0,89$), la teneur en chlorophylle($r=-0,76$), la longueur des barbes ($r=-0,88$), la surface foliaire ($r= -0,93$) (**Annexe IV**).

En régime sec, L'indice de récolte est corrélé positivement avec la teneur en chlorophylle ($r=0,82$) et les indices de tolérance à la sécheresse MP, STI et GMP avec de

valeurs respectives de 0,84, 0,83 et 0,83, et négativement corrélé avec la longueur des barbes ($r = -0,79$) et la hauteur ($r = -0,86^*$) (Annexes III).

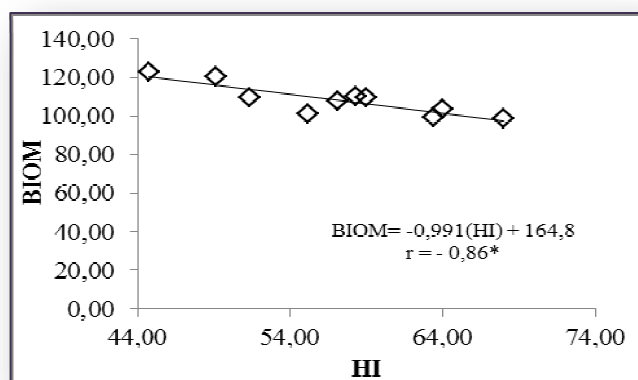


Figure.27.Relation entre l'indice de récolte et la Biomasse (Régime pluvial)

Le rendement grain peut être exprimé comme étant le résultat de trois processus physiologiques : les radiations interceptées par les organes photosynthétiques (lié à la surface photosynthétique et par conséquent à l'indice foliaire), la conversion des radiations interceptées en matière sèche (lié à l'efficacité photosynthétique) et la répartition de cette matière sèche sous forme d'un indice de récolte (Hay and Walker, 1989). La biomasse totale est le résultat de ces deux processus. Son amélioration peut être atteinte à travers une amélioration du poids du grain et/ou du nombre de grains/épi (Passioura, 1977).

4.1.5. Biomasse aérienne

Dans cette étude, la production de la biomasse aérienne à maturité diffère d'un génotype à un autre et d'un régime à un autre avec un léger avantage en faveur des génotypes locaux (Bousselem et Oued Zenati) pour le régime irrigué et pour les génotypes (Oued Zenati et Polonicum) pour l'essai pluvial. Ces derniers se distinguent aussi par une hauteur plus élevée pour les deux régimes.

En régime sec, la relation entre la biomasse et la hauteur est positive ($r=0,86^*$) (Annexes III). Une corrélation positive a été notée entre biomasse et longueur des barbes en régime pluvial. La biomasse aérienne accumulée au stade épisaison est la résultante de la contribution de plusieurs caractères comme la hauteur du chaume, la durée de la phase végétative, la vitesse de croissance végétative et le nombre de grains produits par unité de surface de sol (Mazouz, 2006).

4.2. Relation entre rendement en grain et paramètres morphologiques

L'examen de la matrice des corrélations (Annexes III et IV) ainsi que le test de signification des corrélations nous a permis de faire apparaître des corrélations entre différentes Variables.

Dans le cas du régime pluvial, la hauteur est corrélée positivement à la longueur des barbes ($r=0,86^*$) et négativement au rendement ($r = -0,61$), au nombre d'épis /m² ($r = -0,73^*$),

à l'indice de récolte ($r = -0,86^*$) (Fig. III.26), teneur en chlorophylle ($r = -0,79^*$), et aux indices de tolérance à la sécheresse ($r = -0,78^*$) pour MP, ($r = -0,75^*$) pour STI et ($r = -0,77^*$) pour GMP. (Annexe III).

Pour le régime irrigué, la hauteur est positivement corrélée à la longueur des barbes ($r = 0,86^*$), à la LWL ($r = 0,93^*$), à la surface foliaire ($r = 0,96^*$) et à la longueur du col ($r = 0,88^*$) et négativement corrélée au rendement ($r = -0,69^*$), à l'indice de récolte ($r = -0,91^*$) au nombre d'épis /m² ($r = -0,82^*$), et aux indices de tolérance à la sécheresse ($r = -0,76^*$) pour la MP, ($r = -0,73^*$) pour le STI et ($r = -0,75^*$) pour la GMP. (Annexe IV).

Nos résultats corroborent ceux de Rouabhi (2008) et Semcheddine (2008) qui ont trouvé que la hauteur de la paille était négativement corrélée avec le rendement et la biomasse. Des relations significatives entre le rendement et la biomasse à l'anthèse où durant la période de remplissage ont été rapportées chez le blé dur (Villegas *et al.*, 2001; Ramdani, 2004).

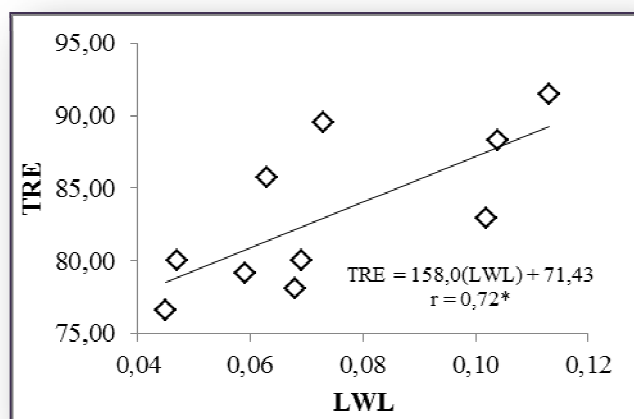


Figure.28.Relation entre TRE et la LWL (Régime pluvial)

Le rendement en grain est lié négativement à la hauteur de la tige ($r = -0,61^*$, $r = -0,69^*$) respectivement pour le régime sec et irrigué et négativement à la surface foliaire ($r = -0,70^*$). Les géotypes à paille courte et ayant une surface foliaire assez large sont les plus productifs. Dans l'essai sec, le nombre d'épis par unité de surface est négativement corrélé à la surface foliaire ($r = -11$) et à la hauteur de la plante ($r = -0,73^*$). Les géotypes relativement hauts produisent beaucoup d'épis et donc beaucoup de pailles et sont peu productifs.

4.3. Relation entre rendement en grain et les paramètres de feuillage

4.3.1. Surface foliaire

Pour réduire leurs besoins hydriques en conditions de déficit hydrique, certaines variétés diminuent la surface du limbe (Darera *et al.*, 1969). Pour Adjab (2002), l'augmentation de la surface foliaire du blé soumis à un stress modéré où sévère pourrait être un caractère d'adaptation.

Des corrélations négatives sont enregistrées entre la surface foliaire de la feuille étandard et l'indice de récolte ($r = -0,93^*$) et entre la surface foliaire et le nombre d'épis /m² ($r = -0,76^*$) ; entre la surface foliaire et la hauteur ($r = -0,96^*$) et entre la surface foliaire et le

RDT ($r = -0.70^*$) en régime irrigué. Pour les conditions non irriguées aucune corrélation n'a été enregistrée avec la surface foliaire.

4.3.2. Poids spécifique de la feuille

Le déficit hydrique peut engendrer un épaissement de la feuille (Kramer, 1969). En effet, Dubey (1994) pense que l'augmentation du poids spécifique foliaire chez les plantes stressées est due au rétrécissement des cellules qui provoque une diminution du volume et même du suc intracellulaire ce qui le rend plus concentré.

Dans notre cas, En conditions de sécheresse, il n'y a pas eu de relation observée entre le poids spécifique et le rendement ($r = 0.11$), alors que les corrélations enregistrées pour ce paramètre sont négatives avec la surface de la feuille drapeau ($r = -0.68^*$) pour l'ensemble des variétés. Pour les conditions irriguées, une corrélation entre le PSF et NG/m^2 ($r = 0.69^*$) et corrélation négative avec le PMG ($r = -0.89^*$).

4.3.3. Teneur relative en eau

La teneur relative en eau ou turgescence foliaire est une caractéristique génotypique qui est liée à la capacité de la plante à maintenir un niveau d'eau dans la feuille qui soit à même de garantir la continuité de l'activité métabolique dont, entre autre, la photosynthèse. Cette capacité est liée aux possibilités de la plante à s'alimenter, de manière constante en eau (système racinaire), au contrôle des pertes d'eau par les surfaces évaporantes (nombre et diamètre des stomates, résistance stomatique à la sortie de la vapeur d'eau) et à l'ajustement osmotique (Araus *et al.*, 1991).

Lorsque la teneur relative en eau diminue en fonction des génotypes, le rendement est revu à la baisse. Ceci rejoint la théorie qui dit que les génotypes ayant une forte teneur en eau relative produisent plus (Boukecha, 2001).

Les résultats de notre étude ne montre pas de relation entre la TRE et le rendement ($r = 0.11$), ni entre la TRE et le poids spécifique de la feuille drapeau ($r = -0.54$) pour le régime sec. Pour le régime irrigué, une corrélation positive existe entre la TRE et NG/m^2 ($r = 0.74^*$) et une corrélation négative entre TRE et PMG ($r = -0.69^*$).

4.4. Relation entre les indices de sensibilités et les autres caractères

Tableau.III.11. Corrélation entre les indices de tolérance à la sécheresse et les caractères mesurés (Régime Irrigué)

	NE/m ²	NG/m ²	PMG	RDT	HI	TC	LB	HT	SF
MP	0,89*	0,86*	-0,64*	0,88*	0,79*	0,74*	-0,71*	-0,76*	-0,73*
STI	0,87*	0,87*	-0,67*	0,86*	0,77*	0,75*	-0,68*	-0,73*	-0,70*
GMP	0,88*	0,87*	-0,65*	0,86*	0,78*	0,74*	-0,69*	-0,75*	-0,72*

NB : * Significatif à P = 0.05; **GYs:** Rendement obtenu sous stress (Qx/ha), **GYp:** Rendement obtenu en l'absence du stress (Qx/ha), **STI:** L'indice de tolérance au stress, **GMP:** La moyenne géométrique de la productivité, **MP:** L'indice de la productivité moyenne, **NE/m²:** Nombre d'épis par m², **NG/m²:** Nombre de grains par m², **PMG :** Poids de mille grains (g), **RDT :** Rendement en grains qx/ha, **HI :** Index de Récolte, **TC :** Teneur en Chlorophylle, **LB :** Longueur des barbes, **HT :** Hauteur de la plante, **SF :** Surface foliaire.

Les résultats consignés dans le tableau **III.11** montrent que pour le régime irrigué, nous avons identifié des corrélations positives entre les trois indices (**MP, STI et GMP**) et le **NE/m²** (0,89*, 0,87*, 0,88*), le **NG/m²** (0,86*, 0,87*, 0,87*), le **RDT** (0,88*, 0,86*, 0,86*), le **HI** (0,79*, 0,77*, 0,78*), la **TC** (0,74*, 0,75*, 0,74*), et des relations négatives de ces indices avec le **PMG** (-0,64*, -0,67*, -0,65*), la **LB** (-0,71*, -0,68*, -0,69*), la **HT** (-0,76*, -0,73*, -0,75*) et la **SF** (-0,73*, -0,70*, -0,72*).

Tableau.III.12. Corrélations entre les indices de tolérance à la sécheresse et les caractères mesurés (Régime pluvial)

	NE/m ²	NG/m ²	PMG	RDT	HI	BIOM	TC	LB	HT
MP	0,85*	0,82*	-0,74*	0,77*	0,84*	-0,86*	0,90*	-0,81*	-0,78*
STI	0,86*	0,85*	-0,77*	0,79*	0,83*	-0,84*	0,90*	-0,78*	-0,75*
GMP	0,87*	0,84*	-0,76*	0,79*	0,83*	-0,85*	0,91*	-0,79*	-0,77*

NB : * Significatif à P = 0.05; **GYs:** Rendement obtenu sous stress (Qx/ha), **GYp:** Rendement obtenu en l'absence du stress (Qx/ha), **STI:** L'indice de tolérance au stress, **GMP:** La moyenne géométrique de la productivité et **MP:** L'indice de la productivité moyenne, **NE/m²:** Nombre d'épis par m², **NG/m²:** Nombre de grains par m², **PMG :** Poids de mille grains (g), **RDT :** Rendement en grains qx/ha, **HI :** Index de Récolte, **BIOM :** Biomasse produite qx/ha, **TC :** Teneur en Chlorophylle, **LB :** Longueur des barbes, **HT :** Hauteur de la plante.

Pour le régime pluvial, l'utilisation de ces indices (**MP, STI et GMP**) nous a permis d'identifier des corrélations positives avec certains paramètres (**Tab III.12**) tels que : le **NE/m²** (0,85*, 0,86*, 0,87*), le **NG/m²** (0,82*, 0,85*, 0,84*), le **RDT** (0,77*, 0,79*, 0,79*), le **HI** (0,84*, 0,83*, 0,83*), la **TC** (0,90*, 0,90*, 0,91*), et des relations négatives avec le **PMG**

(-0,74*, -0,77*, -0,76*), la **BIO** (-0,86*, -0,84*, -0,85*), la **LB** (-0,84*, -0,78*, -0,79*), et la **HT** (-0,78*, -0,75*, -0,77*) (**Tab III.12**).

Les indices de tolérance utilisés classent différemment les génotypes évalués et forment deux groupes. Les indices MP, GMP et STI (Fernandez, 1992; Kristin *et al.*, 1997) identifient les génotypes associant le potentiel de rendement et la tolérance des stress.

Synthèse

Synthèse

La Céréaliculture Algérienne, essentiellement pluviale est soumise à des régimes pluviométriques très variables qui se traduisent le plus souvent par des déficits hydriques pouvant affecter n'importe quel stade phénologique et caractère morpho-physiologique de la céréale cultivée. Sur les hautes plaines Sétifiennes, l'eau reste le principal facteur limitant de la production céréalière. Les sols de ces régions sont vulnérables et dégradés suite à la détérioration des propriétés physiques du sol.

Au cours du cycle végétatif de la plante, la demande climatique élevée associée à l'insuffisance et la répartition spatiotemporelle des pluies, provoquent le stress hydrique avec des répercussions négatives sur la régularité et le potentiel des rendements.

La céréaliculture conduite généralement en conventionnel par la pratique du labour, avec exportation de toute la production végétative sans apport d'amendement organique, entraîne une diminution de la teneur de la matière organique dans le sol, ce qui se répercute sur la stabilité structurale, l'agrégation et sur la sensibilité à l'érosion. Dans de telles conditions où les façons culturales, la pression foncière, les besoins de l'élevage et la rigueur du climat, étroitement associés, conjuguent leurs effets pour appauvrir et dégrader les sols.

L'agriculture de conservation est nécessaire dans ces zones pour améliorer la fertilité et accroître l'humidité des sols, combattre l'érosion et la désertification. Mais c'est aussi là qu'elle est le plus difficilement applicable à cause de la pression exercée sur les sous produits céréaliers et les résidus des cultures utilisés comme source d'alimentation animale.

Les variations climatiques défavorables, marquées généralement par un déficit hydrique sévère et régulier souvent accompagné de fortes chaleurs en fin de cycle, sont souvent un frein à toute action d'amélioration. La variation de la disponibilité en eau est à l'origine des irrégularités du rendement. Le recours à l'irrigation de complément pour sécuriser et accroître les rendements est devenu une nécessité. C'est une technique potentielle qui améliore l'efficacité d'utilisation de l'eau. Cependant, bien que l'irrigation d'appoint augmente la productivité du blé, la dose optimale à apporter par stade critique reste dépendante des conditions pluviométriques de l'année. La disponibilité hydrique au cours de la période végétative permet l'élaboration de la composante la plus déterminante du rendement grains et la formation de la biomasse qui constitue une source très importante pour le remplissage du grain.

Dix variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) locales et améliorées, représentant une gamme à cycle végétatif long et à cycle végétatif court, ont été évaluées pour leur aptitude au rendement en grains sous deux régimes hydriques, sous techniques de conservation. Les paramètres mesurés concernent le rendement en grain et ses composantes, l'indice de récolte, les caractéristiques phénologiques et physiologiques. L'analyse des relations entre caractéristiques phénologiques et le rendement et ses composantes, montre de fortes liaisons.

Les conditions climatiques ayant prévalu au cours de la campagne 2010-2011 montre l'existence d'un déficit hydrique sévère en particulier aux stades montaison et épiaison.

Pour les caractères liés au sol, la distribution de l'humidité du sol sur les 60 cm du profil a suivi celle de la pluviométrie et s'est caractérisée par une variation spatio-temporelle. Mesurée aux stades montaison et fin épiaison, des effets traitements, dates, profondeurs et interactions enregistrées sont significatifs pour les deux régimes hydriques. La perméabilité du sol mesurée aux stades montaison et épiaison, montre des effets traitements et interactions significatifs pour les deux régimes hydriques. La densité apparente du sol mesurée aux mêmes stades, montre l'existence d'une différence entre les deux régimes mais pas entre les deux stades.

