

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

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



جامعة فرحات عباس، سطيف
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Département des Sciences Agronomiques

N°.../SNV/2015

MÉMOIRE

Présenté par:

FERRAS Kenza

Pour obtenir le diplôme de

MAGISTER EN AGRONOMIE

Spécialité: Génétique et Amélioration des Plantes

THÈME

L'efficience d'utilisation de l'eau pluviale chez des variétés de blé dur
(*Triticum durum* Desf.) en environnement semi-aride

Soutenu publiquement le 10 / 09/2015

DEVANT LE JURY

Président:	BOUZERZOUR H.	Prof.	UFA Sétif1
Rapporteuse:	CHENNAFI H.	Prof.	UFA Sétif1
Examineur:	BENMAHAMMED A.	Prof.	UFA Sétif1
Examineur:	MEBARKIA A.	MCA	UFA Sétif1

Laboratoire de CNCC de Sétif

Rainwater use efficiency for durum wheat varieties (*Triticum durum* Desf.) under semi-arid environment

Abstract

The experiment was conducted at the Agricultural Experimental Station of the Technical Institute of field Crop (TIFC, Sétif) during the crop year 2013/2014. The objectif of the investigation is to test ten genotypes of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) for their reponse for the rainwater use efficiency (RWUE). In fact, the RWUE is function of the interference agropédoclimatiques parameters. The results reveal that Megress is considered an efficient genotype with $12.1 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$. However, Djenah Khetaifa with $5.6 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ appears the least efficient. The RWUE is a key explanatory tool of genotype performance.

Keywords

rainwater use efficiency, reponse, genotype, performance

L'efficience d'utilisation de l'eau pluviale chez des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en environnement semi-aride

Résumé

L'expérimentation a été réalisée au niveau de la station expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC, Sétif) durant la campagne agricole 2013/2014. L'investigation a pour objectif de tester dix génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) pour leur comportement à l'efficience d'utilisation de l'eau pluviale. En effet, l'EUE est fonction de l'interférence des paramètres agropédoclimatiques. Les résultats obtenus révèlent que le génotype Megress se montre plus valorisant pour l'eau avec $12.1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Par contre Djenah Khetaifa avec $5.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ apparaît le moins efficient. L'EUE représente un outil explicatif déterminant de la performance génotype.

Mots-clés:

Efficience d'utilisation de l'eau pluviale, comportement, génotype, performance

فعالية استغلال مياه الامطار لأصناف من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) في مناخ شبه جاف

ملخص

أجريت هذه التجربة في محطة التجارب الزراعية التابعة للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى بسطيف خلال الموسم الزراعي 2013/ 2014. بهدف اختبار سلوكيات عشرة أصناف من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) لفعالية استغلال مياه الأمطار. وتدخل فعالية استغلال المياه كمؤشر للعوامل الزراعية الترايية والمناخية. أشارت النتائج أن الصنف مغرس أكثر فعالية للمياه مع 12.1 كغ هكتار⁻¹ مم⁻¹ على عكس الصنف جناح الخطيفة الذي يظهر بأقل فعالية ب 5.6 كغ هكتار⁻¹ مم⁻¹. تمثل فعالية استغلال المياه الأداة التوضيحية لفعالية الصنف.

الكلمات المفتاحية

فعالية استغلال مياه الامطار ، الاستجابة، النمط الوراثي ، الفعالية.

Remerciements

El hamdou LILAH el athi hadana lihatha oua ma qouna linahtadi loula an hadana ELLAH.
*J'aimerais d'abord exprimer ma gratitude à mon encadreur **Pr. CHENNAFI Houria** pour avoir accepté de bon gré de participer à cette thèse, ainsi que pour ses efforts fournis, pour ses conseils judicieux prodigués et pour sa patience et sa persévérance dans mon suivi, malgré ses charges intenses.*

*Mes profonds remerciements vont au président de jury **Pr. BOUZARZOUR H** de l'Université Ferhat ABBAS, Sétif-1, qui nous a fait l'honneur de présider le jury.*

*Aux membres du jury le **Pr. BENMAHAMMED A.** et le **MCA. MEBARKIA A.**, qui m'ont fait l'honneur de participer et de juger ma thèse malgré leurs plans de charge.*

Je tiens à remercier également tous mes enseignants du magister.

*Je remercie tous mes collègues de magistère **Younes Bekrar, Yamina Abdi, Lydia El hadef el okki, Zouina Khabbat, Saliha Rahmani, Khadija Allali et Selmi Manel.***

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

*J'adresse également mes reconnaissances aux enseignant(e)s qui m'ont donné les bases de la recherche scientifique et sans oublier **Mr SOUALILI et BELGHAMAZ** . Et un grand remerciement aux six Ingénieur(e)s **PAV**, pour leur soutien et leur aide pendant ce travail.*

*Je souhaite remercier chaleureusement les membres du **CNCC** représentée par le maître **HADJ SAHRAOUT Abdelkrim** et son équipe : pour m'avoir encouragé, et soutenu durant l'élaboration de ce travail.*

Sans oublier tous les membres de ma très chère grande famille chacun par son nom, pour leur aide et leur soutien moral.

En fin, je remercie tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail. Et même s'ils ne se retrouvent pas dans cette petite liste, ils sont dans mes pensées.

FERRAS Kenza



Sommaire

Résumé

Remerciements

Dédicace

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction

Chapitre I- Synthèse bibliographique

1. La variation de la production du blé dans le monde	2
2. Dans le monde	2
2.1. En Algérie	3
2.1.1 La céréaliculture en Algérie	4
2.1.2. La Variation de la production céréalière	5
2.1.3. La variation du rendement	6
3. Les exigences de la culture du blé	7
3.1. La température	7
3.2. L'éclairement	8
3.3. Le Sol et L'Eau	8
3.4. La Fertilisation et L'Entretien	9
4. Les contraintes à la production du blé.....	9
5. L'efficacité d'utilisation de l'eau	10
5.1. L'eau utilisée au cours du cycle de la plante.....	11
5.2. Besoins en eau du blé	12
5.3. L'efficacité d'utilisation de l'eau effective.....	13
6. Les paramètres valorisant l'EUE	14
6.1. Les caractères morphologiques	14
6.2. Les caractères physiologiques	14
6.3. Les conditions liées au sol pour la préservation de l'eau	15
6.4. L'intérêt lié au système de culture	15
7. Synthèse pour l'EUE.....	16

Chapitre II - Matériel et Méthodes

1. La Description du site expérimental.....	18
2. La mise en place et la conduite de la culture	19
2.1. Le matériel végétal utilisé	19
2.2. La mise en place de l'expérimentation.....	19
3. Les mesures et les notations effectuées.....	22
3.1. Les paramètres liés au sol	22
3.2. L'humidité du sol (%)......	22
3.3. La Densité apparente	23
3.4. Le pH du sol	23
3.5. La conductivité électrique du sol	23
3.6. Calcaire total	24
3.7. La teneur en matière organique (carbone organique)	24
4. Caractères phénologiques et morphologiques des génotypes.....	24
4.1. La date de levée, épiaison et maturité.....	24
4.2. La hauteur des tiges à maturité (HP).....	25
4.3. La matière sèche (MS).....	25
5. Caractères physiologiques	25
5.1. Teneur en chlorophylle	25
5.2. La température de la canopée (T°).....	26
5.3. La Teneur relative en eau (TRE)	26
5.4. L'intégrité cellulaire	27
5.5. La surface foliaire.....	28
5.6. Le Remplissage du grain	29
6. Les Caractères de production	29
6.1. Le nombre de plants par mètre carré (NP/m ²)	30
6.3. Les composantes de rendement	30
6.4. Le rendement biologique (biomasse à maturité Rdtb)	30

6.5. Le rendement en grains (Rdtg)	30
6.6. Le rendement paille (Rdtpll)	30
6.7. L'indice de récolte (IR)	30
7. L'Efficiéce d'utilisation de l'eau	31
7.1. L'efficiéce d'utilisation de la productivité des génotypes.....	31
7.2. L'estimation de la quantité d'eau utilisée au cours du cycle stimation de la quantité d'eau utilisée au cours du cycle.....	31
8. La caractérisation climatique.....	31
9. Les Analyses statistiques des données	31

Chapitre III - Résultats et discussion

1. Les éléments liés au climat.....	33
1.1. La température et les précipitations.....	33
1.2. L'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration de la culture	35
1.3. Les précipitations effectives décadaires.....	36
2. La description analytique du sol.....	37
2.1. Les éléments liés à la physique du sol	37
2.2. Les caractéristiques physico- chimiques du sol	37
3. La cinétique d'accomplissement des stades phénologiques des génotypes	39
3.1. La levée et le tallage	39
3.2. L'épiaison et la floraison.....	40
3.2. La durée du cycle des génotypes	42
3. 4. Les paramètres physiologiques des variétés.....	42
3.1. La teneur en chlorophylle (TC, SPAD)	42
3.2. La température de la canopée	44
3.3. La Teneur relative en eau	45
3.4. L'indice d'intégrité cellulaire (IC, %)	47

4.5. L'évolution du remplissage du grain de l'épi.....	49
5. Les caractères morphologiques.....	51
5.1. La hauteur de la plante	51
5.2. La Surface foliaire	52
5.3. La cinétique d'accumulation de la matière sèche produite par la culture	56
5. L'élaboration du rendement	58
6.1. Les composantes du rendement.....	58
6.2. Le Rendement en grain, la biomasse aérienne et rendement paille.....	59
6.3. L'Indice de récolte	61
7. Les composantes du continuum sol plante-atmosphère	62
7.1. L'évolution de l'humidité du sol au cours du cycle de la culture.....	62
7.2. La synthèse du bilan hydrique pour l'eau au cours du cycle des variétés.....	67
7.3. La réponse des génotypes à l'efficience d'utilisation de l'eau	67
8. Les liaisons inter-caractères de productivité des génotypes et le bilan hydrique.....	72
8.1. La corrélations entre les composantes mesurées	72
8.2. La variabilité du rendement et de l'efficience d'utilisation de l'eau	74
9. La Typologie variétale en fonction des caractères mesurés	75
9.1. Analyse en composantes principales.....	76
9.1.1. La structure des variables mesurées.....	76
9.1.2. La répartition des groupes de génotypes	77
9.1.3. La structuration des groupes de génotypes avec les variables mesurées.....	78
9.2. Le regroupement des génotypes par Cluster.....	80

Conclusion Générale

Références bibliographiques

Résumés

Liste des abréviations

A	Assimilation du CO ₂
ACP	Analyse en composantes principales
Bouss	Bousselam
%	Pour cent
°C	Degré Celsius
CE	conductivité électrique
cm	Centimètre
cm²	Centimètre carré
cm³	Centimètre cube
Cnis	Centre national de l'informatique et des statistiques
CIC	Conseil International des Céréales
CIMMYT	Centre Internationale d'Amélioration du maïs et du blé du Mexique
CV	Coefficient de variation
Da	Densité apparente
Ddl	Degré de liberté
D Khout	DjenahKhetaifa
Es	Evaporation sol
ET_c	d'évapotranspiration culturale
ET₀	Evapotranspiration de référence
EUE	Efficiencie d'utilisation de l'eau
EUE_{Grain}	Efficiencie d'utilisation de l'eau du grain
EUE_{Biomasse}	Efficiencie d'utilisation de l'eau de la biomasse
EUE_{pll}	Efficiencie d'utilisation de l'eau de la biomasse
EEUE	Efficiencie effective d'utilisation de l'eau

ETP	l'évapotranspiration potentielle
DHC	Déficit hydrique climatique
ETM	Evapotranspiration maximal
ETR	Evapotranspiration réel
FAO	Food and Agriculture Organisation
g	Gramme
g/m²	Gramme par mètre carré
G/dur	Gta/dur
G Rkham	GuemgoumRkhem
h	Heure
ha	Hectare
hab	Habitant
HPS	Hautes plaines sétifiennes
Hedb	Hedba
IR	Indice de récolte
H_p %	Humidité pondérale
HT	Hauteur
INRA	Institut national de la recherche agronomique
ITGC	Institut technique des grandes cultures
JAS	Jour après semis
Kc	coefficient cultural
kg	Kilogramme
L	Longueur
l	Largeur

m	Mètre
mg	Milligramme
mm	Millimètre
mn	Minute
m²	Mètre carré
m³	Mètre cube
MAP	Mono ammonium phosphate
MBB	Mohamed ben bachir
Megrs	Megress
MO	Matière organique
NE/m²	Nombre d'épi/m ²
NGE	Nombre de grains / épi
NGM²	Nombre de grains au m ²
P	Poids
PF	Poids frais
Ppds	La plus petite différence significative
PS	Poids sec
PSF	poids spécifique foliaire
PMG	Poids de mille grains
PT	Poids turgide
Q	Quantité
RDT	Rendement en grain
RDT pll	Rendement en paille
SF	Surface foliaire

Simet	Simeto
T	Transpiration
TRE	Teneur relative en eau
Ta	Transpiration actuelle
V	Volume
WUE	Water use efficiency
Wah	Waha

Liste des tableaux

Tableau 1. Les principaux producteurs de blé (10 ⁶ tonnes).....	3
Tableau 2. Evolution de la production (quintaux) des céréales en Algérie au cours de la période 2000/01 à 2011/12)	6
Tableau 3. La superficie moissonnée, production et rendement en blé dur (DSA, 2013).....	7
Tableau 4. Caractéristiques des variétés étudiées (Zeghouane et Boufnar, 2006).....	20
Tableau 5. Les caractéristiques analytiques du sol.....	38
Tableau 6. Carré moyen des écarts de l'analyse de la variance de la Chlorophylle.....	42
Tableau 7. Carré moyen des écarts de l'analyse de la variance de la Température.....	44
Tableau 8. CME de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau.....	46
Tableau 9. Carrés moyens de l'analyse de la variance de l'indice de l'intégrité cellulaire (IC)	48
Tableau 10. Carré moyen de l'analyse de la variance de remplissage du grain des variétés..	49
Tableau 11. Carré moyen de l'analyse de la variance de la hauteur de la plante	51
Tableau 12. Carré moyen des écarts (CME) de l'analyse de la variance de la surface foliaire	53
Tableau 13. Carré moyen de l'analyse de la variance de la matière sèche	56
Tableau 14. Carrés moyens des écarts de l'analyse de variance pour le rendement et de ses composantes.....	59
Tableau 15. Table d'analyse de la variance du taux d'humidité (%) contenue dans le sol.....	63
Tableau 16. Carré moyen de l'analyse de la variance pour les composantes de l'EUE.....	68
Tableau 17. Coefficients de corrélation pour la productivité des génotypes et le bilan hydrique.....	73