Considérant le rendement et ses composantes, un effet génotypique très hautement significatif pour l'ensemble des caractères mesurés a été mis en évidence. Un effet traitement significatif à très hautement significatif pour le rendement en grain et l'ensemble de ses composantes existe excepté pour l'indice de récolte et le nombre de grains par épi. L'interaction génotype X traitement est non significative pour l'ensemble des caractères excepté pour le PMG. Un haut rendement est la résultante de la capacité de la plante à faire une bonne utilisation des eaux de pluies pour produire du grain, d'une répartition équilibrée de la matière sèche accumulée entre les parties grain et paille c'est-à-dire un bon indice de récolte débouchant sur la production d'un nombre élevé de grain /m² donc d'un haut rendement.

Pour le Nombre d'épis par m² (NE/ m²), les variétés Kucuk et Dukem ont fourni le nombre le plus important pour l'essai irrigué, et le plus faible est enregistré par les variétés Oued Zenati et Polonicum. En traitement pluvial, la variété Waha détient le NE/m² le plus élevé, le plus faible est obtenu par la variété Polonicum.

Pour la fertilité de l'épi, un effet traitement non significatif existe. La fertilité moyenne de l'ensemble des variétés passe de 41,03 en irrigué à 40,21 en sec. La variation du NGE pour un même génotype est en fonction des conditions de culture, la variété Dukem se distingue pour les deux régimes par la valeur élevée du NGE et la variété Bousselem pour la plus faible.

Le nombre de grains par m² moyen des dix variétés passe de 12065,00 en irrigué à 11573,58 en sec. C'est un caractère étroitement lié avec le rendement en grain, sous différents lieux et pour différents génotypes. Pour les deux régimes, la variété Dukem enregistre le NG/m² le plus important et la variété Oued Zenati le plus faible.

Le poids de mille grains (PMG) moyen de l'ensemble des variétés passe de 51,99 en irrigué à 51,25 pluvial soit une diminution de 1,40%. Pour les deux régimes, la variété Dukem enregistre le PMG le plus important et la variété Bousselem le plus faible.

L'effet génotype sur le rendement a été significatif. Les cultivars représentent un large éventail de caractéristiques agronomiques. Le rendement grain moyen de l'ensemble des variétés est fortement diminué lorsque l'on passe du traitement irrigué (66,80 qx/ha) au traitement sec (58,50 qx/ha). Pour les deux régimes hydriques, Oued Zenati enregistre les valeurs les plus faibles. Les plus importantes sont marquées par les variétés Sooty et Kucuk pour l'irrigué, et Waha, Dukem et Sooty pour l'essai sec.

La valeur moyenne de la biomasse passe de 130,03 qx/ha pour le traitement irrigué à 108,27 qx/ha, soit une chute de la biomasse aérienne de 16,72%. En régime irrigué, c'est la variété Bousselem qui enregistre la valeur la plus élevée et la variété Hoggar la plus faible,

en régime sec la variété Oued Zenati accumule la quantité la plus importante et Dukem la quantité la plus faible.

L'indice de récolte est le rapport entre la quantité de grains et la quantité de matière sèche totale produite. Il donne une idée sur la capacité de la plante à orienter ses assimilats vers la production de grains. L'analyse de la variance montre qu'il existe un effet traitement non significatif. L'indice moyen de l'ensemble des variétés passe de 57,60 % dans l'essai irrigué à 57,06 dans l'essai sans irrigation. Dans les conditions irriguées, les valeurs les plus élevées sont obtenues par les variétés Altar et Sooty et la plus faible par la variété Oued Zenati. En conditions pluviales, la valeur la plus importante de cet indice est obtenue par la variété Dukem et la plus faible est enregistrée par Oued Zenati.

Dans notre étude, les Indices de la tolérance à la sécheresse, **MP**, **GMP** et **STI** ayant des valeurs élevées ont été associées aux génotypes les plus productifs sous les deux régimes. Des corrélations hautement significatives sont observées entre les trois indices. La positive et significative corrélation de GYP et MP, GMP et STI a montré que ces indices sont efficaces pour identifier les cultivars à haut rendement sous différentes conditions d'humidité. Parmi les génotypes évalués, Waha, Dukem et Sooty montrent une grande tolérance à la contrainte hydrique. La variété Sooty a été la plus tolérante avec 63,1 qx/ha en milieu stressé et 75,5 qx/ha en milieu irrigué. Ces mêmes indices ont identifiés les variétés Oued Zenati et Polonicum comme étant des variétés très sensibles à la contrainte hydrique.

Pour les Caractères Morphologiques, l'analyse de la variance met en évidence un effet génotypique significatif à très hautement significatif pour l'ensemble des caractères mesurés. L'effet traitement est très hautement significatif pour tous les caractères sauf pour la longueur de l'épi. L'interaction variété X effet hydrique est très hautement significative pour tous les caractères à l'exception de la longueur de l'épi. Les coefficients de variation varient de 5,23 % (Longueur de l'épi en sec) à 30,20 % (Surface foliaire en irrigué).

La longueur du col de l'épi passe de 19,451 cm dans l'essai irrigué à 14,405 cm dans l'essai sec. Pour les deux régimes, la variété Hoggar présente les valeurs les plus faibles. Les longueurs les plus élevées sont obtenues par la variété Polonicum en régime irrigué et la variété Mexicali en régime sec.

La Longueur de l'épi (LEP) passe de 7,570 cm dans le traitement irrigué à 7,517 cm dans le traitement sec. Pour les deux régimes, la variété Polonicum se distingue par les valeurs les plus élevées. Les longueurs les plus faibles sont obtenues par les variétés Waha, Hoggar, Altar et Oued Zenati en irrigué, et les variétés Oued Zenati, Altar et Sooty dans l'essai sec.

La longueur des barbes (LB) passe de 8,728 cm dans le traitement irrigué à 9,945 cm pour le non irrigué. En conditions de non stress, c'est Oued Zenati qui présente la longueur la plus élevée et la plus faible valeur est obtenue par la variété Hoggar.

La Hauteur de la tige (HT) présente une variabilité importante. En irrigué, les variétés locales Oued Zenati et Polonicum ont eu les plus grandes tailles (Supérieur à 135 cm) et les plus petites ont été obtenues par Hoggar et Dukem qui sont des variétés à paille courte. Pour l'essai conduit en sec, la hauteur de la tige varie de 118 cm (Oued Zenati) à 78,41 cm (Dukem).

La surface de la feuille étendard (SF) mesurée sur tous les génotypes est très différente. Pour les deux régimes, la variété Oued Zenati se distingue par les feuilles

étendards les plus grandes. Et la plus petite chez la variété Altar en conditions irriguées et Polonicum et Waha en pluvial. La moyenne de la surface de la feuille étendard passe de 18,099 cm² à 14,967 cm² du traitement irrigué au non irrigué.

Pour Le poids spécifique de la feuille (PSF), l'analyse de la variance révèle l'existence d'un effet variété, d'un effet traitement et d'une interaction variété X traitement très hautement significatifs. En irrigué, la variété Dukem se distingue par le PSF le plus important et la variété Bousselem par le plus faible. Pour le traitement sec, les variétés Polonicum et Waha enregistrent les PSF les plus élevés et le plus faible caractérise la variété Mexicali.

Dans l'ensemble, la sécheresse a réduit significativement le rendement de certains génotypes et certains d'entre eux ont révélé la tolérance à la sécheresse, ce qui indique la variabilité génétique de la tolérance à la sécheresse au sein de ce matériel végétal. La réaction d'un cultivar face à un stress hydrique fait intervenir plusieurs mécanismes morphologiques, physiologiques et phénologiques. L'effet irrigation a été significatif pour les caractères indicatifs de tolérance à la sécheresse tel que la longueur des barbes.

Pour les caractères physiologiques, l'analyse de la variance de la teneur en chlorophylle montre l'existence d'un effet variété très hautement significatif pour les deux régimes, d'un effet traitement et d'une interaction variété X traitement non significative. La moyenne de la teneur en chlorophylle passe de 56,64 à 56,36 avec une diminution de 0,49% en faveur de l'essai irrigué. La variété Sooty enregistre la teneur la plus élevée et la variété Polonicum la plus faible. Les variétés Dukem et Sooty marquent les valeurs supérieures en régime sec.

La valeur de la teneur relative en eau (TRE) en conditions de non stress, varie de 91,9% chez Dukem à 81,58% pour Polonicum. En essai sec, la valeur varie de 91,46% chez le génotype Kucuk à 78,09% chez Waha.

Pour le taux de déperdition de l'eau (LWL), les résultats de la variance révèlent l'existence d'un effet variété hautement significatif en régime irrigué, d'un effet traitement et d'une interaction variété X traitement très hautement significatifs. La moyenne du LWL passe de (0,13) en régime irrigué à (0,07) en régime non irrigué. Les valeurs du LWL varient d'une valeur maximale chez Oued Zenati à une valeur minimale chez Altar, sous conditions de non stress. En pluvial, la valeur maximale est notée chez Kucuk, alors que la minimale du LWL est chez Polonicum.

Pour L'efficience de l'utilisation de l'eau pour le rendement (**EUE-RDT**), une variabilité importante est notée. Des différences génotypiques hautement significatives pour les variétés testées, ainsi qu'un effet traitement très hautement significatif et une interaction variété X traitement significative. Dans l'essai irrigué, Sooty enregistre l'**EUE-RDT** la plus élevée et Oued Zenati la plus faible. En sec, les variétés Waha, Dukem, Sooty, Hoggar, Mexicali, Altar, Bousselem et Kucuk forment un seul groupe homogène et présentent une **EUE-RDT** plus importante que les autres variétés qui constituent le second groupe (Polonicum et Oued Zenati). La différence d'une **EUE** pour le rendement en grains est de 13,99% entre les essais en faveur de l'essai sec.

Pour L'efficience de l'utilisation de l'eau pour le rendement (**EUE-BIOM**), les résultats de l'analyse de variance montrent l'existence d'un effet variété et d'un effet

traitement hautement significatifs et d'une interaction variété X traitement significative. Pour le traitement irrigué, deux groupes sont distingués : les variétés Bousselem et Oued Zenati constitue le 1^{er} groupe des EUE-BIOM plus importantes que les autres qui constituent le 2^{ème} groupe. En traitement sec, on note la présence de trois groupes homogènes, le 1^{er} présentant une EUE-BIOM plus importante, il s'agit de la variété locale Waha, la valeur de l'EUE la plus faible est enregistrée par la variété Hoggar.

L'analyse du rendement et ses composantes a mis en évidence diverses associations. Les variétés testées présentent deux comportements distincts vis-à-vis de leurs capacités à utiliser efficacement l'eau. En effet, les génotypes locaux produisent plus de biomasse au détriment du grain, ce qui leur permet d'avoir une EUE-BIOM plus importante. Le choix de ce type de variétés vient probablement de la vocation agropastorale de la zone. En revanche, les variétés introduites ont un potentiel de production plus important.

Pour l'efficacité de la Transpiration (**ET-RDT**), les variétés se classent de la même façon pour les deux régimes. Deux groupes se distinguent, Oued Zenati et Polonicum constituent le 1^{er} avec une ET-RDT plus faible et le 2^{ème} une ET-RDT plus élevée avec un maximum enregistré par Sooty en irrigué et Waha pour l'essai sec. L'efficacité de transpiration (ET) est reconnue comme une source importante de variations de rendement sous sécheresse chez le blé dur où l'évapotranspiration dépasse la disponibilité en eau du sol.

Pour l'efficacité de la Transpiration pour la production de la biomasse (**ET-BIOM**), Bousselem enregistre l'ET-BIOM la plus élevée et la variété Hoggar la plus faible pour le régime irrigué. En pluvial, Waha et Bousselem enregistrent les valeurs les plus élevées, les variétés Polonicum et Oued Zenati les valeurs les plus faibles.

Pour la Sénescence de la feuille drapeau, l'analyse de la variance marque un effet génotypique très hautement significatif pour l'ensemble des caractères mesurés et un effet traitement très hautement significatif. Un effet très hautement significatif est noté pour (**Sa**) (la Sénescence moyenne) marquée d'une valeur de 51,2% en irrigué et 55,68% en sec. En conditions de non stress, les variétés locales Oued Zenati et Polonicum enregistrent les plus petites moyennes de sénescence, donc elles restent vertes plus longtemps contrairement aux variétés Kucuk et Bousselem qui enregistrent les valeurs les plus élevées. En régime sec, Oued Zenati enregistre la valeur la plus faible et la variété Waha la plus élevée. Résultats confirmés par le paramètre (**$\Sigma 50 S$**) Somme des températures à 50% de Sénescence, où Oued Zenati a totalisé le plus faible cumul de T° pour les deux régimes. Waha se distingue par les valeurs les plus élevées en conditions irriguées et Kucuk en conditions de stress. Un effet très hautement significatif est noté pour la **Vs** (Vitesse moyenne de la sénescence de la feuille étendard) qui a enregistré une moyenne de 0,196 en régime irrigué et 0,202 en régime sec. La variété Oued Zenati a marqué la valeur la plus élevée pour les deux régimes, suivie par la variété Bousselem. La valeur la plus faible a été enregistrée par la variété Waha (0,174) en régime irrigué et la variété Kucuk (0,184) pour le régime sec. Ce paramètre (**Vs**) confirme les résultats des autres paramètres **Sa** et (**$\Sigma 50 S$**) pour la valeur minimale mais pas pour la valeur maximale.

Les variétés étudiées présentent une diversité du comportement vis-à-vis des contraintes hydriques, les génotypes les plus tolérants à la sécheresse sont ceux qui présentent une certaine stabilité d'un régime à un autre. La stratégie à adopter dans les zones des Hauts Plateaux Algériens est le développement des techniques de conservation permettant de minimiser ces pertes et de tirer le maximum de chaque goutte d'eau de pluie

tombée en vue d'augmenter et de stabiliser les rendements des cultures. Cette stratégie doit être basée sur une approche intégrée permettant l'amélioration de l'absorption immédiate de cette eau par les plantes ou sa conservation dans le sol pour une utilisation ultérieure pendant des phases de croissance critiques.

Conclusion

Conclusion

L'étude entreprise pour l'évaluation du comportement des dix variétés de blé dur et leur réponse aux contraintes hydriques, révèle l'existence d'une grande variabilité pour la plus part des paramètres mesurés. Pour un même caractère les géotypes évalués présentent des valeurs très différentes selon le régime hydrique. Les mesures ont concerné le rendement et ses composantes, les paramètres physiologiques et morphologiques liés au plant ainsi que les paramètres liés au sol avec l'adoption des techniques de conservation.

Les résultats ont montré que le régime hydrique a eu un effet significatif sur toutes les variables mesurées. Les paramètres étudiés du sol, ne peuvent varier totalement après une si courte période. Cette technique augure d'un meilleur avenir et permet d'entrevoir la restauration d'un meilleur équilibre au niveau des sols.

Les pratiques de conservation pourraient être une alternative louable pour intensifier la production du blé dur sous les conditions semi-arides des hautes plaines Sétifiennes. Au terme de cette étude, il nous paraît nécessaire de souligner que la pertinence des résultats obtenus est limitée dans le temps et dans l'espace. De ce fait, il est donc nécessaire de poursuivre ce travail afin de mieux appréhender le comportement du sol et les rendements de différentes cultures après un certain nombre d'années sous techniques de conservation.