Liste des figures

Figure 1. Evolution de la production, l'importation et de la consommation en blé (MT) (CIC, 2014).....	4
Figure 2. Échelle d'étude de l'efficience d'utilisation de l'eau (Tambussi <i>et al.</i> , 2007).....	11
Photo 1. Situation géographique du site expérimental (Google earth ,2014).....	18
Figure 3. Schéma du dispositif expérimental.....	21
Figure 4. La mesure de l'humidité	22
Figure 5. La mesure avec le pH mètre	23
Figure 6. Le conductimètre (LF 583).....	23
Figure 7. La mesure de chlorophylle par le SPAD (CCM-200 plus).....	25
Figure 8. La mesure de la température de la canopée	26
Figure 9. Les étapes de mesure de la Teneur Relative en Eau	27
Figure 10. Les étapes de mesure de l'Intégrité cellulaire	28
Figure 11. Les étapes de pesée des grains au cours du remplissage des grains	27
Figure 12. Variation moyenne décadaire des températures maximale, minimale et moyenne et précipitations. Campagne agricole 2013/2014.....	34
Figure 13. Valeurs décadaires de l'ETo (mm) estimée par Cropwat	35
Figure 14. Valeurs décadaires de l'ETo (mm) et de l'ETC estimée par Cropwat	36
Figure 15. Variation de la précocité à la levée chez les génotypes testés	35
Figure 16. Variation de la précocité au tallage chez les génotypes testés	39
Figure 17. Variation de la précocité à l'épiaison chez les génotypes testés	41
Figure 18. Variation de la précocité à la floraison chez les génotypes testés	41
Figure 19. Durée du cycle végétatif des génotypes	42
Figure 20. Variation de la teneur en chlorophylle chez les variétés	43
Figure 21. Température moyenne de la canopée chez les variétés étudiées	44
Figure 22. La teneur relative en eau (TRE,%) mesurée chez les variétés étudiés	46
Figure 23. Variation de la TRE chez les variétés en fonction des dates	47
Figure 24. Variation de l'intégrité cellulaire mesurée chez les variétés	48

Figure 25. Variation du poids de l'épi chez les géotypes testés	49
Figure 26. Cinétique du poids de mille grains de l'épi en fonction de l'évolution des stades végétatifs (NJAS).....	50
Figure 27. Cinétique du remplissage de milles grains chez les géotypes en fonction de l'évolution des stades végétatifs(NJAS).....	51
Figure 28. La hauteur de la tige chez les variétés	49
Figure 29. Variation génotypique moyenne de la surface foliaire	50
Figure 30. Variation de la surface foliaire en fonction du NJAS	54
Figure 31. Variation surface foliaire sous l'effet de l'interaction géotypes x dates	55
Figure 32. Quantité de matière sèche produite selon la variété	56
Figure 33. Evolution de la matière sèche en fonction du NJAS	57
Figure 34. Interaction géotypes x dates pour la matière sèche	58
Figure 35. Gains relatifs (%) réalisés sur les composantes de rendement par le cultivar performant relativement aux autres	59
Figure 36. Gains relatifs (%) réalisés des géotypes productifs	61
Figure 37. L'indice de récolte chez les géotypes testés	62
Figure 38. Variation de l'humidité en fonction de l'évolution du NJAS	63
Figure 39. Variation de l'humidité de la profondeur du sol en fonction du NJAS	64
Figure 40. Humidité du sol disponible pour les variétés du semis au 132JAS	61
Figure 41. Humidité du sol disponible pour les variétés du 132JAS au 190JAS	62
Figure 42. Humidité du sol disponible pour les variétés du semis au 190JAS	66
Figure 43. Variation de l'humidité moyenne (%) en fonction des profondeurs	66
Figure 44. Variation de la quantité d'eau évaporée du sol, transpirée et évapotranspirée (A, B).....	69
Figure 45. L'EUE (A, B) pour le RDT, la BIO et la Paille chez les géotypes	66
Figure 46. L'efficacité effective de l'utilisation de l'eau (A, B) pour le RDT et la Paille.	71
Figure 47. Répartition des variables mesurées sur les axes principaux	76

Figure 48. Groupage des génotypes sur le plan formé par les axes	78
Figure 49. Structuration des génotypes et des variables à travers les deux axes	79
Figure 50. Valeurs relatives moyennes des variables mesurées chez les deux groupes	81
Figure 51. Dendrogramme de classification hiérarchique pour le groupage des variétés évaluées selon le degré de similitude basé sur les valeurs moyennes des variables mesurées	81

Introduction

Synthèse bibliographique

Introduction

Le secteur agricole est confronté aux conséquences de la compétition des secteurs économiques sur la ressource en eau et en sol. En effet, les contraintes résultent de l'extension de la persistance de sévères sécheresses à la fois en durée et en intensité (Smith, 2000 ; Rijsberman, 2004). Ainsi, la gestion de la ressource hydrique en agriculture attire plus d'attention sous l'effet des risques des scénarios liés au changement climatique. Toutefois, l'équilibre naturel des écosystèmes régule la continuité et l'efficacité des effets des systèmes de production en agriculture. Ainsi, le matériel végétal, les pratiques culturales et les conditions environnementales interagissent pour déterminer le rendement d'une culture et sa stabilité (Hannachi et Fellahi, 2010 ; Belagrouz, 2013). Toutefois, l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la disponibilité en éléments nutritifs sont les plus déterminants de la production des cultures (Kirda *et al.*, 1998). Cependant, le manque d'eau reste le plus pénalisant de la production (Royo *et al.*, 1998 ; Chennafi *et al.*, 2006). En effet Gény *et al.*, (1992) nous enseignent le principe de la nécessité de la considérer comme une ressource rare même en milieu équatorial.

Ainsi, la sélection des cultivars pour la tolérance à la sécheresse est fondamentale pour réduire les effets du manque d'eau. Pour assurer une meilleure productivité des cultures, Blum (1993) mentionne l'importance des caractères agronomiques et l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE). Kirda *et al.*, (1998) révèlent l'intérêt des mesures urgentes de l'augmentation de l'efficacité d'utilisation d'eau pour améliorer la production. En effet, la valorisation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau des cultivars à potentiel élevé de croissance et de rendement en conditions de stress hydrique revêt un intérêt croissant (Boyer, 1996 ; Ehdaie, 1995). En revanche, l'efficacité d'utilisation de l'eau reste parmi les stratégies les plus appropriées pour faire face aux intermittences de sécheresse en condition de cultures pluviales. Divers travaux ont montré que la sélection sur la base de l'efficacité de l'utilisation de l'eau a conduit à une augmentation et une stabilité du rendement (Wright *et al.*, 1994 ; Condon *et al.*, 2002 ; Rebetzke *et al.*, 2002). La performance pour la productivité des cultures recommande des cultivars utilisant efficacement l'eau disponible. En effet, C'est par le biais de la sélection de cultivars valorisant l'eau que la production végétale est appréciable (Li et Yu, 2007). Les objectifs en zones déficitaires en eau sont axés sur la maximisation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau du sol (Krishnamurthy *et al.*, 2007) et donc l'augmentation de la productivité des cultures. C'est dans cette réflexion que s'insère cette investigation dont l'objectif est de déterminer le comportement de dix géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) à l'efficacité d'utilisation de l'eau pluviale.