Cette modeste contribution ne représente qu'un maillon d'une longue chaîne d'expérimentation qui méritent d'être entreprise dans le contexte semi-aride des Hautes Plaines Sétifiennes avec la diversification des paramètres étudiés pour une meilleure maîtrise des façons culturales de conservation avant leurs adoptions. Quelques années supplémentaires d'expérimentation trancheront sûrement quant aux bienfaits de cette méthode. Cependant l'adoption de l'Agriculture de Conservation dans la zone dépendra de la capacité des systèmes de culture conçus à répondre aux aspirations immédiates des agriculteurs, grands et petits, qui sont surtout d'ordre économique. Sa durabilité en revanche, implique des dimensions sociale et écologique.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- 1-Abbassenne F., Bouzerzour H. & Hachemi L., 1998.** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en semi-aride. *Ann.Agron. INA*, **18**: 24-36.
- 2-Abdellaoui Z., Tissekrat H., Belhadj A. & Zaghoulane O., 2011.** Etude comparative de l'effet du travail conventionnel, semis direct et travail minimum sur le comportement du blé dur. In « Actes des quatrièmes rencontres méditerranéennes du semis direct ».Options méditerranéennes, série A, **96** :107-111.
- 3-Acevedo E. & Ceccarelli S., 1987.** Role of physiologist-breeder in a breeding program for drought resistance conditions. In: *Drought Resistance in Cereals*, Baker, F.W.G. (éd.). CAB, Wallingford, pp. 117-139.
- 4-Acevedo E., Silva P.C., Silva H.R. & Solar B.R., 1999.** Wheat production in Mediterranean environments. In: Satorre, E.H., Slafer, G.A. (Eds.), *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. The Haworth Press Inc., New York, pp. 295–331
- 5-Acevedo E., Craufurd P.Q., Austin R.D. & Perez Marco P., 1991.** Traits associated with high grain yield in barley in low yielding environments. *J. Agric. Sci. Camb*, **116**: 23-36.
- 6-Adamsen F.J., Pinter Jr., P.J., Barnes E.M., Lamorte R.L., Wall G., Leavitt W. & Kimbell B.A., 1999.** Measuring wheat senescence with digital camera. *Crop Sci.* **39**: 719-724.
- 7-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.
- 8-Aibar J., 2006.** La lutte contre les mauvaises herbes pour les céréales en semis direct : principaux problèmes. *Option Méditerranéennes, série A.* **69** :19-26.
- 9-Al Hakimi A. & Monneveux P., 1993.**Variation of some physiological traits of drought tolerance in tetraploid wheats. In Damania, A.B. (ed): *Biodiversity and Wheat improvement*. John Wiley and sons, Chichester-New York- Brisbane-Toronto-Singapore, 199-216 p.
- 10-Ali Dib T., Monneveux P. & Araus J. L., 1990.** Breeding durum wheat for drought tolerance. Analytical, synthetic approaches and their connections symposium. In : *Wheat breeding prospect and future approaches*. PANAYOTOV I. And PAVLOVA S. (eds.) Albena, Bulgaria: 224-240.
- 11-Ali Dib T., Monneveux P. & Araus J.L., 1992.** Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II : Caractères physiologiques d'adaptation. *Agronomie.* **12** : 381-393.
- 12-Allen R. G., Pereira L. S., Raes D. & Smith M., 1998.** Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Rome, 300 p.
- 13-Angar H. et Ben Hadj Saleh H., & Ben Hammouda M., 2011.** Semis direct et semis conventionnel en Tunisie : Les résultats agronomiques de 10 ans de comparaison. In « Actes des quatrièmes rencontres méditerranéennes du semis direct ».Options méditerranéennes, série A, **96** 53-59.
- 14-Angers D. A., Bissonnette N., Légère A. & Samson N., 1993 a.** Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*, **73**: 39-50.

- 15-Angers D. A., Samson N. & Légère A., 1993 b.** Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Canadian Journal of Soil Science*, **73**: 51 -59.
- 16-Angers D.A., Bolinder M.A., Carter M.R., Gregorich E.G., Drury C.F., Liang B.C., Voroney R.P., Simard R. R., Donald R.G., Beyaert R.P. & Martel J., 1997.** Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil & Tillage Research*, **41**: 191-201.
- 17-Annicchiarico P. & Pecetti L., 1993.** Contribution of some agronomic traits to durum wheat performance in dry Mediterranean region of northern Syria. *Agro*. **13**: 25-34.
- 18-Annicchiarico P., Abdellaoui Z., Kelkouli M. & Zerargui H., 2005.** Grain yield, straw yield and economic value of tall and semi-dwarf durum wheat cultivars in Algéria. Dans : J. Agric. Sci., **143** : 57-64.
- 19-Annicchiarico P., Chiari T., Bazzani F., Bellah F., Doucene S. & Hazmoune T., 2002.** Response of durum wheat cultivars to Algerian environments. I Yield. J. Agric. Environ. for int. develop. IAO Florence Italia Vol. **96** n°3/4:157-187.
- 20-Anonyme., 2009.** Bulletin des Variétés "Céréales".Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants. 96 p.
- 21-Angus J.F. & Van Herwaarden V.F., 2001.** Increasing water use and water-use efficiency in dryland wheat. *Agron. J*, **93**: 290–298.
- 22-Araus J.L.; Amaro T.; Zuhair Y. & Nachit M.M., 1997.** Effect of leaf structure and water status on carbon isotope discrimination in field-grown durum wheat. *Plant Cell Environ*. **20**: 1484-1494.
- 23-Araus J.L., Alegre L., Ali Dib T., Benlaribi M. & Monneveux P., 1991.** Epidermal and stomatal conductance in seedlings of durum wheat landraces and varieties. In: Physiology Breeding of winter cereals for stressed Mediterranean environments. Les colloques , **55** : 225-242.
- 24-Araus J.L., Amaro T., Voltas J., Nakhoul H. & Nachit M.M., 1998.** Chlorophyll fluorescence as selection criteria for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *FCR*, **55** : 209-223.
- 25-Araus J.L., Villegas D., Aparicio N., Garcia del Moral L.F., El Hani S., Rharrabti Y., Ferrio J.P. & Royo C., 2003.** Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Sci.*, **43** :170-180.
- 26-Arrouays D., Balesdent J., Germon J.P., Jayet P.A., Soussana J.F. & Stengel P., 2002.** Stocker du carbone dans les sols agricoles de France? Expertise scientifique collective. Institut national de la recherche agronomique (INRA). France. 322 p.
- 27-Aslam, T., Choudhary, M.A. & Saggarr, 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.
- 28-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. *Agron. J*. **95** : 10–19.
- 29-Austin R.B., 1987.** Some crop characteristics of wheat and their influence on yield and water use. Page 321-336 in drought tolerance in winter cereals (Srivastava J.P., Porceddu E, Acevedo E, and Varma S. eds). John Wiley and Sons, Chichister, UK.

- 30-Austin R.B., & Jones H.G., 1975.** The Physiology of wheat: In Plant Breeding Institute Annual Report-1974. Cambridge UK, Cambridge. pp 20-73.
- 31-Bagga A.K., Ruwal K.N. & Asana R.D., 1970.** Comparaison of responses of some indian and semi-dwarf Mexican wheats to irrigated cultivation. *Indian J. Agric. Sci.*, **40**: 421-427.
- 32-Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. & Hassous K.L., 2005.** Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi-arid conditions. *Journal of Agronomy* **4**: 360-365.
- 33-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.
- 34-Bajji M., Lutts S., & Kinet J.M., 2000.** La résistance au stress hydrique chez le blé dur: Comparaison des comportements au niveau cellulaire et au niveau de la plante toute entière. *Option Méditerranéennes*, **40**: 227-231.
- 35-Bajji M., Lutts S., & Kinet J.M., 2001.** Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf aging in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant Sci.*, **160**: 669-681.
- 36-Baldy C., 1974.** Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques et de leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Document du projet céréale, 170 pages.
- 37-Baldy C., 1986.** Comportement des blés sous climats méditerranéens. *Ecologia Mediterranea*, **3** :73-88.
- 38-Balesdent J., Chenu C. & Balabane M., 2000.** Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*, **53**: 215-230.
- 39-Bammoune A., 1997.** Contribution à l'étude de quelques caractères morphophysiologiques, biochimiques et moléculaires chez 13 variétés de blé dur, *Triticum turgidum* esp. *durum*, pour l'étude de la tolérance à la sécheresse dans la région des hauts plateaux de l'Ouest Algérien. Thèse Magister. USTHB. 96p.
- 40-Batouche S. & Labiod H., 1991.** Les sols des Hautes Plaines Sétifiennes. Inventaire, analyse et synthèse des études pédologiques réalisées dans cette région de 1965 à 1985 : Essais de Thématization. Mémoire Ingénieur Univ. Sétif. 133 p., cartes et annexes.
- 41-Bedrani S. & Gerard, M., 2004.** Analyses sectorielles et nationales : Agriculture et politiques agro-alimentaires. p.139-172.
- 42-Belaid D., 1987.** Aspects de la céréaliculture Algérienne. Edition OPU. Alger, 207 p.
- 43-Belkherbouche H., Fellah S., Bouzerzour H., Benmahammed A. & Chellal N., 2009.** Viguer de la croissance, translocation et rendement en grains du blé dur (*Triticum durum* .Desf.) sous conditions semi-arides. *Courrier du savoir scientifique et technique*, Université Mohamed Khider Biskra, **9** : 17-24.
- 44-Benbelkacem A., 2001.** Etude de l'adaptation variétale des céréales cultivées en Algérie sous différentes conditions agro-écologiques *in* Séminaire national sur la problématique de l'agriculture des zones arides et de la reconversion. Ed. MADR, pp 98 à 104.
- 45-Benbelkacem A. & Kellou K., 2000.** Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivées en Algérie. *Options Méditerranéennes*, série A, **40** :105-110.

- 46-Bencharif S., 2011.** L'élevage pastoral et la céréaliculture dans la steppe algérienne évolution et possibilités de développement. Thèse Doctorat. 3e cycle : Développement agricole : Paris, Agro Paris Tech. 269 p.
- 47-Benchouhra B., Khelloufi B., 2000.** Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride : approche éco-physiologique. Science et changements planétaires / Sécheresse, **11**: 45-51.
- 48-Benkharbache N., Bouzerzour H., Benmahammed A. & Hassous KL., 2002 :** Contribution de la sélection à l'amélioration et à la stabilité des rendements de l'orge (*Hordium vulgare* L.) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Revue de rech. agron. **10**: 45-58. INRA Alger.
- 49-Benlaribi M., 1984.** Facteurs de productivité chez six variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivées en Algérie. Thèse de Magister, I.S.B. – Université de Constantine, 111p.
- 50-Benlaribi M., Monneveux P. & Grignac P., 1990.** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur. Agronomie, **10** : 305-322.
- 51-Bennaceur M., Chorfi M., Rahmoune C., EL Jaafri S. & Opaul R., 1997.** Potentialités de production de quelques variétés de blé dur au Maghreb. Rev. Sci. Technol., Univ., Constantine, **8** : 69-74.
- 52-Benouda H., Elgharas O., Vadon B. & Farouq E., 2006.** Le semis direct : un système en extension à la coopérative agricole Khemisset Chaouia. In Actes des troisièmes rencontres méditerranéennes du Semis Direct. Options méditerranéennes, série A, **69** :173-175.
- 53-Bensalem M. & Vierra Da Siva J.B., 1990.** Mécanismes physiologiques de résistance à la sécheresse et création variétale. Rapport d'activité numéro 1, MA/DGFRA/INRAT, Tunisie, 23 pages.
- 54-Bergareche C., Llusia J., Febrero A., Bort J. & Araus J.L., 1993.** Effect of water stress on proline and nitrate content of barley relationships with osmotic potential, carbon isotope ratio and grain yield. Colloque Diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier (France). *Les colloques*. **64**. (éd). Inra. Paris.
- 55-Bidinger F., & Witcombe J.R., 1989.** Evaluation of specific tolerance traits for improvement of drought resistance in drought resistance in cereal. Baker FWG ed Gab International Walling Fond: 151-164.
- 56-Biscoe P.V., Scott R.K. & Monteith J.L., 1975.** Barley and its environment. III. Carbon budget of the stand. J. Appl. Ecol. **12**: 269–293.
- 57-Blanchart E., Villenave C., Viallatoux A., Barthès B., Girardin C., Azontonde A. & Feller C., 2006.** Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. utilis) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. *European Journal of Soil Biology*, **42** : 136-144.
- 58-Blanchart E., Bernoux M., Sarda X., Siqueira Neto M., Cerri C.C., Piccolo M., Douzet J.M., Scopel E. & Feller C., 2007.** Effect of Direct Seeding Mulch-Based Systems on Soil Carbon Storage and Macrofauna in Central Brazil. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, **72** : 81-87.
- 59-Blanchet R., Texier V., Gelfi N. & Rollier M., 1990.** Articulation des divers processus d'adaptation à la sécheresse et comportements globaux du tournesol. In : Proc. Le tournesol et l'eau : adaptation à la sécheresse, réponse à l'irrigation. Points Science de CETIOM. Paris. p. 32-44.

- 60-Blanco-Canqui H. & 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.
- 61-Blouet A., Gaillard B. & Masse J., 1984.** Le gel et les céréales. *Perspectives Agricoles* **85**: 20-25.
- 62- Blum A., 1985.** Photosynthesis and transpiration in leaves and ears of wheat and barley varieties. *J, exp, Bot* **36**:432-440
- 63-Blum A., 1988.** Plant breeding for stress environments. Boca Raton, 4, C.R.C. Press (Ed.), Florida, USA, 223p.
- 64-Blum A., 1989.** Osmotic adjustment and growth of barley genotypes under drought stress. *Crop Sci.* **29** : 230- 233.
- 65-Blum A. & Pnuel Y., 1990.** Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a Mediterranean environment. *Aust.J.Agric. Res.*, **41**:799-810.
- 66-Blum A, Shpiler G., Golan G., Mayer J. & Sinmena B., 1991.** Mass selection of wheat for grain filling without transient photosynthesis. *Euphytica* **54**: 111-116.
- 67-Blum A., 1996.** Crop responses to drought and the interpretation of adaption. *Plant growth regulation* **20**:135-148.
- 68-Bonjean A., 2001.** Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Dossier de l'environnement de l'INRA, **21** : 29-37.
- 69-Bonjean A., E. Picard., 1990.** Les céréales à paille origine, historique, économie et sélection. Eds Nathan. 235 pages.
- 70-Bos M.G., 1985.** Summary of ICID definitions on irrigation efficiencies. In : Les besoins en eau des cultures. Conférence internationale, Paris, 11-14 septembre 1984. Paris : Institut national de la recherche agronomique (Inra), 889-99.
- 71-Bottinelli N., 2010.** Evolution de la structure et de la perméabilité d'un sol en contexte de non labour associé à l'apport d'effluent d'élevage: rôle de l'activité lombricienne. Thèse Agrocampus Ouest-Ecole nationale supérieure d'agronomie de Rennes.135p.
- 72-Boufenar-Zaghoulane F. et Zaghoulane O., 2006.** Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). ITGC d'Alger, 1ère Ed, 152p.
- 73-Boukecha D., 2001.** Etude agronomique et génétique de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.).Thèse Magister. INA El Harrach.139 p.
- 74-Bousba R., Ykhlef N. & Djekoun A., 2009.** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Trticum durum* Desf).*World Journal of Agricultural Sciences.* **5**: 609 -616.
- 75-Bouthiba A., Debaeke P. & Hamoudi S.A ., 2006.** Varietal differences in the response of durum wheat (*Triticum turgidum*, L. var. durum) to irrigation strategies in a semi-arid of Algeria. *Rev .Irr. Sci.* **26** : 239-251.
- 76-Bouzza A., 1990.** Water conservation in wheat rotation under several management and tillage systems in semi-arid areas. Ph.D. Diss. Univ. of Nebraska, Lincoln, USA.200p.
- 77-Bouzerzour H., 1998.** Sélection pour le rendement en grain, la précocité, la biomasse aérienne et l'indice de récolte chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi- aride. Thèse de doctorat en sciences naturelles, Univ Constantine, 165p.

- 78-Bouzerzour H. & Benmahammed, A., 2009.** Variation in early growth, canopy temperature, translocation and yield of four durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes under semi-arid conditions. *Jor. J. Agricultural Sci.* **5** : 142-154.
- 79-Bouzerzour H., Zerargui H., Dekhili M., 1995.** Relationships among duration of vegetative and grain filling periods, yield components and grain yield in durum wheat. *Awamia*, **75** : 15-23.
- 80-Bouzerzour H., Mahnane S. & Makhoul M., 2006.** Une association pour une agriculture de conservation sur les hautes plaines orientales semi-arides d'Algérie. In « Actes des troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct ». Options méditerranéennes, série A, **69** :107-111.
- 81-Bouzerzour H., Adjabi A., Benmahamed A., Hadj Sahraoui A. & Harkati N., 2002.** Production et adaptation des variétés de céréales en zone semi-aride d'altitude. *Rev. Céréaliculture* **37**: 4-13.
- 82-Boyer J. S., 1970.** Differing sensitivity of photosynthesis to low water potentials in corn and soybean. *Plant physiology*, **46**: 236-239.
- 83-Boyer J.S., 1976.** Water deficit and photosynthesis : In water deficit and plant growth (*Kozlowski, T.T., Ed.*). *Academic press*, London. 153-190.
- 84-Bozzini A., 1988.** « Origin, distribution, and production of durum wheat in the world. » Dans Fabriani G. et C. Lintas (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACC (Minnesota), États-Unis. p. 1-16.
- 85-Brown C., Hayes A., Furguson G., Johnson P., Schaafsma A., Shan J., Sikkema P., Taylor T., Sue Lang K. & Lobb D., 2003.** Semis direct: les secrets de la réussite.
- 86-Bruckner P.L., Froberg R.C., 1987.** Rate and duration of grain fill in spring wheat. *Crop Sci.* **27**: 451-455.
- 87-Cabidoche Y.M., & Ozier-Lafontaine., 1992.** Gestion agricole de l'eau à la parcelle et systèmes de culture dans la zone Caraïbe. In CARRE PAUL (ED.) .Usage agricole de l'eau. Paris : ORSTOM, 1992, p.13-31.
- 88-Cadi A., 2005.** Caractérisation des zones céréalières potentielles à travers le Nord de l'Algérie. *Céréaliculture* ,**44**. : 36-39.
- 89-Cadi A., Dellig A., Sarfatti P., Chiar T., Bellah F. & Bazzani F., 2000.** SIG et zonage agroécologique : Application au Nord Algérien. *Céréaliculture*, **34**: 68-75.
- 90-Calderini D.F., Savin R., Abeledo L.G., Reynolds M.P. & Slafer G.A., 2001.** The importance of the period immediately preceding anthesis for grain weight determination in wheat. *Euphytica* **119**: 199-204.
- 91-Capowiez Y, Pierret A, Monestiez P. & Belzunces L., 2000.** Evolution of the burrow systems after the accidental introduction of a new earthworm species in a swiss pre-alpine meadow. *Biology and Fertility of Soils*, **31** : 494-500.
- 92-Carof M., de Tourdonnet S., Coquet Y., Hallaire V., & Roger-Estrade J., 2007.** Hydraulic conductivity and porosity under conventional and no-tillage and the effect of three species of cover crop in northern France. *Soil Use and Management*, **23** :230-237.
- 93-Carre D.J. & Wardlaw IF., 1985.** The supply of photosynthetic assimilates to the grain from the flag leaf and ear of wheat. *Aust. J. Biol. Sci.* **18** : 711.