Chapitre I. Synthèse bibliographique

1. La variation de la production du blé dans le monde

1.1. Dans le monde

La consommation totale du blé est stable et est maintenu à 688 millions de tonnes en 2014 du fait d'une consommation de 2 % que connaît l'utilisation à des fins d'alimentation animale, à laquelle s'ajoute l'offre abondante de céréales secondaires affichant des prix plus compétitifs, vient contrebalancer la hausse de 1,4 % de l'utilisation à des fins d'alimentation humaine (FAO, 2013). Les stocks de blé sont de 180 millions de tonnes en 2014, soit une hausse de 14 pour cent (22 millions de tonnes) par rapport à l'année 2013. Le blé est la céréale la plus cultivée au monde (FAO, 2013). Confronté aux conséquences du risque lié au changement climatique associé à une population mondiale estimée à 9 milliards pour l'année 2050, le niveau de production actuel ne suffira pas pour répondre à la demande future (FAOSTAT, 2013).

L'Union Européenne est le premier producteur mondial du blé. La production provient essentiellement d'Italie, d'Espagne, de France et de Grèce. La Chine continentale vient en deuxième position, suivie de l'Inde, des Etats-Unis, de la Russie, du Canada, d'Australie et des pays d'Asie (Pakistan, Ukraine, Turquie, Kazakhstan Iran et Ouzkistan), plus l'Egypte et l'argentine (Tab.1).

Tableau 1. Les principaux producteurs de blé (10⁶ tonnes) (FAOSTAT, 2013)

Moy. Ann	2008/10	2009	2010	2011	2012	2013	2011/ 13	2014	Variation ((%) 2013/ 2014
UE	141,8	138,5	136,5	142,0	132,6	142,5	137,6	145,0	1,8
Chine continentale	114,2	115,1	115,1	113,0	120,5	120,6	120,1	121,3	0,5
Inde	80,0	80,7	80,8	81,5	94,9	88,43	91,8	92,3	2,2
Etat -Unis	62,8	60,4	60,1	56,6	61,7	59,6	58,0	57,5	3,5
Russie	55,7	61,7	41,5	55,0	37,7	54,3	48,7	55,9	-4,0
Canada	26,2	26,8	23,2	25,0	27,2	28,5	30,0	28,6	-20,4
Australie	23,2	21,9	26,3	24,0	22,0	23,1	26,5	24,9	-5,6
Pakistan	22,8	24,0	23,3	24,0	24,0	25,1	24,3	25,0	-1,8
Ukraine	20,7	20,8	17,8	21,0	15,8	18,4	19,9	18,7	-11,6
Turquie	19,3	20,6	19,5	19,8	20,1	20,2	21,3	20,5	-10,5
Kazakhstan	14,3	17,0	10,0	15,6	10,3	17,09	16,3	18,0	-8,0
Iran	12,4	13,0	14,5	13,2	13,8	14,12	13,8	13,8	-1,4
Argentine	10,4	8,8	14,0	13,5	13,7	11,49	10,6	13,6	3,3
Egypte	8,3	8,5	8,5	8,6	8,7	8,93	8,7	9,2	0,0
Ouzbékistan	6,5	6,5	6,7	6,6	6,7	6,9	6,6	6,5	-5,5
Total mondial	674,4	685,5	655,9	698,7	660,4	716,2	692,6	704,0	-1,7

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) reste traditionnellement cultivé dans les régions qui se caractérisent par une pluviométrie limitée et de ce fait, cette espèce est considérée tolérante à la sécheresse (Araus *et al.*, 2008). Toutefois, le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est considéré exigeant en eau et au cours de tout son cycle végétatif (Chennafi *et al.*, 2006).

2. En Algérie

2.1. La céréaliculture en Algérie

La céréaliculture est la spéculation prédominante de l'agriculture algérienne. Elle s'étend sur environ trois millions d'hectares dans un système biennal dominant jachère-céréale (Laala *et al.*, 2006). La production du blé engendre des déficits de 70 % relativement aux besoins et se distingue par des variations interannuelles marquées (FAO, 2014). En effet, pour combler le déficit de la production du blé et assurer les besoins de la population, l'Algérie importe de grandes quantités de blé. L'évolution moyenne de la production du blé, de l'importation et de la consommation au cours de ces onze dernières années est de l'ordre de 2,8MT, 5,7MT et de 8,3MT respectivement (CIC, 2014). L'évolution est illustrée en figure 1. Pour répondre aux besoins d'une population en croissance, le pays importe de grandes quantités de blé et figure parmi les grands importateurs mondiaux de blé. Les importations représentent plus du double

de la production nationale (Fig.1). La faiblesse de la performance de la céréaliculture algérienne reste liée à diverses contraintes et le manque d'eau est le principal facteur pénalisant la production (Chennafi *et al.*, 2006). Les contraintes de la production céréalière sont le non-respect de l'application de l'itinéraire technique associée à l'utilisation de variétés non performantes et à la mauvaise gestion des pratiques culturales (Bahlouli *et al.*, 2005 ; Chennafi *et al.*, 2012 ; Belagrouz, 2013).