- 94-Cattivelli ., Crosatti C., Grosi M., Portesi A., Rizza F., Stanca AM., 1995.** Relationship among the modifications of gene expression induced by ABA, drought and gold stress in barley. In : Reproductive Biology and Plant Breeding. XIIIth EUCARPIA Congress 6-11 juillet 1992, Angers, France.
- 95-Cayci G., Heng L.K., Öztürk H.S., Sürek D., Kütük C. & Saglam M., 2009.** Crop yield and water use efficiency in semi-arid region in Turkey. *Soil and tillage Res.***103** :65-72.
- 96-Ceccarelli S., 1987.** Yield potential and drought tolerance of segregating populations of barley in contrasting environments. *Euphytica* **36**: 265–273.
- 97-Chabane M., 2011.** L'Agriculture de Conservation : Voie de sécurité alimentaire dans les pays du Maghreb ? IV Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Options Méditerranéennes, Série A, **96** :189-208.
- 98-Chaker A. & Brinis L., 2005.** Etude de l'impact de deux chocs thermiques (froid à 10°C et chaleur à 40°C) sur l'intégrité membranaires du blé dur. *Céréaliculture* ,**44** : 30-35.
- 99-Chan K.Y., Heenan D.P. & Ashley R., 1994.** Seasonal changes in surface aggregate stability under different tillage and crops. *Soil Tillage Res.*, **28**: 301-314.
- 100-Chehat F., Djenane A. & Jouve M.A., 1993.** Les stratégies de mise en marché des céréales par les agriculteurs dans la région de Sétif. Rapport SEFCA.T III.25 p.
- 101-Chehat F., 2005.** Les politiques céréalières en Algérie. Rapport Annuel. Agri-Med. Agriculture, pêche, alimentation et développement rural durable dans la région Méditerranéenne, CIHEAM.
- 102-Chennafi, H ., Bouzerzour H., Aidaoui A. & Chenafi A., 2008.** Positionnement des exigences en eau de la culture du blé dur avec l'avènement du déficit climatique en milieu semi aride des Hautes Plaines Sétifiennes (Algérie).In : Proceedings of the 5th International Conference on Land Degradation. Valenzanos, Bari, Italy, 18-22 September 2008, p : 56-62.
- 103-Chervet A., Ramseier L., Sturny W. G. & Tschannen S., 2005.** Comparaison du semis direct et du labour pendant 10 ans. Office de l'agriculture et de la nature du canton de Berne. *Revue suisse Agric.* **37** : 249-256.
- 104-Chevrier A. & Barbier S., 2002.** Performances économiques et environnementales des techniques agricoles de conservation des sols. Création d'un référentiel et premiers résultats. Institut National de la Recherche Agronomique de Versailles-Grignon.
- 105-Chimenti C.A., Cantagallo J. & Guevara E., 1995.** Osmotic adjustment in Maize. Genetic variations in association with water uptake. INRA, Inter drought, VIII -30.
- 106-Chimenti C.A., Pearson J. & Hal A.J., 2002.** Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field crops res.***75** : 235-246.
- 107-Chimenti C.A., Marcantonio M. & Hal A.J., 2006.**Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phase. *Field Crops Res.* **95** : 305-315.
- 108- Choukan R., Taherkhani T., Ghannadha M.R. & Khodarahmi M., 2006.** Evaluation of drought tolerance maize lines by drought stress tolerance indices. *Iranian J. Agric. Sci.*, **8**:2000-2010.
- 109-CIC., 2007.** Rapport sur les perspectives du marché. Situation et perspectives, V.1, N.1., 14p.

- 110-Clarck J.M. & Mac Caig T. N., 1982.** Excised leaf water relation capacity as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Can.J.Plant Sci.* **62** :571-576
- 111-Clarck J.M. & T.F. Townley-Smith., 1986.** Heritability and relationship to yield of excised-leaf water retention in durum wheat. *Crop Sci.* **26**: 289–292.
- 112-Clark J.M., Romagosa I., Jana S., Srivastava J.P. & McCaig T.N., 1989.** Relationship of excised-leaf water loss rate and yield of durum wheat in diverse environments. *Can. Jal. Plant Sci.*, **69** : 1075-1081.
- 113-Colombani J., Lamagat J.P & Thibaux J.P., 1973.** Mesure de la perméabilité des sols en place : un nouvel appareil pour la méthode Müntz, une extension de la méthode Porchet aux sols hétérogènes. *Hydrol. Sci. J.*, **18** : 197-235.
- 114-Condon A.G. & Richards R.A., 1993.** Exploiting genetic variation in transpiration efficiency in wheat: an agronomic view. In: Ehleringer JR, Hall AE, Farquhar GD, eds. Stable isotopes and plant carbon-water relations. San Diego, CA: Academic Press, 435–450.
- 115-Condon A.G., Richards R.A., Rebetzke G.J. & Farquhar G.D., 2004.** Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 55, No. 407, Water-Saving Agriculture Special Issue, pp. 2447–2460.
- 116-Coote D. R. & Malcolm-McGovern C. A., 1989.** Effects of conventional and no-till corn grown in rotation on three soils in eastern Ontario, Canada. *Soil & Tillage Research.* **14** :67-84.
- 117-Couvreur F.M., 1984.** Les stades du blé. ITCF Ed. Paris.
- 118-Cornic G. & Fresneau C., 2002.** Photosynthetic carbon reduction and carbon oxidation cycles are the main electron sinks for photosystem II activity during a mild drought. *Ann. Bot.* **89**: 887- 894.
- 119-Croston R.P. & Williams J.T., 1981.** A world survey of wheat genetic resources. IBRGR. Bulletin / 80/59, 37 p.
- 120-Crowe J.H., Hoekstra F.A. & Crowe L.M., 1992.** Anhydrobiosis. *physiol.* **54** :579-599.
- 121-Dakheel A.J., Nasi I., Mahalakshmi V. & 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 .
- 122-Darera N.F., Marshall D.R. & Balaam L.N., 1969.** Genetic variability in root development in relation to drought tolerance in spring wheat expt; *Agric* **5**: 327-337.
- 123-Dasgupta S., Mohanty B.P. & Kohne J.M., 2006.** Soil Hydraulic Conductivities and their Spatial and Temporal Variations in a Vertisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **70**: 1872-1881.
- 124-Debaeke P., Cabelguenne M., Casals ML. & Puech J., 1996.** Élaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique. II. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées. *Epicphase-blé. Agronomie*.**16**: 25 - 46 p.
- 125-Deen, W. & P.K. Katak., 2003.** Carbon sequestration in a long-term conventional versus conservation tillage experiment. *Soil Tillage Res.* **74**:143–150.
- 126-Djekoun A. & planchon C., 1992.** Stomatal conductance photosynthesis and acetylene reduction rate in Soybean genotypes. *Can. J.Plant sci.* **72**: 383 - 390 p.

- 127-Djekoun A. & Ykhlef N., 1996.** Déficit hydrique, effets stomatiques et non-stomatiques et activité photosynthétique chez quelques génotypes de blé Tétraploïdes. 3ème Réunion du réseau SEWANA, de blé dur IAV HASSAN II (Maroc).
- 128-Djenane A., 1997.** L'exploitation agricole familiale comme modèle de restructuration du secteur agricole public en Algérie : cas du Sétifois. Dans : *Options Méditerranéennes*, Séries B, **12** : 251-268.
- 129-Djermoun, A., 2009.** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nature et Technologie*. **01** : 45-53.
- 130-De Raissac M., 1992:** Mécanisme d'adaptation à la sécheresse et maintien de la productivité des plants cultivés. *Agronomie Tropicale* **46**: 29-39.
- 131-Diosma G., Aulicino M., Chidichimo H. & Balatti P.A., 2006.** Effect of tillage and N fertilization on microbial physiological profile of soils cultivated with wheat. *Soil & Tillage Research* . **91** : 236-243.
- 132-Do Prado Wildner, Hercilio de Freitas L., V.M., & McGuire M., 2004.** Use of green manures / cover crops and conservation tillage in Santa Catarina, Brazil. In Eilitta M, Mureithi, J., Derpsch, R., (eds.). Dordrecht-Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 1–36.
- 133-Doran J.W., 1980.** Soil microbial and biochemical changes associated with reduced tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **44** :765-771.
- 134-Dridi N., Mekki M., Cheikh M'hamed H. & Benhammouda M., 2010.** Impact de deux modes de semis (Conventionnel vs Direct) sur la flore adventice des cultures. « Actes des quatrièmes rencontres méditerranéennes du semis direct » .Recherches agronomiques, N° spécial, INRAA.39-47.
- 135-Drijber R.A., Doran J.W., Parkhurst A.M. & D.J. Lyon., 2000.** Changes in soil microbial community structure with tillage under long-term wheat-fallow management. *Soil Biology & Biochemistry* **32**.
- 136-Dubcovsky J. & Dvorak J., 2007.** Genome Plasticity a Key Factor in the Success of Polyploid Wheat Under Domestication. *Science* **316** [Issue 5833], pp 1862.
- 137-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, 277- 299.
- 138-Dumanski J., 2004.** Carbon séquestration, soil conservation, and the Kyoto protocol: summary of implications. *Climatic Changes* **65**: 255-261.
- 139-Duchaufour Ph., 1997.** Pédologie: Introduction à la science du sol. Ed Elsevier-Masson, 597p.
- 140-Eckard NA., 2000.** Giving Rice the Time of Day: Molecular Identification of a Major Photoperiod Sensitivity Quantitative Trait Locus. *Plant Cell*, **12**: 2299-2301.
- 141-Ehdaie B., Alloush G.A., Madore M. A. & Waines J.G., 2006.** Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat : I. Postanthesis changes in internode dry matter. *Crop Sci.* **46** : 735-746.
- 142-El Brahli. A., Bouzza A. & Mrabet R., 1997.** Stratégie de lutte contre les mauvaises herbes dans plusieurs rotations céréalières en conditions de labour et de non labour. Rapport d'activité 96-97. INRA Centre Aridoculture Settlat, Maroc.

- 143-El Hafid R., Smith D.H., Karrou M., Samir K., 1998.** Morphological attributes associated with early-season drought tolerance in spring durum wheat in a Mediterranean environment. *Euphytica*, **101**: 273–282.
- 144-Elhani S., V. Martos Y., Rharrabti C., Royo L.F. & Garcia del Moral., 2007.** Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum durum*) grain yield and its components grown in Mediterranean environments; *Field Crops Research* **103**: 25–35.
- 145-El Jaafari S., 1993.** Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse doctorat. Univ. Gembloux. Belgique: 214p.
- 146-EL Jaafari S., Lepoivre Ph., Semal J., 1995.** Implication de l'acide abscissique dans la résistance du blé à la sécheresse. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. **15**: 141-148.
- 147-El Jaafari S., Qariani L., El Hadrami I., Fagroud M. & Paul R., 2000.** Intégration des outils biotechnologiques et agrophysiologiques. Le blé, une plante modèle. « Des modèles biologiques à l'amélioration des plantes ». Editeur scientifique. Serge h. IRD Editions. Collection colloque et séminaires. Paris.
- 148-El Gharras O., El Brahli A., El Aissaoui A. & El Hantaoui N., 2009.** Le semis direct pour une agriculture pluviale de conservation .Symposium international « Agriculture durable en région Méditerranéenne (AGRUMED) », Rabat, Maroc.
- 149-El Madidi S. & Zivy M., 1993.** Variabilité génétique des protéines de choc thermique et thermo-tolérance chez le blé. In : Le progrès génétique passe-t-il par le repérage et l'inventaire des gènes. Edition AUPELF-UREF, John Libbey EUROTEXT: 173-181.
- 150-Erchidi A.E., Benbella M. & Talouizte A., 2000.** Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement en grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique. Options méditerranéennes. Série A. **40** : 279 - 82.
- 151-Erroux J., 1974.** Agronomie méditerranéenne. Tome 1 : Le milieu méditerranéen et ses problèmes. Les cultures vivrières en Algérie. pp 15-22.
- 152-Famiglietti J., Rudnicki J. & Rodell M ., 1998.** Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas, J. Hydrol., **210**: 259 – 281.
- 153-Farshadfar A., Zamani M., Matlabi M. & Imam Jome A., 2001.** Selection for drought tolerance in pea lines. *Iranian Agric. Sci. J.*, **32**: 65-77.
- 154- Farshadfar E. & Sutka J., 2003.** Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agronomica Hungarica.*, **50**: 411-416.
- 155-Farooq M ., Bramley H ., Palta J.A. & Siddique K.H.M., 2011.** Heat stress in Wheat during reproductive and grain-filling phases. *Plant science* : **30** :491-507.
- 156-FAO., 2002.** Retenir le désert avec l'Agriculture de Conservation.
- 157-FAO., 2005.** Site des données statistiques de la FAO : www.faostat.fao.org
- 158-FAO., 2007.** Perspectives alimentaires. Analyse des marchés mondiaux..
- 159-Febrero A., Bort J., Brown R .H. & Araus J.L., 1990.** The role of durum wheat ear as photosynthetic organ during grain filling. In : advanced trends in photosynthetic, Mallorca, Spain.
- 160-Feillet P., 2000.** Le grain de blé, composition et utilisation, INR éditions, 308p.

- 161-Feldman M., 2001.** « Origin of Cultivated Wheat ». In Bonjean A.P. et W.J. Angus (éd.) *The World Wheat Book: a history of wheat breeding*. Intercept Limited, Angleterre, pp 3-58.
- 162-Feliachi K., 2000.** Programme de développement de la céréaliculture en Algérie. In *proc. Symposium blé 2000, enjeux et stratégie Algérie 21-27*.
- 163-Feliachi K., 2002.**, PNDA, Intensification et développement des filières. Cas de la céréaliculture. Acte 3^{èmes} Journées Scientifique sur le blé. Université Mentouri, Constantine.
- 164-Fellah A., Benmahammed A., Djekoun A. & Bouzerzour H., 2002.** Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Actes de l'IAV, Hassan II* (Maroc), **22**: 161-170.
- 165-Fernandez ., 1992.** Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: C.G. Kuo, (Ed), *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*. Tainan Publication, Taiwan.
- 166-Ferryra R., Sellés G., Ruiz R.S. & Sellés I.M., 2004.** Effect of water stress induced at different growth stages on grapevine cv. Chardonnay on production and wine quality. *Acta Hort.* **664**: 233- 236p.
- 167-Fischer R.A., 1985.** Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci. (Camb.)* **105**: 447–461.
- 168-Fischer R.A. & Maurer R., 1978.** Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.*, **29**: 897-912.
- 169-Fischer R.A & Turner N.C., 1978.** Plant productivity in the arid and semi arid zones. *Am. Rev. Plant Physiol.*, **29** : 277-317.
- 170-Fletcher R.J., 1983.** Breeding for frost resistance in early flowering wheat. *Proc.6th int. Wheat genetics symposium*: 965-969.
- 171-Fokar M., Nguyen H.T. & Blum A., 1998.** Heat tolerance in spring wheat. Grain filling. *Euphytica* **104**: 9-15.
- 172-Frey S.D., Elliott E.T. & Paustian K., 1999.** Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology and Biochemistry* **31**: 573-585.
- 173-Gallagher J.N., Biscoe P.V. & Hunter B., 1976.** Effects of drought on grain growth. *Nature*, **264** : 541-542.
- 174-Gardner F.P., Pearce R.B. & Michell R.L., 1985.** *Physiology of crop plants*. Ames (Iowa, États-Unis): Iowa State University Press, 336 p
- 175-Gate P. 1995.** *Ecophysiologie du blé. Technique et Documentation*. Lavoisier, Paris, 351p.
- 176-Gate P., Bouthier A., Woznica K. & Manzo M.E., 1990.** La tolérance des variétés de blé tendre d'hiver à la sécheresse : premiers résultats. *Perspectives agricoles*, **145** :17-24.
- 177-Gate P., Bouthier A., Casabianca H. & Deleens E., 1992.** Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France, interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains. In *tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne*. Ed. Paris : 61-73.
- 178-Gate P., Bouthier A., Casabianca H. & Deleens E., 1993.** Caractères physiologiques décrivant la tolérance à la sécheresse des blés cultivés en France : interprétation des corrélations entre le rendement et la composition isotopique du carbone des grains. *Colloque*

Diversité génétique et amélioration variétale Montpellier (France). *Les colloques*. **64**. Inra. Paris.