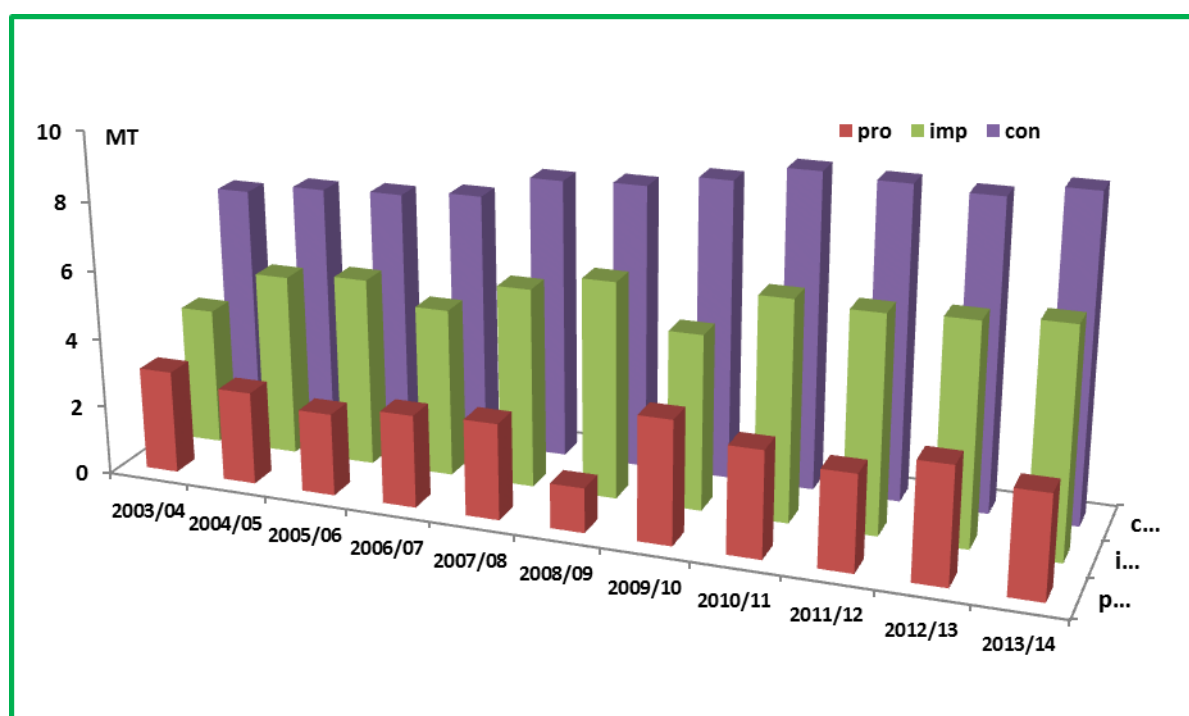


Figure1. Evolution de la production, de l'importation et de la consommation en blé (MT) (CIC, 2014)

2.1.1. Les besoins de la population

L'augmentation de la consommation de blé à travers le monde est la conséquence de la croissance démographique, de l'urbanisation et du revenu par habitant. La croissance démographique en Algérie était à un moment donné parmi la plus élevée au monde et où le nombre d'habitants a septuplé en l'espace d'un siècle. En effet, en 1901 le nombre d'habitants était de $48 \cdot 10^5$; en 2013 il est passé à $380 \cdot 10^5$ habitants (ONS, 2013). La tendance de la facture alimentaire est ascendante pour satisfaire l'évolution démographique. L'augmentation de la consommation de blé est liée à sa ressource alimentaire pour l'homme, par ses apports en glucides et en protéines.

L'Algérie est le second importateur de céréales dans le pourtour méditerranéen et en Afrique, après l'Égypte. L'Algérie n'est pas près de réduire son recours au marché international pour satisfaire le besoin national, estimés à 8 millions de tonnes par an (FAOSTAT, 2013).

2.1.2. La variation de la production céréalière

La production des céréales en Algérie présente une caractéristique fondamentale depuis l'indépendance à travers l'extrême variabilité du volume des récoltes. Cette particularité témoigne d'une insuffisante maîtrise de cette culture et de l'indice des aléas climatiques. La culture du blé est conduite en extensif et elle est essentiellement pluvial (Tab. 2).

La production céréalière nationale ne cesse d'augmenter depuis 2009 passant d'une moyenne de 31 millions de quintaux lors de la période 2001-2008 à 51,3 millions de quintaux de 2009 à 2012, alors que les besoins nationaux en matière de céréales sont estimés à 80 millions de quintaux/an, ce qui classe l'Algérie comme l'un des plus importants pays importateurs de céréales (FAO, 2013).

Tableau 2. Evolution de la production des blés en Algérie. 2000/2012 (FAOSTAT, 2013).

Campagnes	Superficie (ha)		Production (q)		RDT (q.ha ⁻¹)	
	Blé dur	Blé tendre	Blé dur	Blé tendre	Blé dur	Blé tendre
2000/2001	1 112 180	724 230	12 388 600	8 003 480	11,14	11,05
2001/2002	1 350 740	813 770	9 509 670	5 508 360	7,04	6,77
2002/2003	1 321 580	812 510	18 023 930	11 625 590	13,64	14,31
2003/2004	1 372 495	808 750	20 017 000	7 290 000	14,58	9,01
2004/2005	1 042 894	560 850	15 687 090	8 460 180	15,04	15,08
2005/2006	1 162 880	620 945	17 728 000	9 151 300	15,24	14,74
2006/2007	1 187 620	632 257	15 289 980	7 899 640	12,87	12,49
2007/2008	726 105	280 466	9 350 000	3 437 000	12,88	12,25
2008/2009	1 262 842	585 733	20 010 370	9 520 790	15,85	16,25
2009/2010	1 181 774	573 954	18 089 730	7 962 040	15,31	13,87
2010/2011	1 230 414	442 017	19 274 740	6 274 520	15,67	14,20
2011/2012	1 205 576	623 852	18 324 750	9 856 860	15,20	15,80
Moyenne	1169418	623277,83	16141155	1169418	1169418	12,99

2.1.3. La variation du rendement

A Sétif, le blé dur (*Triticum durum* Desf.) occupe une superficie de 106 378 ha (DSA, 2013). Le rendement en grains est irrégulier, le meilleur rendement est celui réalisé au cours de la campagne agricole 2003/2004 avec 23,08q.ha⁻¹ et le plus faible est de 7,0 q.ha⁻¹ obtenu au cours de la campagne agricole 1999/2000 (DSA, 2013). L'évolution de la production, des superficies et du rendement de blé dur (*Triticum durum* Desf.) de 1998 à 2013 sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3 : La superficie moissonnée, production et rendement en blé dur (DSA, 2013).

Campagnes agricoles	Superficie moissonnée (ha)	Production (q)	Rendement (q.ha ⁻¹)
1998 – 1999	39 350	335 800	8,6
1999 – 2000	36 844	257 170	6,9
2000 – 2001	65 347	612 148	9,4
2001 – 2002	22 326	161 400	7,2
2002 – 2003	76 560	1 171 669	15,3
2003 – 2004	88 177	2 035 440	23,1
2004 – 2005	81 024	671 670	8,3
2005 – 2006	92 355	1 021 889	11,1
2006 – 2007	92 988	1 114 406	11,9
2007 – 2008	78 490	783 000	9,9
2008 – 2009	98 391	1 443 300	14,7
2009 – 2010	98 873	1 444 950	14,6
2010 – 2011	104 384	1 733 000	16,6
2011 – 2012	106 564	1 818 420	17,1
2012 – 2013	106378	1818421	17,1
Moyenne	78 264	893 197	12,8

3. Les exigences de la culture du blé

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) n'a pas les mêmes exigences que le blé tendre. Il a des besoins élevés en ensoleillement, une faible résistance au froid et à l'humidité (Bennasseur, 2003). Le blé dur peut être cultivé dans toutes les régions, cependant, les pluies importantes au cours de la maturation peuvent affecter la qualité des grains. Le blé dur exige une terre bien drainante mais pas trop sujette au stress hydrique surtout pendant la période de l'accumulation des réserves dans le grain (Clément, 1981). La mise en place de la culture de blé dur sur des terres se ressuyant mal, favorise l'infestation par les maladies cryptogamiques telles que le piétin et les fusarioses (Bennasseur, 2003). Les principaux facteurs influant la culture et le développement du blé sont la température, la lumière, l'eau et le sol (Soltner, 1988).