179-Gate P., Vignier L., Vadon B., Souici O., Minkov D., Lafarga A. & Zairi M., 1997. Céréales en milieu méditerranéen. Un modèle pour limiter les risques climatiques. *Perspectives agricoles*. **217** : 59-70.

180-Gate P., Giban M., Blondlot A., Braun P., Couleau G., Jouy L., Laurent F., Lutton A. & Vignier L., 2003. Stades du blé. ITCF. Ed .Lavoisier, 68 pages.

181-Gonde P., Ratomahenina R., Arnaud A. & Galzy P., 1986. Purification and properties of the exocellular β -glucosidase of *Candida molischianan* (Zikes) Meyer and Yarrow capable of hydrolyzing soluble celloextrins. *Can. J. Biochem. Cell. Biol.* **363**: 1160-1166.

182-Guendouz A., 2009. Relation entre quelques indicateurs de l'image numérique de la feuille drapeau et l'efficience de l'utilisation de l'eau chez quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magister, Département de Biologie Végétale, Université Ferhat Abbas. Sétif.

183-Guendouz A., Guessoum S. & Hafsi M., 2012. Investigation et selection index drought stress in durum wheat under Mediterranean condition. *Elec,J ,Plant, Breeding*, **3**: 733-740,

184-Guennouni A., 2007. Le semis direct en cultures céréalières. *Agriculture du Maghreb*. **23** : 92-94.

185-Guérif J., 1994. Influence de la simplification du travail du sol sur l'état structural des horizons de surface : conséquences sur leurs propriétés physiques et leurs comportements mécaniques. La simplification du travail du sol. Dans : *Les colloques n° 65*, INRA, Paris (France), pp 13-33.

186-Guillaume F., Norton L.R & Xavier R., 2008. Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agr. Ecosyst, Environ.*, **128** :68-76.

187-Golabadi M., Arzani A., S.A. & Maibody M., 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. *Afr J Agric Res.*, **5**: 162-171.

188-Gonzalez A., Martin I. & Ayerbe L., 1999. Barley yield in water stress conditions. The influence of precocity, osmotic adjustment and stomatal conductance. *Field Crop Res.* **62** : 23 -34 p.

189-Gonzalez A. & Ayerbe L., 2011. Response of coleoptiles to water deficit: growth, turgor maintenance and osmotic adjustment in barley plants (*Hordeum vulgare* L.). *Agricultural Science*. **2** :159-166.

190-Grandcourt M.C & Prats J., 1971. Les céréales. Collection d'enseignement agricole. J.B. Bailliere et fils 351p.

191-Granier C., Inzé D., Tardieu F., 2000. Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. *Plant Physiology.*, **124** : 1393-1402.

192-Grignac P.H., 1965. Contribution à l'étude de *Triticum durum* Desf. Première Thèse Doctorat. Fac. Sci. Univ. Toulouse, Ed. INRA, Paris, 144p.

193-Grignac P.H., 1978. Amélioration variétale de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Annale de l'INA (El -Harrach)*: 83 -110.

- 194-Grignac P.H., 1981.** Rendement et composantes du rendement du blé d'hiver dans l'environnement méditerranéen français .CEE, Division de la coordination de la recherche. Séminaire de Bari (Italie), 30/10, 1-2, 185-195.
- 195-Gregory P.J., 1989.** Water use efficiency of crops in the semi-aride tropics. In Soil, Crop, and water management system for rainfed agriculture in the Sudano-Sahelien zone, Niamey, Niger, ICRISAT, Patancheru, A. P.502 324, India, pp.85-98.
- 196-Gregory P.J., Simmons L.P. & Pilbean C.J., 2000.** Soil Type, Climatic Regime, and the Response of Water Use Efficiency to Crop Management. *Agronomy Journal*, **92** : 814-820.
- 197-Hadjichristodoulou A., 1987.** The effects of optimum heading date and its stability on yield and consistency of performance barley and durum wheat in dry areas. *J.Agric.Sci.Camb.* **108**: 599-608.
- 198-Hadjichristodoulou A., 1985.** The stability of the number of tiller of barley varieties and its relation with consistency of performance under semi- arid conditions. *Euphytica* **34**: 641-649.
- 199-Hafsi M., Monneveux P., Merah O., Djekoune A., 2001.** Carbon isotope discrimination and yield in durum wheat grown in the high plains of Sétif (Algeria). *Secheresse*, **12**: 37-43.
- 200-Hall A.E., Muters R.G., Hubick K.T. & Farquhar G.D., 1990.** Genotypic differences in carbon isotope discrimination by cowpea under wet and dry field conditions. *Crop Sci.*, **30** : 300-305.
- 201-Hannachi A. & Fellahi Z.E.A., 2010.** Effets des résidues et du travail du sol sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone semi-aride. Mémoire d'ing. UFAS, 58 p.
- 202-Harlan J.R., 1975.** Crops and man. Eds John Wiley and Sons. NY. 350 p.
- 203-Havaux M., Hernez M., Lannoye R., 1988.** Correlation between heat tolerance tests. *J. Plant Phys.*, **133**: 550-560.
- 204-Hay, R.K.M. & Walker, A.J., 1989.** An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Longman Scientific and Technical, Harlow. Hsu, J.C., 1996. Multiple Comparisons: Theory and Methods. Chapman & Hall, London, p. 277.
- 205-Hayek T., Ben Salem M. & Zid E., 2000.** Mécanisme ou stratégie de résistance à la sécheresse: Cas du blé, de l'orge et du triticale. *Options Méditerran.*, **1** : 287-290.
- 206-Heddadj D. & Gascuel-Oudoux C., 1999.** Annual and topographic variations of hydraulic conductivity at the field scale. *European Journal of Soil Science*, **50** : 275-283.
- 207-Heddadj D. & Cloarec M., 2011.** Impact des techniques culturales sans labour sur le fonctionnement biophysique des sols. IV Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. *Options Méditerranéennes, Série A*, **96** :131-145.
- 208-Hervieu B., Capone R. & Abis S., 2006.** L'enjeu céréalier en méditerranée. Les notes d'analyse du CIHEAM, **9** :1-13.
- 209-Hesse P.R., 1971.** A text book of soil chemical analysis. John Murray, London.
- 210-Hsissou D & Bouharmont J., 1994.** In vitro selection and characterization of drought tolerant plants of durum wheat (*Triticum durum* Desf). *Agron. J.* **2**: 65-70.
- 211-Hireche Y., 2006.** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Université al hadj lakhdar. Thèse de magistère. Batna.

- 212-Hikosaka K., Ishikawa K., Borjigidai A., Muller O. & Onoda Y., 2006.** Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rates. *J. Exp. Bot.* **57**:291–302.
- 213-Holland J. M., 2004.** The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture Ecosystems & Environment* **103** : 1-25.
- 214-Hossain A.B.S., Sears A.G., Cox T.S. & Paulsen G.M., 1990.** Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Sci.* **30**:622-627.
- 215-Housley T.L., Kirleis A.W., Ohm H.W. & Patterson F.L., 1982.** Dry matter accumulation in soft red winter wheat seeds. *Crop Sci.* **22**: 290–294.
- 216-Huang C.H., Gascuel-Oudou C. & Cros-Cayot S., 2002.** Hillslope moisture conditions, overland flow and erosion processes. In Auzet V., Poesen J. and Valentin C., editors, Soil patterns as a key controlling factor of soil erosion by water. Elsevier. Catena Special Issue, **46** : 177-188.
- 217-Hubert F., Hallaire, V., Sardini, P., Caner, L. & Heddadj, D., 2007.** Pore morphology changes under tillage and no-tillage practices. *Geoderma*, **142**: 226-236.
- 218-Hurd E.A., 1974.** Phenotype and drought resistance in wheat. *Agricultural Meteorology* **14**: 19-25.
- 219-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.
- 220-Ibekwe A.M., Kennedy A.C., Frohne P.S., Papiernik S.K., Yang C.H. & D.E. Crowley., 2002.** Microbial diversity along a transect of agronomic zones. *FEMS Microbiology Ecology* **39**:183-191.
- 221-Jensen M.E, Burman, R.D. & Allen R.G. 1990.** Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. American Society of Civil Engineers Manuals and Reports of Engineering Practice No. 70. New York. 360 p.
- 222-Johnson D.A., Richards R.A. & Turner N.C., 1983 .**Yield water relation, gas exchange and surface reflectances of near- isogenic wheat lines differing in glaucousness. *Crop Sci.* **23**: 318-325.
- 223-Johnson MG., Levine ER. & Kern JS., 1995.** Soil organic matter: Distribution, genesis and management to reduce greenhouse gas emissions. *Water Air and Soil Pollution* **82**: 593-615.
- 224-Jones H.G., Flowers T.J. & Jones M.B., 1989.** Plants Under Stress. Univ. Cambridge.
- 225-Kanemasu, E.T. and C.B. Tanner., 1969.** Stomatal diffusion resistance of snap beans. 1. influence of leaf-water potential. *Plant Physiol.*, **44** : 1547- 1552.
- 226-Kassem, A. & Friedrich T., 2011.** Conservation Agriculture : Concepts, worldwide experience, and lessons for success of CA-based systems in the semi-arid Mediterranean environments. IV Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Options Méditerranéennes, Série A, **96** : 11-51.
- 227-Kay B. D. & VandenBygaart A. J., 2002.** Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil & Tillage Research*, **66** : 107-118.
- 228-Kellou R., 2008.** Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Quali-Méditerranée. Le cas

des coopératives Sud Céréales, Groupe coopératif Occitan et Aude coop. Thèse de Master of Science du CIHEAM – IAMM n° 93.

229-Kennedy A.C., 1999. Bacterial diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **74**: 65-76.

230-Kiani P., 2007. Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus* L.) soumis à la sécheresse. Thèse Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse.

231-Kirkham M.B., Smith E.L., Danasobhon C. & Draket T.I., 1980. Resistance to water loss of winter wheat flag leaves. *Cer. Res. Commun.* **8**: 393 p.

232-Khaledian M.R., Ruelle P., Mailhol J.C, Delage L. & Rosique P., 2006. Evaluating direct seeding on mulch on a field scale .*Options Méditerranéennes*, **69** :125-129.

233-Kheyar M. O., Amara M. & Harrad F., 2007. La mécanisation de la céréaliculture algérienne. *Annales de l'INA*.**28**: 1-2.

234-Kirkham M.B., Smith E.L., Dhansobhan C. & Drake T.I., 1980. Resistance to water loss of winter wheat flag leaves. In: Genotypic variability in physiological characters and its relation chip to drought tolerance in durum wheat. *Can. J. Plant sci* (1989), **69**: 703-711.

235-Kirby E.J.M., Appleyard M. & Fellows G., 1985. Effects of sowing date and varieties on main shoot leaf emergence and number of leaves of barley plant. *Agronomie*, **5** : 117-126.

236-Koller K., 2003. Techniques of Soil Tillage. In: E. Titi, Ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton. p 1-25.

237-Kramer P.J., 1969. Plant and Soil Water Relationships, Tata McGraw-Hill, B, India, 360 p.

238-Kribaa M., Hallaire S., Curmi P. & Lahmar R., 2001. Effects of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of soil in semi-arid climate. *Soil Tillage Res.*, **60**: 43-53.

239-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 du travail de la jachère sur les caractéristiques structurales et hydrodynamiques du sol. Thèse doctorat, INA, El-Harrach (Alger) ,121p.

240-Kristin A.S, Senra R.R., Perez F.I., Enriquez B.C., Gallegos J.A.A., Vallego P.R., Wassimi N. & Kelley J.D., 1997. Improving common bean performance under drought stress. *Crop Sci.*, **37**: 43-50.

241-Laberche J.C., 2004. La nutrition de la plante In *Biologie Végétale. Dunod*. 2e (éd). Paris:154 -163 p.

242-Labreuche J., De Tourdonnet S., Germon J. C., Ouvry J. F., Le Souder C., Castillon P., Real B., Felix I., Duval R., Galienne J., & Quere L., 2007. "Synthèse des impacts environnementaux des techniques culturales sans labour par milieu." Rapport projet ADEME 'Impacts environnementaux des TCSL'.

243-Lal R., 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental Pollution* **16**: 353-362.

244-Lal R. 2004. Soil carbon séquestration to mitigate climate change. *Geoderma* **123**: 1-22.

- 245-Lal R. & J. M. Kimble., 2001.** Importance of soil bulk density and methods of its importance *Dans* Lai, R., J. M. Kimble, R. F. Follett et B. A. Stewart (éds.). Assessment methods for soil carbon. CRC Press, Boca Raton (Florida), USA. Chapitre 3, p. 31-44.
- 246-Lal R., Reicosky D.C. & Hanson J.D., 2007.** Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. *Soil Tillage Res.* **93**: 1-12.
- 247-Lahlou S, Ouadia M Issa O, Le Bissonais Y, & Mrabet R., 2005.** Modification de la porosité du sol sous les techniques culturales de conservation en zones semi aride marocaine. *Etude et gestion des sols.***12** : 69-76.
- 248-Lahmar R. & Bouzerzour H., 2011.** Du mulch terreux au mulch organique. Revisiter le *dry-farming* pour assurer une transition vers l'agriculture durable dans les Hautes Plaines Sétifiennes. IV Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Options Méditerranéennes, Série A, **96** :99-106.
- 249-Lahmar R. & 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 : 318-323.
- 250-Larcher W., 1995.** Plant under stress. *In*, Physiological Plant Ecology. Third edition. *Springer*: 321-448.
- 251-Laumont P. & Erroux J., 1961.** Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. Mémoires de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du nord, **5** :94 pp.
- 252-Lebayon R.C., Moreau S., Gascuel-Oudou C., & Binet F., 2002.** Annual variations in earthworm surface-casting activity and soil transport by water runoff under a temperate maize agroecosystem. *Geoderma*, **106**: 121-135.
- 253-Lebon E., Pellegrino A., Tardieu F., & Lecoœur J., 2004.** Shoot development in grapevine is affected by the modular branching pattern of the stem and intra and inter-shoot trophic competition. *Annals of Botany*, **93** : 263-274
- 254-Le Bissonnais Y., 1996.** Aggregate stability and assessment of crustability and erodability .2– Application to humic loamy soils with various organic carbon content. *European Journal of Soil Science* **47** : 425-437.
- 255-Le Bissonnais Y., 1988.** Analyse des mécanismes de désagrégation et de mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies. Thèse de Doctorat, Univ. d'Orléans. 225 p.
- 256-Lefebvre V.,Kiani P. & Durant-Tardif M., 2009.** A focus on natural variation for abiotic constraints response in a model species *Arabidopsis thaliana*.*International Journal of molecular sciences.***10** :3547-3582.
- 257-Levitt J., 1980.** Responses of plants to environmental stresses. I-Chilling, freezing and high temperature. *Academic Press.*, New York, USA, 607p.
- 258-Levitt J., 1982.** Response of plants to environmental stresses. Academic Press. New York.
- 259-Lewicki S., 1993.** Evaluation de paramètres liés à l'état hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) et l'orge (*Hordeum vu/gare* L.) ; soumis à un déficit hydrique modéré, en vue d'une application à la sélection de génotypes tolérants. Thèse Doctorat. ENSA. Montpellier. 86 p.
- 260-Lipiec J., Kus J., Slowinska-Jurkiewicz A. & Nosalewicz, A., 2006.** Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil Tillage Res.*, **89**: 210-220.
- 261-Liu X.J., Mosier A.R., Halvorson A.D., Reule C.A. & Zhang F.S., 2007.** Dinitrogen

and N₂O emissions in arable soils: Effect of tillage, N source and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry* **39**: 2362-2370.

262-López-Bellido R.J., López-Bellido L., Benítez-Vega J. & López-Bellido F.J., 2007. Tillage system, preceding crop, and nitrogen fertilizer in wheat crop: II. Water utilization. Dans : *Agron.J.*, **99**: 66-72.

263-Loveland P. & Webb J., 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil & Tillage Research* **70** :1-18.

264-Lozet J. Mathieu C., 1997. Dictionnaire de science du sol. Paris, Lavoisier Tec & Doc.

265-Ludlow MM. & Muchow RC., 1988. Critical evaluation of the possibilities for modifying crops for high production per unit of precipitation. In : Bilinger FR, Johansen C,eds. CRISAT, India, pp .180-211.

266-Ludlow MM. & Muchow, RC., 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Advances in Agronomy*, **43** :107-153.

267-Machado S., Petrie S., Rhinhart K., & Ramig R.E., 2008. Tillage effects on water use and grain yield of winter wheat and green pea in rotation. *Agron. J.* **100**:154-162.