3.1. La température

Selon Prats et Graldecourt, (1970), le blé a un zéro de végétation très bas, a un zéro degré centigrade, mais ses exigences globales en chaleur sont assez importantes. Pour accomplir son cycle végétatif, il a besoin d'une certaine quantité de chaleur évaluée selon la formule :

$\sum t^{\circ} = \sum (t - t^0)$, t = Température moyenne de la journée et t^0 = zéro de végétation. La température optimale de croissance du blé se situe entre 15 et 22 °C. La somme des températures du semis à la levée est de l'ordre de 121°C. Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) se montre particulièrement résistant aux températures élevées au cours de la montaison, il s'en distingue par une grande sensibilité au froid. Des dégâts ont été observés sur les feuilles à partir de 8°C (Mazouyer, 2002).

3.2. L'éclairement

Le blé est une plante de jour long, période d'éclairement supérieure à 14 heures. L'éclairement optimal garantit un bon tallage. Un abaissement de l'éclairement provoque une diminution en glucides et un accroissement à la sensibilité à la verse (Prats et Graldecourt, 1970). La durée du jour (Photopériodisme) est nécessaire pour la réalisation du stade (B) précédant la montaison. L'intensité lumineuse et l'aération agissent directement sur l'intensité de la photosynthèse, dont dépend à la fois la résistance des tiges à la verse et le rendement (Soltner, 1998). La lumière est la source d'énergie qui permet à la plante de décomposer le CO₂ atmosphérique pour en assimiler le carbone et réaliser la photosynthèse des glucides. La lumière est donc un facteur climatique essentiel et nécessaire pour la photosynthèse (Diehl, 1975).

3.3. Le sol et l'eau

Le sol doit être bien profond, au moins 40 cm, bien ameubli et de bonne structure pour conserver l'humidité en fin de cycle (ITGC, 2001) et a une texture limono-sableuse profonde à structure grumeleuse et relativement riche en éléments fertilisants, en matières organiques et en calcium (Soltner, 1990b).

L'apport en eau pour le sol est essentiellement d'origine pluviale. L'eau à l'état liquide dans le sol n'est pas en totalité disponible pour la plante. Une partie de cette eau pénètre par infiltration à travers les couches superficielles et ne fait que traverser les horizons prospectés par les racines (eau gravitaire) et alimente les nappes phréatiques (Auley *et al.*, 2000). Lorsque la teneur en eau du sol décroît, soit par évaporation soit par absorption par les racines, l'interface air/eau se rétractera dans l'espace capillaire compris entre les particules du sol (Hopkins, 2003). Les besoins en eau de la culture du blé varient au cours du cycle végétatif de 450 à 702 mm (Ollier et Poirée, 1981). La résistance globale d'une plante vis-à-vis du déficit hydrique est la résultante de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques (Passioura, 2004).

3.4. La fertilisation et l'entretien

Le raisonnement de la fertilisation doit tenir compte des exigences de la plante et de la disponibilité de l'élément dans le sol (Bouraine, 2006). Dans les zones arides, l'amélioration de la fertilité et de la structure du sol peut être intégrée à travers des pratiques adéquates dans la rotation des cultures (Soltner, 1988). La production d'un quintal de blé recommande trois unités d'azote (2,5 à 3,5 kg), 1 unité de phosphore et 1,5 à 2,5 unités de potassium (ITGC, (1992).

4. Les contraintes abiotiques de la production du blé

Malgré la tendance à l'amélioration de la production nationale enregistrée les années précédentes, le niveau demeure en deçà des besoins nationaux (MADR, 2009). Le niveau des rendements des céréales en Algérie trouve son origine dans une série de contraintes d'ordre climatique, technique, structurelle et socio-économique. L'amélioration génétique du blé dur (*Triticum durum* Desf.) des zones sèches reste basée sur la recherche d'une meilleure tolérance aux stress abiotiques, pour adopter la plante à la variabilité du milieu de production (Amokrane, 2001). Le déficit hydrique représente le stress abiotique le plus sévère auquel la culture du blé dur fait face dans les conditions de productions en zones arides et semi-arides (Chennafi *et al.*, 2006). Un manque d'eau affecte le rendement économique de la culture et peut le baisser de plus de 80% (Chennafi *et al.*, 2006). La température est un facteur important pour la durée des phases de pré- et post-anthèse.

Le taux de développement des génotypes au cours de ces phases diffère en raison de la variation des températures selon les années et les environnements (Araus *et al.*, 2003). Les hautes températures durant la phase semis-levée provoque la réduction de la longueur du coléoptile (Bouzerzour, 1998). En effet, la température du sol affecte le coléoptile, la réduction de sa longueur est estimée à 10 mm à une température de 15°C et tend vers une valeur supérieure à un seuil de température de 35°C (Kirby, 1985). Pendant la période de tallage herbacé, des températures assez élevées, de l'ordre de 15-20°C, peuvent exercer un rôle favorable en permettant à la plante de produire un nombre de talles suffisants. Cependant, pendant la phase de montaison, l'occurrence la plus fréquente des températures élevées a une incidence défavorable sur la croissance des tiges (Mekhlouf *et al.*, 2006). Les hautes températures affectent, non seulement le poids final du grain, mais aussi le nombre de grains par épi et par unité de surface (Bahlouli *et al.*, 2005).

Les basses températures hivernales entravent la croissance, au début du cycle, des génotypes sensibles et elles sont cependant nécessaires pour la satisfaction des besoins des

variétés hivernales (Bouzerzour et Dekhili, 1995). Les semis précoces affectent la fertilité des épis, liée aux effets des basses températures au cours du stade gonflement. Les variétés précoces sont sensibles aux gelées printanières qui affectent le stade début montaison et détruisent l'épi du maître-brin (Abbassenne *et al.*, 1998). Les dégâts de gel tardif sont très fréquents sur céréales, rendant l'adoption des variétés précoces trop risquées (Bouzerzour et Benmahammed, 1994 ; Prasil *et al.*, 2007). La tolérance au froid exprimée par la capacité de la plante à supporter des températures inférieures à 4 °C au stade d'épiaison est un paramètre important à mesurer (Mekhlouf *et al.*, 2006).

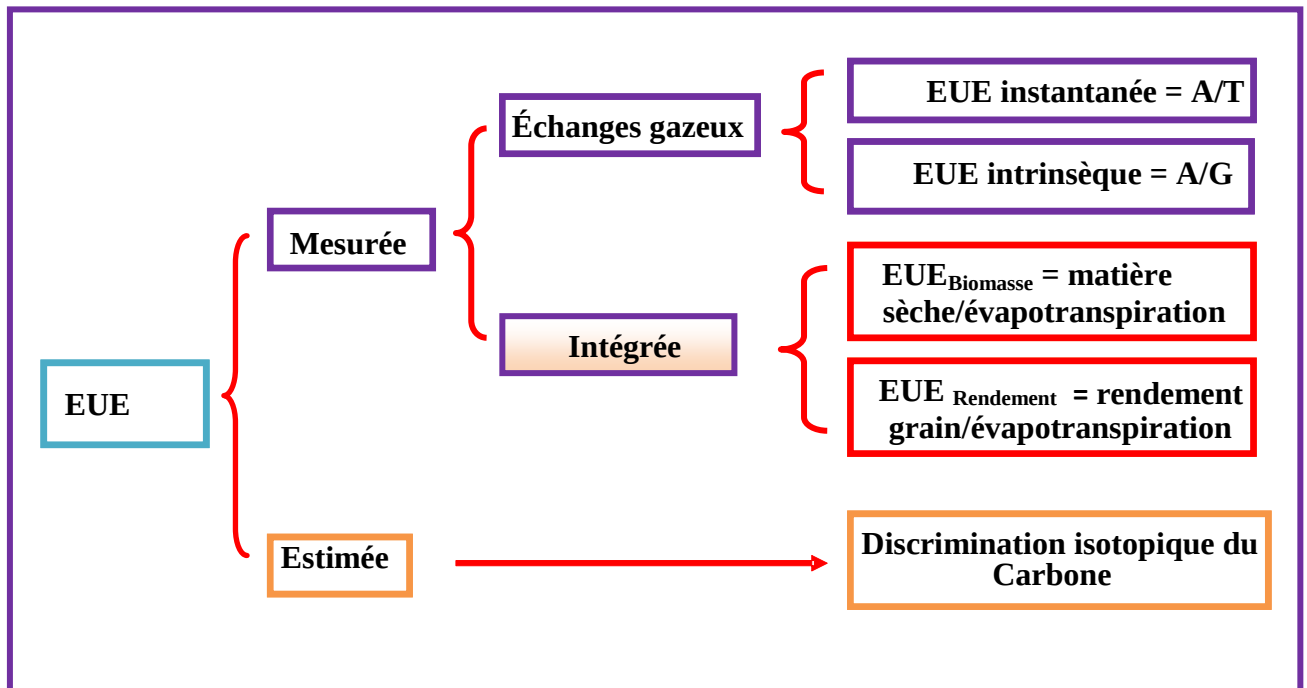
Soltner (2005) souligne l'effet néfaste de l'excès d'humidité, en effet, il se manifeste par le jaunissement du blé. Plus tard, à partir de la fécondation, un excès d'humidité retarde la maturation, tout en rendant les tiges plus sensibles à la verse. La lumière peut devenir une source de stress par son intensité et son éclaircissement trop faible ou trop élevé, conduisant à des phénomènes de photosensibilisation dangereux pour la plante (Leclerc, 1988). Sous les conditions de cultures des hautes plaines, c'est plutôt l'excès de l'éclaircissement qui est un stress, conduisant à la photo-inhibition des centres réducteurs des photosystèmes (Ykhlef, 2001).

La politique d'intensification nécessite un capital matériel pour mener correctement les différentes opérations de l'itinéraire technique, mais rares sont les exploitations agricoles qui possèdent un équipement agricole. La majorité des agriculteurs sont donc dans l'obligation de recourir à la location, avec parfois comme conséquence de l'impossibilité d'avoir le matériel nécessaire à temps. Par ailleurs, la faiblesse des liens entre la vulgarisation, les exploitations agricoles et les autres secteurs fait que la majorité des agriculteurs ne maîtrisent pas suffisamment les techniques de production (Boukhoubza et Ghalem-Djender, 2004).

5. L'efficacité d'utilisation de l'eau

L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) est définie différemment dans la littérature (Passioura, 1977 ; Turner, 1986b). Étant une cible de production, l'efficacité d'utilisation de l'eau pourrait être définie de plusieurs manières, selon les mesures et les unités de l'échange prises en considération (Condon *et al.*, 2004). Toutes les définitions potentielles consistent en une certaine quantité d'eau utilisée pour une certaine unité de production (Fig.2). Sa définition dépend du contexte particulier dans lequel il est en cours, y compris là où l'eau est en relation avec la plante, lié à la présence de l'eau à l'intérieur de la plante ou dans son environnement. Elle est mesurée, soit à travers l'échange instantané de vapeur d'eau pour le dioxyde de carbone par rapport à l'accumulation de la biomasse ou pour le rendement, soit par

rapport à un gain de carbone lié au dioxyde de carbone qui afflue à travers l'accumulation de la biomasse ou le rendement économique (Bacon, 2003).



A = Taux net de photosynthèse ; T= Taux de transpiration ; G = Conductance stomatique; ET = Evapotranspiration

Figure 2. Échelle d'étude de l'efficacité d'utilisation de l'eau (Tambussi *et al.*, 2007).

L'efficacité d'utilisation de l'eau 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, l'efficacité d'utilisation est dite nette (EUE_N) ; si elle s'étale durant toute l'année, l'efficacité d'utilisation est dite brute (EUE_B) (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, l'efficacité d'utilisation de l'eau concerne le rendement (EUE_{Rdt}). De point de vue économique, l'efficacité de l'eau est exprimée par le rapport du rendement économique à la quantité d'eau utilisée (Gardner *et al.*, 1985). L'EUE est généralement exprimée en $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ et elle définit comme la quantité de production obtenue par une unité d'eau utilisée.

5.1. L'eau utilisée au cours du cycle de la plante

L'eau représente un facteur important du développement des végétaux. Ceux-ci sont des organismes fixés qui dépendent pour leur nutrition des facteurs locaux, en particulier de la présence et de la disponibilité de l'eau dans le sol. Il existe un continuum entre l'absorption de

l'eau par les racines dans le sol et la perte de l'eau par transpiration au niveau des feuilles (Prat, 2004).

Selon Stanhill (1986), la première enquête scientifique de la croissance des plantes et de la performance par rapport à la consommation d'eau a été celle de Woodward (1993) dans les Transactions Philosophiques de la Société Royale, qui décrit l'augmentation de la croissance chez la menthe verte par rapport à la dépense d'eau. Lawes (1850) a réalisé la première série d'expériences véritables pour évaluer l'utilisation de l'eau pour les cultures, par des mesures gravimétriques de la perte d'eau à partir de grands conteneurs semés de céréales, de légumineuses et de trèfle. Il a été l'un des premiers à reconnaître la relation claire entre la transpiration et la production de biomasse. Un point de repère dans l'étude de l'efficacité d'utilisation de l'eau par la plante est venu dès le début des années 1900 avec les travaux de Briggs et Shantz (1913), ils ont déterminé le taux de transpiration qui représente la quantité d'eau transpirée par poids sec produit, c'est l'équivalent de l'utilisation efficace de l'eau et qui a été déterminé chez 62 espèces de plantes différentes. En effet, il fallait attendre encore plus de 50 ans pour que les chercheurs se rendent compte que les faibles ratios de transpiration enregistrés pour le maïs, le sorgho et le millet, pourraient être expliqués par l'existence de la photosynthèse des plantes C4. Ces études ont démontré la relation strictement positive entre la quantité totale d'eau transpirée par la plante cultivée et son rendement en évaluant ce dernier de la plante cultivée et l'utilisation de l'eau en réponse à la variation des quantités d'eau (Innes et Blackwell, 1981 ; Jones, 1992, Kramer et Boyer, 1995). Au cours de la seconde moitié du vingtième siècle, ce fut la découverte de la capacité du fractionnement du carbone stable dans les tissus végétaux qui pourraient être utilisés afin d'évaluer à la fois une mesure instantanée ou intégrée de l'efficacité d'utilisation de l'eau par la plante (Farquhar et Richards, 1984), suivie fermement de la discussion de l'efficacité d'utilisation de l'eau dans les domaines de la science moderne des végétaux.