268-Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S. & Janardhan Reddy K., 2006. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. *Springer*:1-14 p.

269-MADR., 2010. Statistiques Agricoles, Superficies et Productions. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Données : 1997-2009.

270-MADR., 2009. Statistiques série B - Ministère de l'agriculture et du développement rural.

271-Mahfoozi A., Limin, E. & Fowler D.B., 2001. Developmental Regulation of Low-temperature Tolerance in Winter Wheat. *Ann. of Botany* **87** : 751-757.

272-Mckee P., 1978. The genetic basis of wheat systematic. *SKH BIO*.**3** : 12-25.

273-Mckey J. 1968. Species relations in Triticum. *Proc.2nd International Wheat Genetic symposium. Hereditas*, **2** : 237-276.

274-Masle-Meynard J.M., 1980. L'élaboration du nombre d'épi 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. Doc. Ing "Sci. Agr" INA. Paris Grignon, 274 p.

275-Masle-Meynard J.M., 1981. Relation entre croissance et développement pendant la montaison d'un peuplement de blé d'hiver. Influence des conditions de nutrition. *Agronomie*, **13** :365-370.

276-Masutti C., 2004. Le Dust Bowl, la politique de conservation des ressources et des écologues aux Etats-Unis dans les années 1930. Epistémologie, histoire des sciences et des techniques, ULP (Strasbourg).428 pp.

277-Massicotte D., Denis J. & Lamarre G., 2000. Guide des pratiques de conservation en grandes cultures. CRAAQ/CPVQ, Québec, 520p.

278-Mazouz L., 2006. Etude de la contribution des paramètres phéno morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Mémoire de Magister. Dept Agr, Fac Sci, UHL, Batna, Algérie.70 pp.

279-Mazoyer M., Roudart L., 2006. "La fracture agricole et alimentaire mondiale. Nourrir la population aujourd'hui et demain". Universalis, Paris, 2006, 193p.

- 280-Mazoyer M., 2010.** "Nourrir convenablement l'humanité au XXIème siècle". Conférence devant l'association des diplômés HEC, Paris, 2010.
- 281-Mefti A., Abdelguerfi A & Chebouti A., 2001.** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Médicago truncatula*. In XIV Eucarpia *Medicago* spp. Group meeting « Quality in lucerne and Medics of Animal Production » ; FAO-CIHEAM, Zaragoza-Lleida (Spain). Options Méditerranéennes, **45** : 173-176.
- 282-Mekhlouf A., Bouzerzour H., Benmahammed A., Hadj Sahraoui A. & Harkati N. 2006 a.** Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. Sécheresse **17** :507-513.
- 283-Mekhlouf A., Dehbi F., Bouzerzour H., Hannachi A., Benmahammed A. & Adjabi A., 2006 b.** Relationships between cold tolerance, grain yield performances and stability of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes grown at high elevation area of Eastern Algeria. Asian Journal of Plant Sciences **5**:700-708.
- 284-Mekliche A., Boukecha D. & Hanifi-Mekliche L., 2003.** Etude de la tolérance à la sécheresse de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.).I. Effet de l'irrigation de complément sur les caractères phénologique, morphologiques et physiologiques, **24** : 97-110.
- 285-Merah O., 2000.** Carbon isotope discrimination and mineral composition of three organs in durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. *Plant biology and pathology*. iscussed. Académie des sciences/ Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. 355-363.
- 286-Merah O., Monneveux Ph., Nachit M. & Deléens E., 1999.** La composition isotopique du carbone, critère intégrateur du fonctionnement photosynthétique : application à l'amélioration génétique du blé dur en conditions méditerranéennes. Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures, **8**: 37-47.
- 287-Merah O., Deleens E., Souyris I., Nachit M. & Monneveux P., 2001.** Stability of carbon isotope discrimination and grain yield in durum wheat. *Crop Science* **41** : 677–681.
- 288-Michon J., 2007.** Pour une agriculture durable : Le semis direct permanent, un système de culture sans travail du sol. Mémoire présenté à la Commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois.
- 289-Mielke L.N., Doran J.W. & Richards K.A., 1986.** Physical environment near the surface of plowed and no-tilled soils. *Soil Tillage Res.***7**: 355-366.
- 290-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.
- 291-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 aux milieux arides. AUPELF-UREF, John Libbey EUROTEXT: 165-186.
- 292-Monneveux P. & Nemmar M., 1986.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*T. aestivum* L.) et chez le blé dur (*T. durum* L.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie* : **6**, 583-590.
- 293-Morgan J.M., 1984.** Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **35**: 299-319.
- 294-Morgan J.M. & Gordan, A.G., 1986.** Water use, grain yield and osmoregulation in wheat. *Aust J Plant Physiol* ; **13** : 523-32.

- 295-Moret D., & Arrue J.L., 2007.** Characterizing soil water-conducting macro and mesoporosity as influenced by tillage using tension infiltrometry. *Soil Sci.Soc. Am. J.* **71** : 500-506.
- 296-Mrabet R., 2000.** Differential response of wheat to tillage management systems in a semi-arid area of Morocco. *Field Crop Research*, **66** : 165-174.
- 297-Mrabet R., 2001.** Le semis direct : Potentiel et limites pour une agriculture durable en Afrique du Nord. Centre de développement sous-régional pour l'Afrique du Nord (CDSR), Nations Unies, Commission Économique pour l'Afrique (CEA/TNG/CDSR/AGR), 32 p.
- 298-Mrabet R., 2002.** Wheat yield and water use efficiency under contrasting residue and tillage management systems in a semiarid area of Morocco. *Expl. Agric.*, **38** : 237-248.
- 299-Mrabet R., 2004.** Le système de semis direct en milieu semi-aride marocain : aperçu sur les acquis de la recherche. *In Actes des deuxièmes rencontres méditerranéennes sur le semis direct.* Tabarka- Tunisie.
- 300-Mrabet R., 2011.** Climate change and carbon sequestration in the mediterranean bassin : Contribution of no tillage systems. IV Rencontres Méditerranéennes du Semis Direct. Options Méditerranéennes, Série A, **96** :165-184.
- 301-Munier- Jolain N. & Carrouée B., 2005.** Agrophysiologie du pois protéagineux ; 118-119.
- 302-Munkholm, L.J., Schjonning, P., Rasmussen, K.J. & K. Tanderup., 2003.** Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and Tillage Research* **71**:163-173.
- 303-Musy A. & Soutter M ., 1999.** Physique du sol. Collection Gérer l'Environnement. Ed. Presses Polytechniques et universitaires Romandes. Lausanne, 335 p.
- 304-Mwendera E.J. & Feyen J., 1994.** Effects of tillage and rainfall on soil surface roughness and properties. *Soil Technology*. **7**: 93-103.
- 305-Nemmar M., 1980.** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé dur (*T durum* Desf) et chez le blé tendre (*T aestivum* L.) : étude l'accumulation de la proline sous l'effet du stress hydrique. Thèse D.A.A. ENSA. Montpellier 63 pp.
- 306-Niari-Khamssi N. 2011.** Assessment of Quantitative Drought Resistance Indices under Irrigated and Rain-fed Conditions in Bread Wheat Genotypes. *Advances in Environmental Biology*, **5**(9): 2591-2595.
- 307-Nobel, P.S., 1991.** Physicochemical and environmental plant physiology, pp. 109-1 83. Academic Press, hc., New York, NY.
- 308-Nouri L. & Ykhlef N., 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf), en conditions de déficit hydrique. Thèse de Magister (Université Mentouri)-Constantine.115pp.
- 309-ONM., 2011.** Données climatiques de la région de Sétif (1981-2011).
- 310-Oorts K., 2006.** Effects of tillage systems 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. 159p.
- 311-Osorio, J. & Pereira J.S., 1994.** Genotypic differences in water-use efficiency and ^{13}C discrimination in *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiol.*, **14**, 87 1-8 8 1.

- 312-O'Tooles J.C. & Stockle C.O., 1989.** Assessment of trait in plant breeding. The role of conceptual and simulation modeling. in Proceeding of seminar on Improving winter wheat cereals under temperature and soil salinity stresses (Spain): 220-231.
- 313-Oukarroum A., 2007.** Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse doctorat. Université De Genève.
- 314-Papdakis J.S., 1938.** Ecologie agricole .Ed. Jules Duculot, Gembloux, **121**: 318-323.
- 315-Papy P., 1979.** Analyse du comportement des cultures de blé dur et d'orge dans les différentes régions céréalières du Maroc à travers leur réaction aux variations interannuelles des régions pluviométriques. *C. R. Acad. Agri.*, France, **31** : 213-247.
- 316-Passioura J.B., 1977.** Grain yield, harvest index and water use of wheat. *Journal of Australian Institute of Agricultural Science*. **43**: 117 - 120.
- 317-Passioura J.B., 1996.** Drought and drought tolerance. *Plant growth regulation*, **20**: 79-83.
- 318-Passioura J.B., 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.
- 319-Patrick J.W. & Wardlaw I.F., 1984.** Vascular control of photosynthetic transfer from the flag leaf to the ear of wheat. *Australian. J. Plant physiol*, **11**:235-241.
- 320-Paulsen G.M. & Heysen E.G., 1983.** Grain production of winter wheat after spring freeze injury. *Agro. J.* **75** : 105-107.
- 321-Pekrun C., Kaul H.P. & Claupein W., 2003.** Soil tillage for sustainable nutrient management, p. 83-113, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton.
- 322-Peigné J., Ball B.C., Roger-Estrade J. & David C., 2007.** Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management* **23**:129-144.
- 323-Peixoto R. S., Coutinho H. L., Madari B., Machado P., Rumjanek N., Seldin L., Elsas J.D.V. & Rosado A. S., 2006.** Bacterial community structure and soil aggregation as indicators of quality changes in a Brazilian Cerrado soil. *Soil & tillage research*.
- 324-Perez De Ciriza Gainza J. J., 2004.** Essais comparatifs de quinze ans dans une région semi-aride (400 mm de pluie) en Navarre (Espagne). In Actes des deuxièmes rencontres méditerranéennes sur le semis direct. Tabarka, Tunisie. 67-70.
- 325-Peterson G.A., Schlegel A.J., Tanaka D.L. & Jones O.R., 1996.** Precipitation use efficiency as affected by cropping and tillage systems. Dans : *J. Prod. Agric.*, **9** : 180-186.
- 326-Pheloung P.C., Siddique K.H.M., 1991.** Contribution of stem dry matter to grain yield in wheat cultivars. *Aust. J. Plant. Physiol.*, **18** : 53-64.
- 327-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*.
- 328-Raguin M., 2008.** Semis Direct: Produire autrement, défi ou nécessité? MAPM /DERD / PNTTA. Transfert de Technologie en Agriculture, **163** : 4.
- 329-Ramdani A., 2004.** Impact of Spanish and Italian breeding activities on durum wheat yield and associated morpho-physiological and quality traits throughout the 20th century. Thèse de Ph.D. Département de Production végétale, Université de Lleida, Espagne.

- 330-Raunet M., 2004.** Quelques facteurs déterminants de l'émergence et du développement des « systèmes semis direct » dans quelques grands pays leaders (États-Unis, Brésil, Argentine, Australie). In Actes des deuxièmes rencontres méditerranéennes sur le semis direct. Tabarka, Tunisie. pp 11-31.
- 331-Raunet M., Richard J.F & Rojat D., 2004.** Premiers résultats d'introduction du semis direct sous couvert et lutte anti érosive en Tunisie. *Bulletin du réseau Érosion*. 23. Gestion de la biomasse, érosion et séquestration du carbone, Colloque international IRD/Cirad, Montpellier : 388-404.
- 332-Rasmussen K.J., 1999.** Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. Dans : *Soil & Tillage Research*, **53** : 3-14.
- 333-Rebetzke G.J., Richards R. A., Fettel N. A., Long M., Condon A.G., Forrester R.I. & Botwright., 2007.** Genotypic increases in coleoptiles length improves stand establishment, vigour and grain yield of deep-sown wheat field. *Crops Res.* **154** : 409-425.
- 334-Rejeb M.N. & Ben Salem M., 1993.** Les divers mécanismes d'adaptation à la sécheresse chez les végétaux supérieurs, cas du blé et du caroubier. Bull. Soc. Sci. Nat. Tunisie, **22**: 49-52.
- 335-Rekika D.J., 1997.** Identification et analyse génétique des caractères physiologiques liés au rendement en condition de sécheresse chez le blé dur. Intérêt potentiel des espèces sauvages apparentées pour l'amélioration de ces caractères. Thèse Doctorat. ENSA Montpellier. 158p.
- 336-Reynolds M.P., Muzeeb-Kazi A. & Sawkins M., 2005.** Prospects for utilising plant-adaptative mechanism to improve wheat and other crops in drought and salinity-prone environments. *Annal. Appl. Bio.*, **146** : 239-259.
- 337-Reynolds M.P., Balota M., Delgado M.I.B., Amani I. & Fischer R.A., 1994.** Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. *Aust. J. Plant. Physiology*. **21**:717-730.
- 338-RGA., 2001.** Recensement général de l'Agriculture en Algérie.
- 339-Richards R.A., 1991.** Crop improvement for temperate Australia: future opportunities. *Field. Crops Res.* **26**:141-169.
- 340-Richards R.A., Rebtzke G.J., Van Herwaardlen A.F., Dugganb B.L., Condon A., 1997.** Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. Dryland Agriculture, **36**: 254-66.
- 341-Richards R.A., Rebetzke G.Y., Condon A.G. & Van Herwaardlen A. F., 2002.** Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop. Sci.*, **42** : 111-121.
- 342-Richards R.A., Rebetzke G.Y., Van Herwaardlen A.F., Dugganb B.L. & Gondon A., 1986.** Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. Dryland Agriculture; **36**: 254-266.
- 343-Richard J.F., 2004.** Agriculture de conservation et séquestration du carbone. In Actes 2ème rencontres méditerranéennes sur le semis direct. Tabarka- Tunisie. 156p.
- 344-Robert D., Gate P. & Couvreur F., 1993.** Les stades du blé. Editions ITCF. 28 p.
- 345-Robert M., Capillon A. & Raunet M., 2004.** Les techniques culturales sans labour : historique et enjeux, colloque « Techniques culturales sans labour. Impacts économiques et enjeux ». CORPEN, Paris, pp.81.

- 346-Romagosa I. & Araus J.L., 1990.** Acciones mitigantes de la sequia en la agricultura : la mejora genetica vegetal. Jornadas sobre les sequias en Espana. Causas, efectos, remedios, y acciones mitigantes, Madrid, Espana (unpublished)..
- 347-Rosielle A.A. & Hamblin J., 1981.** Theoretical aspects of selection for yield in stress and non stress environments. *Crop Sci.*, **21**: 943-946.
- 348-Rouabhi A., 2008.** Efficacité d'utilisation de l'eau et sélection de variétés de blé dur sous les conditions du climat semi-aride. Mémoire de Magister, Département d'Agronomie, Université Ferhat Abbas. Sétif.
- 349-Saber N. & Mrabet R., 2002 .**Impact of no tillage and crop sequence on selected soil quality attributes of a vertic calcixeroll soil in Morocco. *Agronomie*, **22** :451-459.
- 350-SAS. Institute., 1999.** SAS/STAT user's guide .8.Version.SAS Institute Inc.Cary.NC.-
- 351-Scofield T., Evans J., Cook MG. & Wardlaw IF., 1988.** Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Aust. Journ. Plant Physiol.* **4**: 785-797.
- 352-Scopel E., Douzet J.M., Cardoso A., Macena F.A., Alves Moreira J.A., Findeling A. & Bernoux M., 2005.** Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les Cerrados brésiliens. *Cahiers d'études et de recherche francophones/Agricultures*, **14**: 71-76.
- 353-Séguy L. & Bouzinac S., 1999.** Cultiver durablement et proprement les sols de la planète, en semis direct. CIRAD-CA/GEC.
- 354-Semcheddine N., 2007.** Utilisation de la discrimination isotopique du carbone comme critère de sélection du blé dur en relation avec le bilan hydrique. Mémoire de Magister, Département d'Agronomie, Université Ferhat Abbas Sétif, 101 p.
- 355-Serrieys 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 .Les colloques, **55**:211-225.
- 356- Shafazade M., Yazdan Sepas A., Amiini A. & Ghannadha M.R., 2004.** Study of end-season drought tolerance in preferential genotypes of winter wheat by sensitive and tolerance indices. *Seed and Plant Journal*. **20**: 57-71.
- 357-Shanahan J.F. , Donnelly K.J., Smith D.H. & Smikka D.E., 1985.** Shoot developpemental properties associated with grain yield in winter wheat. *Crop Science*, **25** : 770-775.
- 358-Shanahan J.F., Smith D.H., Welsh J.R., 1984.** An analysis of post-anthesis sink-limited winter wheat grain yields under various environments. *Agron. J.*, **76**: 611-615.
- 359-Siakhène N., 1984.** Effet du stress hydrique sur quelques espèces de luzerne Annuelle. Mémoire Ing Agr. INA. El Harrach : 90 p.
- 360-Siddique K.H.M., Belford R.K., Perry D. & Tennant D., 1989.** Growth development and light interception of old and modern wheat varieties in Mediterranean environment. *Aust. J. Agro. Res.*, **40** : 473-487.
- 361-Siddique K.H.M., Belford R.K. & Tennant D., 1990.** Root/shoot ratio of old and modern, tall and semi-dwarf wheats in Mediterranean environment. *Plant soil*, **121** : 89-98.
- 362-Sillon J. F., Richard, G. & Cousin I., 2003.** Tillage and traffic effects on soil hydraulic properties and evaporation, *Geoderma*, **116** : 29-46.

- 363-Simane B., Peacock JM. & Struik PC., 1993.** Differences in development plasticity growth rate among drought-resistant and susceptible cultivars of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Plant and Soil*, **157**: 155-166.
- 364-Six J., Elliot E.T. & Paustian K., 2000.** Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C séquestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology & Biochemistry*, **32**: 2099-2103.
- 365-Six J., C. Feller K. Denef S. M. Ogle, J. C. de Moraes Sa. & Albrecht A., 2002.** Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - effects of no-tillage. *Agronomie* **22**: 755-752.
- 366-Slama A., 2002.** Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie, faculté des sciences de Tunis.
- 367-Slama A., Ben Salem M., Ben Naceur M. & Zid B., 2005.** Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. *Sécheresse* ; **16** : 225-9.
- 368-Slafer G.A., Araus J.L., Royo C. & Del Moral L.F.G., 2005.** Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. *Ann. Appl. Biol.* **146** : 61-70.
- 369-Slayter R., 1974.** The effect of internal water status on plant growth development and yield In: plant responses to climatic factors .Proc.of upsala symposium, *Unesco*.
- 370-Smadhi D. & Zella L., 2009.** Céréaliculture en sec et précipitations annuelles : le cas de l'Algérie du Nord .*Sécheresse* :20, n° 2.
- 371-Spanoletti Zeuli, P.L. & C.O. Qualset., 1990.** Flag leaf variation and the analysis of diversity in durum wheat. *Plant Breeding*, **105**: 189-202.
- 372-Spedding T.A., Hamel C., Mehuys G.R. & Madramootoo C.A., 2004.** Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biology & Biochemistry* **36**:499-512.
- 373-Soltner D., 2005.** Les grandes productions végétales. 20ème Edition. Collection science et techniques agricoles. 472p.
- 374-Sopena P., 2006.** Le semis direct en Aragon : Association Aragonaise d'Agriculture de Conservation. *Options Méditerranéennes*, **69** :101-105.
- 375-Strudley M.W., Green T.R. & Ascough J.C., 2008.** II- Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science *Soil & Tillage Research* :994-48.
- 376-Subbiah B.V., Katyal J.C., Narsimhan B.L., & Dakshinamoorthy C.D., 1968.** Preliminary investigations on root distribution of high yielding wheat varieties, *Int. J.app.Radiat. Isotopes*, **19**: 383-390.
- 377-Sveistrup T.E., Haraldsen T.K., Langohr R., Marcelino V. & Kvaerner J., 2005.** Impact of land use and seasonal freezing on morphological and physical properties of silty Norwegian soils. *Soil Tillage Res.*, **81**: 39-56.
- 378-Tabatabai M. A., 1996.** Soil organic matter testing: an overview *Dans* Magdoff, F. R., M. A. Tabatabai et E. A. Hanlon Jr. (éds.). *Soil organic matter: analysis and interpretation*. SSSA Spécial publication No. 46. Soil Science Society of America, Madison, (Wisconsin), USA. Chapitre 1, p. 1-9.
- 379- Taghizade R., Valizade M., Nazirzade A., Aharizad S., & Mostafaei H., 2002.** Evaluation of drought stress tolerance of references in lentil genotypes in Ardabil by drought

tolerance and drought sensitive indices. Summary of essays in 7th congress of agriculture and plant breeding, Karaj, pp: 366.

380-Tambussi E.A., J. Bort. & J.L. Araus., 2007. Water use efficiency in C3 cereals under Mediterranean conditions: a review of physiological aspects. *Ann App Biol.* **150**: 307–321.

381-Tebrügge F. & Düring R.A., 1999. Reducing tillage intensity – A review of results from a long-term study in Germany. Dans : *Soil & Tillage Research*, **53** :15-28.

382-Teixetra S., Freitas P., Landers J., Blancaneaux P. & Milamem A., 1994. Les effets économiques et pédologiques du semis direct dans les savanes brésiliennes (Cerrados) : Une technique agricole qui améliore la durabilité d'un système culturel. *Emgora ; Brésil*.300-316.

383-Tessier D., 1984. Etude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux, hydratation, gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la réhumectation. Thèse doctorat. Es. Sci. Univ.Paris, 361p.

384-Thakur P., Kumar S., Malik J.A., Berger J.D. & Nayyar H., 2010 .Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, **67** : 429–443.

385-Thomas F., Archambeaud M., Billerot S. & Carville C., 2009. *Techniques de conservation des sols*. Madison, France, pp. 106.

386-Thompson J.A. & Chase D.L., 1992. Effect of limited irrigation on growth and yield of a semi-dwarf wheat in Southern New Wales. Dans : *Australan J. of Expermental Agric.*, **32**: 725-730.

387-Thorne G. N., Ford M.A. & Watson D.G., 1968. Growth developpement and yield of spring wheat in artificial climate. *Ann. Bot.* **32**: 425-446.

388-Triboï E., 1990. Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre. *Agronomie*. **10** : 191- 200p.

389-Triboï E., Lemerrier E. & Rousset M., 1985. Elaboration du poids de grain. *Ecophysiologie du blé C.R.INRA* :67-100.

390-Unger P.W., 1994. Tillage effects on dryland wheat and sorghum production in southern Great Plains.*Agron.J.***86**: 310-314.

391-Van den Boogaard R., Alewinjse D., Veneklaas E.J. & Lambers H., 1997. Growth and water use efficiency of 10 *Triticum aestivum* at different water availability in relation to allocation of biomass. *Plant, Cell and Environment*, **20** :200-210.

392-Vian J.F., 2009. Comparaison de différentes techniques de travail du sol en agriculture biologique : effet de la structure et de la localisation des résidus sur les microorganismes du sol et leurs activités de minéralisation du carbone et de l'azote. Thèse Doctorat de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement .Agro Paris Tech, **172 p**.

393-Villegas D., Aparicio N., Blanco R. & Royo C., 2001. Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat grown under Mediterranean conditions. *Annals Bot.* **88**: 617-627.

394-Villioud P., Delabays N., Frei P. & Mercier E., 2006. Résultats de 35 ans de culture sans labour à Changins. *Revue suisse Agric.* **38** :81-87.

395-Waddell J.T. & Weil R.R., 1996. Water distribution in soil under ridgetill and no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **60**, 230–237.*Soil & Tillage Research* **90** : 194–204

- 396-Wall A.M., Ripley R. & Gale M.D., 1971.** The position of a locus on chromosome 5B of *Triticum aestivum* affecting homoeologous meiotic pairing. *Genet Res*, **18**: 329-339.
- 397-Wardlaw I.F., 2002.** Interaction between drought and chronic high temperature during kernel filling in wheat in a controlled environment. *Ann. Bot*, **90**: 469-476.
- 398-Wardlaw I.F. & Moncur L., 1995.** The response of wheat to high temperature following anthesis I: the rate and duration of grain filling. *Aust J. Plant. Phy*, **22**: 391-397.
- 399-Wardlaw I.F., Dawson I.A., Munibi P. & Fewster R., 1989.** The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. II. Survey procedures and general response patterns. *Australian Journal of Agricultural Research* **40**: 1-13.
- 400-Wardlaw I.F., 1967.** The effect of water stress on translocation in relation to photosynthesis and growth. I. Effect during grain development in wheat. *Aust. J. Biol. Sci.* **20**: 25-39.
- 401-Wilhelm W.W., Mielke L.N. & Fenster C.R., 1982.** Root development of winter wheat as related to tillage in western Nebraska. *Agron. J.* **74**: 85-88.
- 402-Xu D. & Mermoud A., 2001.** Topsoil properties as affected by tillage practices in North China. *Soil & Tillage Research*, **60** : 11-19.
- 403-Xu Z.S., Ni Z.Y., Li Z.Y., Li L.C., Chen M., Gao D.Y., Liu P. & Ma Y.Z., 2009.** Isolation and functional characterization of hybride B1, a gene encoding a dehydration-responsive element binding in *Hordeum vulgare*. *J. of plant research*, **122**, 122-130.
- 404-Yang X.M. & Wander M.M., 1999.** Tillage effects on soil organic distribution and storage in a silt loam soil in Illinois. *Soil & Tillage Research*. **52** :1-9.
- 405-Yang J., Zhang J., Wang Z., Zhu Q. & Liu L., 2001.** Water deficit induced senescence and its relationship to the remobilization of pre-stored carbon in wheat during grain filling. *Agron. J*, **93**: 196-206.
- 406-Ykhlef N., 2002.** Photosynthèse, activité photochimique et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) Thèse de Doctorat d'Etat. Université Mentouri Constantine, 146 pp.
- 407-Yokota A., Takahara K & Akashi K., 2006.** Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. *Springer*. pp: 15-39.
- 408-Yoro G. & Godo G., 1990.** Les méthodes de mesure de la densité apparente. Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cah. Orstom, Sér. Pédol.*, **XXV**: 423-429.
- 409-Zadoks J.C., Chang T.T. & Konzak C.F., 1974.** A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Res.* **14**: 415-42.
- 410-Zahadi M, & Jenner C.F., 2003.** Analyse of effects in wheat of high temperature on grain filling attributes estimated from mathematical models of grain filling. *J. Agric. Sci*, **141** :203-212.
- 411-Zaghoulane O., Abdellaoui Z. & Houassine D., 2006.** Quelles perspectives pour l'agriculture de conservation dans les zones céréalières en conditions algériennes ? Dans : Actes des troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct. Options Méditerranéennes, **69** : 183-187.
- 412-Zhang J., Nguyen H.T., Blum A., 1999.** Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *J. Exp. Bot*, **50**: 291-302.

Annexes

Annexe I : Analyse de la Variance des variables liées au sol

I.1.Humidité du sol

-Humidité du sol mesurée au stade montaison: Horizon H1

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Variable	1	6.42735000	6.42735000	29.48	0.0056
Residual	4	0.87220000	0.21805000		
Total	5	7.29955000			

-Humidité du sol mesurée au stade montaison: Horizon H2

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Variable	1	3.31526667	3.31526667	36.17	0.0038
Residual	4	0.36666667	0.09166667		
Total	5	3.68193333			

-Humidité du sol mesurée au stade montaison: Horizon H3

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Variable	1	5.11526667	5.11526667	11.36	0.0280
Residual	4	1.80106667	0.45026667		
Total	5	6.91633333			

-Humidité du sol mesurée au stade fin épiaison : Horizon H1

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Variable	1	23.80041667	23.80041667	180.83	0.0002
Residual	4	0.52646667	0.13161667		
Total	5	24.32688333			

-Humidité du sol mesurée au stade fin épiaison : Horizon H2

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Variable	1	21.09375000	21.09375000	131.52	0.0003
Residual	4	0.64153333	0.16038333		
Total	5	21.73528333			

-Humidité du sol mesurée au stade fin épiaison : Horizon H3

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Variable	1	4.89606667	4.89606667	29.72	0.0055
Residual	4	0.65893333	0.16473333		
Total	5	5.55500000			

I.2.Perméabilité du sol

-Perméabilité du sol mesurée au stade montaison

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Variable	1	24.80666667	24.80666667	22.83	0.0088
Residual	4	4.34666667	1.08666667		
Total	5	29.15333333			

-Perméabilité du sol mesurée au stade fin épiaison

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Variable	1	10.14000000	10.14000000	11.52	0.0274
Residual	4	3.52000000	0.88000000		
Total	5	13.66000000			

I.3. Densité apparente du sol

-Densité apparente (Da) du sol mesurée au stade montaison

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Variable	1	0.00666667	0.00666667	14.29	0.0194
Residual	4	0.00186667	0.00046667		
Total	5	0.00853333			

-Densité apparente (Da) du sol mesurée au stade fin épiaison

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Variable	1	0.00481667	0.00481667	11.56	0.0273
Residual	4	0.00166667	0.00041667		
Total	5	0.00648333			

Annexe II: Analyse de la variance des variables liées à la plante

-Nombre Plants levés/m²

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	2402,639	800,88	2,439	0,086 ^{ns}
Genotype	9	10371,615	1152,402	3,51	0,005 ^{**}
Residual	27	8864,888	328,329		
TOTAL	39	21639,142	554,85		

-Nombre de talles/m²

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	15150,275	5050,092	1,884	0,156 ^{ns}
Genotype	9	225938,033	25104,226	9,367	< 0,001 ^{***}
Residual	27	72363,002	2680,111		
Total	39	313451,309	8037,213		

-Nombre épis/m² (NE) des deux régimes (sec et irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	16413.49694	5471.16565	7.32	0.0003 ^{ns}
Genotype	9	75727.52750	8414.16972	11.26	<.0001 ^{***}
Irrigation	1	52071.01250	52071.01250	69.65	<.0001 ^{***}
Génotype x Irrigation	9	6112.63861	679.18207	0.91	0.5243 ^{ns}
Residual	57	42611.2897	747.5665		
Total	79	192935.9653			

-Nombre Grains/épi (NG) des deux régimes (sec et irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	36.899228	12.299743	2.01	0.1226 ^{ns}
Genotype	9	1059.392130	117.710237	19.24	<.0001 ^{***}
Irrigation	1	13.429784	13.429784	2.20	0.1439 ^{ns}
Génotype x Irrigation	9	47.506944	5.278549	0.86	0.5630 ^{ns}
Residual	57	348.671759	6.117048		
Total	79	1505.899846			

-Poids de Mille Grains (PMG) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	3.129900	1.043300	0.39	0.7613 ^{ns}
Genotype	9	1345.274560	149.474951	55.74	<.0001***
Irrigation	1	10.820836	10.820836	4.04	0.0493 ^{ns}
Génotype x Irrigation	9	61.733530	6.859281	2.56	0.0152 ^{ns}
Residual	57	152.844191	2.681477		
Total	79	1573.803017			

-Biomasse aérienne des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	1220.090667	406.696889	4.63	0.0058 ^{ns}
Genotype	9	4606.142837	511.793649	5.83	<.0001***
Irrigation	1	7065.616892	7065.616892	80.43	<.0001***
Génotype x Irrigation	9	1171.840832	130.204537	1.48	0.1767 ^{ns}
Residual	57	5007.15746	87.88487		
Total	79	19070.84869			

-Rendement Grains des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	441.066177	147.022059	3.43	0.0230 ^{ns}
Genotype	9	1359.744983	151.082776	3.52	0.0016 ^{ns}
Irrigation	1	1379.995548	1379.995548	32.16	<.0001***
Génotype x Irrigation	9	646.627787	71.847532	1.67	0.1166 ^{ns}
Residual	57	2445.720866	42.907384		
Total	79	6273.155360			

-Indice de récolte (HI) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	75.283834	25.094611	0.85	0.4737 ^{ns}
Genotype	9	3899.268114	433.252013	14.63	<.0001***
Irrigation	1	5.868520	5.868520	0.20	0.6579 ^{ns}
Génotype x Irrigation	9	489.840560	54.426729	1.84	0.0809 ^{ns}
Residual	57	1687.781074	29.610194		
Total	79	6158.042103			

-Indice de tolérance à la sécheresse GMP (Geometric Mean Productivity)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	185.6817127	61.8939042	3.26	0.0369 ^{ns}
Genotype	9	669.8128655	74.4236517	3.92	0.0028 ^{ns}
Residual	27	512.856187	18.994674		
Total	39	1368.350765			

-Indice de tolérance à la sécheresse MP (Mean Productivity)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	220.5330884	73.5110295	3.65	0.0249 ^{ns}
Genotype	9	679.8724913	75.5413879	3.75	0.0036 ^{ns}
Residual	27	543.752822	20.138993		
Total	39	1444.158401			

-Indice de tolérance à la sécheresse STI (Stress Tolerance Index)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	0.13025804	0.04341935	2.95	0.0504 ^{ns}
Genotype	9	0.51832912	0.05759212	3.92	0.0028 ^{ns}
Residual	27	0.39691807	0.01470067		
Total	39	1.04550523			

-La Hauteur des plants (HT) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	266.24974	88.74991	11.61	<.0001***
Genotype	9	19055.64293	2117.29366	276.97	<.0001***
Irrigation	1	3391.88376	3391.88376	443.71	<.0001***
Génotype x Irrigation	9	571.11149	63.45683	8.30	<.0001***
Residual	57	435.72887	7.64437		
Total	79	23720.61680			

-Longueur de l'épi (LEP) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	1.76759889	0.58919963	1.00	0.4012 ^{ns}
Genotype	9	12.62436056	1.40270673	2.37	0.0236 ^{ns}
Irrigation	1	0.05618000	0.05618000	0.09	0.7590 ^{ns}
Génotype x Irrigation	9	5.34769500	0.59418833	1.00	0.4471 ^{ns}
Residual	57	33.71095667	0.59142029		
Total	79	53.50679111			

-Longueur des barbes (LBR) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	1.5251578	0.5083859	0.19	0.9016 ^{ns}
Genotype	9	224.6665439	24.9629493	9.41	<.0001***
Irrigation	1	29.6380089	29.6380089	11.18	0.0015 ^{ns}
Génotype x Irrigation	9	6.7108439	0.7456493	0.28	0.9773 ^{ns}
Residual	57	151.1514922	2.6517806		
Total	79	413.6920467			

-Longueur du col de l'épi (LCOL) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	5.5495757	1.8498586	0.55	0.6475 ^{ns}
Genotype	9	403.9927960	44.8880884	13.44	<.0001***
Irrigation	1	352.3521422	352.3521422	105.52	<.0001***
Génotype x Irrigation	9	154.3322146	17.1480238	5.14	<.0001***
Residual	57	190.325417	3.339042		
Total	79	1106.552145			

-Taux de matière sèche du col de l'épi (MSCOL) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	0.09458375	0.03152792	4.43	0.0072 ^{ns}
Genotype	9	0.79928625	0.08880958	12.49	<.0001***
Irrigation	1	0.30628125	0.30628125	43.06	<.0001***
Génotype x Irrigation	9	0.04625625	0.00513958	0.72	0.6862 ^{ns}
Residual	57	0.40544125	0.00711300		
Total	79	1.65184875			

-Poids spécifique de la feuille (PSF) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	0.00042632	0.00014211	3.19	0.0303 ^{ns}
Genotype	9	0.00201288	0.00022365	5.02	<.0001***
Irrigation	1	0.00700643	0.00700643	157.38	<.0001***
Génotype x Irrigation	9	0.00194983	0.00021665	4.87	<.0001***
Residual	57	0.00253753	0.0004452		
Total	79	0.01393299			

-Surface foliaire (SF) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	19.7087861	6.5695954	1.62	0.1951 ^{ns}
Genotype	9	758.2558877	84.2506542	20.76	<.0001***
Irrigation	1	196.1644270	196.1644270	48.33	<.0001***
Génotype x Irrigation	9	552.2510017	61.3612224	15.12	<.0001***
Residual	57	231.372156	4.059161		
Total	79	1757.752259			

-Teneur Relative en Eau (TRE) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	196.151332	65.383777	2.15	0.1044 ^{ns}
Genotype	9	1020.632613	113.403624	3.72	0.0010 ^{ns}
Irrigation	1	121.540577	121.540577	3.99	0.0506 ^{ns}
Génotype x Irrigation	9	398.487103	44.276345	1.45	0.1878 ^{ns}
Residual	57	1736.412941	30.463385		
Total	79	3473.224566			

-Teneur en Chlorophylle Totale (TC) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	38.6568904	12.8856301	2.21	0.0965 ^{ns}
Genotype	9	746.3369179	82.9263242	14.24	<.0001***
Irrigation	1	1.5134168	1.5134168	0.26	0.6122 ^{ns}
Génotype x Irrigation	9	48.5027235	5.3891915	0.93	0.5103 ^{ns}
Residual	57	331.937285	5.823461		
Total	79	1166.947233			

-Taux de déperdition de l'eau par les feuilles (LWL) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	0.00363849	0.00121283	0.84	0.4798 ^{ns}
Genotype	9	0.04090434	0.00454493	3.13	0.0039 ^{ns}
Irrigation	1	0.07012825	0.07012825	48.33	<.0001***
Génotype x Irrigation	9	0.05830100	0.00647789	4.46	0.0002 ^{ns}
Residual	57	0.08270992	0.00145105		
Total	79	0.25568201			

-Efficience de la Transpiration et Rendement grain (TE et RDT grain) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	5.9592050	1.9864017	0.88	0.4655 ^{ns}
Genotype	9	211.3540174	23.4837797	10.36	<.0001**
Residual	27	61.1934585	2.2664244		
Total	39	278.5066809			

-Coefficient de Variation : Efficience de la Transpiration (TE) et Rendement en grains (RDT) des deux régimes

Variable	Mean	Minimum	maximum	Coef of Variation
TE-RDT-Sec	16.2947355	10.9788752	20.4146468	16.3997863
TE-RDT-Irrig	16.3313295	9.9779531	21.7126824	178564257

-Transpiration et Biomasse aérienne (TE et BIOM) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	34.5541589	11.5180530	2.69	0.0665 ^{ns}
Genotype	9	148.5401543	16.5044616	3.85	0.0031 ^{ns}
Residual	27	115.8001436	4.2888942		
Total	39	298.8944568			

-Coefficient de Variation : Efficience de la Transpiration (TE) et Biomasse (BIOM) des deux régimes

Variable	Mean	Minimum	maximum	Coef of Variation
TE-RDT-Sec	28.5594815	22.2997867	32.4752763	9.6934039
TE-RDT-Irrig	29.6824403	23.8341255	37.4368687	12.2769297

-Efficience de la Transpiration, Rendement et Biomasse aérienne (TE, RDT grain et BIOM) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	27.2668665	9.0889555	3.34	0.0254 ^{ns}
Genotype	9	386.1447193	42.9049688	15.77	<.0001***
Irrigation	1	0.0267824	0.0267824	0.01	0.9213 ^{ns}
Génotype x Irrigation	9	41.7220304	4.6357812	1.70	0.1091 ^{ns}
Residual	57	155.0358549	2.7199273		
Total	79	610.1962535			

-Efficience de l'Utilisation de l'Eau et Rendement en grains (WUE et RDT) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	3.5089312	1.1696437	0.87	0.4666 ^{ns}
Genotype	9	105.0124622	11.6680514	8.72	<.0001***
Residual	57	36.1174400	1.3376830		
Total	79	144.6388334			

-Coefficient de Variation : Efficience de l'utilisation de l'eau et Rendement grains (WUE et RDT) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Variable	Mean	Minimum	maximum	Coef of Variation
WUE-RDT-Sec Kg-mm-ha	12.4611924	8.6736813	15.5209101	15.4543431
WUE-RDT-Irrig Kg-mm-ha	10.9536476	7.7439158	14.1627775	14.1339354

-Efficience de l'Utilisation de l'Eau et Biomasse (WUE et BIOM) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	20.05838286	6.68612762	2.66	0.0682 ^{ns}
Genotype	9	65.33020687	7.25891187	2.89	0.0158 ^{ns}
Residual	27	67.8437304	2.5127308		
Total	39	153.2323202			

-Coefficient de Variation : Efficience de l'utilisation de l'eau (WUE) et Biomasse (BIOM) des deux régimes

Variable	Mean	Minimum	maximum	Coef of Variation
EUE-RDT-Sec Kg-mm-Ha	21.8677861	16.9541501	24.6904025	9.0643792
EUE-RDT-Irrig Kg-mm-Ha	20.0264885	15.9775984	24.4193708	11.2005428

-Efficience de l'Utilisation de l'Eau, Rendement en Grains et Biomasse (WUE, GY et BIOM) des deux régimes (Sec et Irrigué)

Source of variation	DF	SS	MS	F	P
Bloc	3	13.2036155	4.4012052	3.19	0.0305^{ns}
Genotype	9	116.6915525	12.9657281	9.38	<.0001***
Irrigation	1	45.4538282	45.4538282	32.89	<.0001***
Génotype x Irrigation	9	29.4595259	3.2732807	0.37	0.0237^{ns}
Residual	57	78.7619079	1.3817879		
Total	79	283.5704300			

ANNEXE III : Matrice des corrélations des paramètres agronomiques, morphologiques et physiologiques étudiés
(Régime pluvial)

	NE/m ²	NG/E	NG/m ²	PMG	RDT	Biom	HI	LWL	TRE	TC	LC	LEP	LB	HT	SF	PSF	MP	STI	GMP
NE/m ²	1,00																		
NG/E	0,09	1,00																	
NG/m ²	0,81*	0,66	1,00																
PMG	-0,72*	-0,68	-0,95*	1,00															
RDT	0,79*	0,53	0,90*	-0,73*	1,00														
Biom	-0,70*	-0,13	-0,62	0,58	-0,57	1,00													
HI	0,69*	0,41	0,77*	-0,63	0,81*	-0,86*	1,00												
LWL	0,54	0,27	0,58	-0,73*	0,29	-0,72*	0,47	1,00											
TRE	0,14	0,20	0,23	-0,35	0,11	-0,63	0,38	0,72	1,00										
TC	0,87*	0,20	0,78*	-0,75*	0,70*	-0,88*	0,82*	0,69	0,43	1,00									
LC	-0,18	-0,03	-0,16	0,12	-0,13	0,10	-0,26	-0,24	0,04	-0,09	1,00								
LEP	-0,09	0,27	0,06	-0,14	0,02	0,12	-0,09	-0,05	0,13	-0,15	0,19	1,00							
LB	-0,55	0,02	-0,42	0,31	-0,49	0,88*	-0,79*	-0,47	-0,45	-0,74*	0,03	0,29	1,00						
HT	-0,73*	0,11	-0,50	0,33	-0,61	0,86*	-0,86*	-0,35	-0,26	-0,79*	0,23	0,17	0,86*	1,00					
SF	-0,11	-0,15	-0,14	-0,03	-0,40	0,04	-0,20	0,25	0,10	0,03	-0,19	-0,27	0,34	0,18	1,00				
PSF	-0,15	0,20	-0,02	0,09	0,11	0,53	-0,26	-0,42	-0,54	-0,37	-0,05	0,21	0,26	0,35	-0,68*	1,00			
MP	0,85*	0,28	0,82*	-0,74*	0,77*	-0,86*	0,84*	0,62	0,30	0,90*	-0,02	-0,15	-0,81*	-0,78*	-0,26	-0,15	1,00		
STI	0,86*	0,31	0,85*	-0,77*	0,79*	-0,84*	0,83*	0,61	0,27	0,90*	-0,03	-0,16	-0,78*	-0,75*	-0,24	-0,13	1,00*	1,00	
GMP	0,87*	0,29	0,84*	-0,76*	0,79*	-0,85*	0,83*	0,60	0,27	0,91*	-0,02	-0,15	-0,79*	-0,77*	-0,24	-0,15	1,00*	1,00*	1,00

ANNEXE IV: Matrice des corrélations des paramètres agronomiques, morphologiques et physiologiques (régime Irrigué)

	NE/m ²	NG/E	NG/m ²	PMG	RDT	Biom	HI	LWL	TRE	TC	LC	LEP	LB	HT	SF	PSF	MP	STI	GMP
NE/m ²	1,00																		
NG/E	0,18	1,00																	
NG/m ²	0,81*	0,68	1,00																
PMG	-0,50	-0,83	-0,86*	1,00															
RDT	0,90*	0,25	0,73*	-0,49	1,00														
Biom	-0,14	-0,37	-0,19	0,15	-0,17	1,00													
HI	0,78*	0,18	0,60	-0,21	0,78*	-0,42	1,00												
LWL	-0,71*	-0,01	-0,51	0,08	-0,64*	0,23	-0,89*	1,00											
TRE	0,62	0,35	0,74*	-0,69*	0,48	-0,08	0,38	-0,36	1,00										
TC	0,77*	0,27	0,65*	-0,48	0,65*	-0,41	0,70*	-0,42	0,58	1,00									
LC	-0,61	0,17	-0,29	0,03	-0,50	0,31	-0,76*	0,73	-0,29	-0,67*	1,00								
LEP	0,25	0,76	0,61	-0,68*	0,35	-0,15	0,12	-0,10	0,43	0,04	0,35	1,00							
LB	-0,65*	-0,22	-0,52	0,25	-0,65*	0,64	-0,88*	0,83	-0,32	-0,60	0,81	-0,08	1,00						
HT	-0,82*	-0,04	-0,59	0,21	-0,69*	0,30	-0,91*	0,93*	-0,49	-0,69*	0,88*	-0,04	0,86*	1,00					
SF	-0,76*	-0,07	-0,57	0,16	-0,70*	0,26	-0,93*	0,99	-0,42	-0,53	0,76	-0,15	0,84*	0,96*	1,00				
PSF	0,26	0,79	0,69*	-0,89*	0,16	-0,04	0,03	0,10	0,56	0,44	0,01	0,47	-0,05	-0,08	0,02	1,00			
MP	0,89*	0,50	0,86*	-0,64*	0,88*	-0,29	0,79*	-0,66	0,48	0,74*	-0,54	0,45	-0,71*	-0,76*	-0,73*	0,44	1,00		
STI	0,87*	0,53	0,87*	-0,67*	0,86*	-0,28	0,77*	-0,62	0,48	0,75*	-0,52	0,46	-0,68*	-0,73*	-0,70*	0,48	1,00*	1,00	
GMP	0,88*	0,51	0,87*	-0,65*	0,86*	-0,26	0,78*	-0,64	0,48	0,74*	-0,53	0,45	-0,69*	-0,75*	-0,72*	0,47	1,00*	1,00*	1,00

ANNEXE V : Corrélation Composante du rendement et efficience de l'utilisation de l'eau et de la transpiration en régime irrigué

V.1. En conditions irriguées

	NE/m ²	NG/E	NG/m ²	PMG	RDT	BIOM	HI
EUE RDT i	0,91*	0,23	0,73*	-0,46	1*	-0,17	0,82*
EUE BIOM i	-0,26	-0,38	-0,37	0,30	-0,07	0,77*	- 0,36
ET RDT i	0,93*	0,13	0,69*	-0,35	0,94*	-0,20	0,9*
ET BIOM i	0,43	-0,37	0,11	0,17	0,51	0,49	0,43

V.2. En Conditions pluviales

	NP/m ²	NG/E	NG/m ²	PMG	RDT	BIOM	HI
EUE RDT s	0,87*	0,13	0,74*	-0,56	0,86*	-0,83*	0,89*
EUE BIOM s	0,59	-0,54	0,11	0,02	0,3	-0,17	0,04
ET RDT s	-0,87*	0,1	0,72*	-0,54	0,84*	-0,84*	0,89*
ET BIOM s	0,66*	-0,53	0,18	-0,03	0,37	-0,33	0,19

Annexe VI : Corrélation entre la Sénescence et les paramètres Agronomiques, Morphologiques et Physiologiques

****VI.1- En conditions pluviales**

Variables	NE/m ²	NG/E	NG/m ²	PMG	RDT	BIOM	HI	LWL	TRE	TC	LC	LEP	LB	HT	SF	PSF	MP	STI	GMP
Sa %	0,74*	-0,05	0,52	-0,31	0,71*	-0,61	0,74*	0,08	-0,10	0,62	-0,20	0,02	-0,68*	-0,88*	-0,48	0,07	0,72*	0,71*	0,72*
Vs	-0,39	-0,19	-0,39	0,30	-0,50	0,61	-0,63*	-0,16	-0,34	-0,51	-0,31	-0,44	0,68*	0,63	0,60	-0,02	-0,61	-0,58	-0,59
50s	0,48	-0,07	0,31	-0,24	0,45	-0,72*	0,65*	0,28	0,50	0,70*	0,22	0,06	-0,80*	-0,76*	-0,34	-0,24	0,61	0,58	0,59
DH	-0,61	0,15	-0,36	0,26	-0,51	0,75	-0,69*	-0,33	-0,46	-0,77*	-0,01	0,07	0,81*	0,84*	0,26	0,27	-0,64*	-0,61	-0,63

****VI.2- En conditions Irriguées**

Variable	NE/m ²	NG/E	NG/m ²	PMG	RDT	BIOM	HI	LWL	TRE	TC	LC	LEP	LB	HT	SF	PSF	MP	STI	GMP
Sa %	0,72*	-0,19	0,38	-0,01	0,68*	-0,19	0,79*	-0,91*	0,33	0,40	-0,77*	0,03	-0,79*	-0,90*	-0,91*	-0,25	0,62	0,58	0,60
Vs	-0,60	-0,43	-0,66*	0,31	-0,54	0,34	-0,72*	0,81*	-0,24	-0,27	0,32	-0,48	0,68*	0,67*	0,79*	-0,12	-0,70*	-0,68*	-0,69*
Σ50s	0,64*	0,30	0,6	-0,19	0,50	-0,56	0,80*	-0,78*	0,31	0,53	-0,46	0,27	-0,73*	-0,74*	-0,78*	0,06	0,65*	0,63*	0,64*
DH	-0,73*	-0,06	-0,51	0,08	-0,55	0,54	-0,86*	0,82*	-0,36	-0,67*	0,68*	-0,04	0,79*	0,87*	0,84*	0,05	-0,64*	-0,61	-0,63*