5.2. Les besoins en eau du blé

Selon la FAO (1992), les besoins en eau d'une culture représentent la quantité d'eau nécessaire pour couvrir les pertes en eau par évaporation directe du sol et par transpiration à travers la plante, ce qui représente l'évapotranspiration d'une culture réalisant son potentiel de production. Les exigences climatiques des céréales définies par la FAO (1976), mentionnent une quantité de pluviométrie totale de 450 à 1000 mm nécessaire en période de croissance ; avec une pluviométrie moyenne mensuelle de 45 à 90 mm pour la phase végétative, de 60 à

90 mm pour le stade floraison et de 55 à 80 mm pour le stade maturation. Baldy (1974) mentionne des besoins en eau pour la céréale de 450 à 650 mm par an. Ainsi, une production de 50 quintaux à l'hectare recommande 580 mm an⁻¹ (Soltner, 1986). Sur les hautes plaines sétifiennes, la culture du blé nécessite 670 mm d'eau au cours de son cycle de développement (Chennafi *et al.*, 2008).

5.3. L'efficience d'utilisation de l'eau effective

L'eau est un bien rare et donc chère. En revanche, une utilisation économique efficiente de l'eau est un des principes de base recommandé pour le réexamen des politiques, conjointement aux critères d'efficacité, d'effets de la répartition, de l'impact environnemental, de l'implications budgétaire, de l'acceptabilité et de la durabilité et de faisabilité. En agriculture pluviale, l'efficience d'utilisation de l'eau est liée à l'efficience d'utilisation des précipitations (Hatfield *et al.*, 2001 ; Nielsen, 2002 ; Latreche, 2011 ; Belagrouz, 2013). La préservation de l'eau au niveau du profil cultural au profit de la plante contribue à augmenter l'EUE (Hannachi et Fellahi, 2010 ; Latreche, 2011 ; Belagrouz, 2013). Nielsen et Vigil (2010) prennent en considération l'efficience de stockage des précipitations définie par la fraction qui tombe au cours d'une période et qui reste préservée au niveau du profil du sol.

Le secteur de l'agriculture est contraint à chercher de nouvelles approches pour améliorer les potentialités productives des cultures, par l'adoption durable de l'utilisation de la ressource hydrique (Pereira, 2005). La gestion effective de l'eau par une utilisation efficiente repose sur l'amélioration de la productivité des cultures (Chennafi *et al.*, 2012a). En revanche, la performance des variétés pour produire plus de grains avec des quantités limitées en eau est recommandée en milieu déficitaire d'eau (Chennafi *et al.*, 2012a). Zhang (2003) juge que produire plus de grains et de biomasse en régions où l'eau est limitée est un besoin qui repose sur la rénovation de la productivité de l'eau. Green *et al.*, (2010) se penchent sur l'importance de l'évaluation des réponses des cultures aux systèmes agricoles, des méthodes de quantification de la demande en eau et de son utilisation réelle sur des échelles multiples et des stratégies pour améliorer son efficience d'utilisation (Chennafi *et al.*, 2012).

L'amélioration de la productivité de l'eau et du rendement est le résultat de l'interaction entre variétés et l'optimisation de la date et la dose de semis, des éléments nutritifs pour la plante (Chennafi *et al.*, 2012b). En effet, la gestion des cultures et des jachères, évaluée par la succession des cultures, par le contrôle des plantes adventices et la maîtrise des résidus des récoltes sur le sol sont une priorité (Kirkegaard et Hunt, 2010 ; Hannachi et Fellahi, 2010 ; Latreche, 2011 ; Belagrouz, 2013). Blum (2009) estime que l'efficience d'utilisation de l'eau

est une composante de la résistance de la culture au stress hydrique, elle est déterminante du rendement. La conservation effective de l'humidité du sol et l'efficacité d'utilisation de l'eau limitée améliorent potentiellement l'efficacité d'utilisation de l'eau (Bruand *et al.*, 1996 ; Deng *et al.*, 2004 ; Machado, 2008 ; Fillali, 2010 ; Belagrouz, 2013).

6. Les paramètres valorisant l'efficacité d'utilisation de l'eau

6.1. Les caractères morphologiques

Le développement rapide des feuilles valorise l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour la plante. En effet, une surface foliaire spécifique élevée réduit l'évaporation de l'eau du sol, elle est préservée pour la plante, elle sera extraite lors d'un manque d'eau (Lopez-Castaneda *et al.*, 1996 ; Latreche, 2011 ; Belagrouz, 2013). Ce caractère a été exploité par des lignées de blé à rendement élevé ; plus efficaces pour l'utilisation de l'eau (Asseng *et al.*, 2003). Le développement de la surface foliaire rapide devrait ombrer la surface du sol pour réduire l'évaporation du sol en augmentant l'efficacité d'utilisation de l'eau de la culture. L'utilisation de l'eau est influencée à la fois par la répartition de la biomasse pour les différents organes et par les propriétés physiologiques et morphologiques de ces organes. L'effet des caractères physiologiques sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau dépend de l'équilibre entre les effets sur la croissance et sur l'utilisation de l'eau.

6.2. Les caractères physiologiques

Les chercheurs physiologistes expliquent l'efficacité de l'utilisation de l'eau des cultures améliorées, l'entretien de leur rendement et l'amélioration continue de la qualité en tant que sujet d'une recherche scientifique. Les processus physiologiques peuvent régir l'efficacité de l'utilisation d'eau dans les plantes et la reconnaissance des mécanismes physiologiques divers, ainsi que des stratégies de plantes évolutives pour le développement et la reproduction qui vont intégrer, à assurer une utilisation efficace de l'eau à des échelles allant de la molécule à l'écosystème (Bacon, 2002).

De nombreux auteurs se sont intéressés à l'intérêt d'une stratégie de conservation de l'eau du sol, basée sur un mécanisme de régulation stomatique permettant d'économiser l'eau du sol pour allonger la durée effective de la photosynthèse et du fonctionnement du couvert végétal. Ainsi, la conservation de l'eau s'est avérée utile à travers des variétés plus productives en situation de manque d'eau (Condon *et al.*, 2004 ; Rebetzke *et al.*, 2002 ;

Richards *et al.*, 2002). La régulation de l'ouverture stomatique est capitale pour l'utilisation efficace de l'eau des plantes.

6.3. Les conditions liées au sol pour la préservation de l'eau

Les sols des régions semi-arides méditerranéennes se caractérisent par l'absence de couverture végétale et le tassement causé par les troupeaux, ce qui réduit le pouvoir d'absorption de l'eau. Dans ce contexte, les outils à dents, travaillant à faible profondeur, sont plus intéressants pour conserver l'eau (Amara, 2006). Le travail du sol est la première mesure à prendre pour lutter contre la dégradation du sol pour la préservation de l'eau, de la matière organique, pour la reconstitution des agrégats, l'économie de l'eau et pour réduire les effets de l'érosion (Chennafi *et al.*, 2011). Le travail du sol réalisé à la charrue à disque accroît l'infiltration et l'emménagement des eaux de pluies, cependant, il favorise l'évaporation en augmentant la surface du sol exposé au soleil (Latreche, 2011). En agriculture pluviale, les pratiques du labour représentent une alternative d'amélioration par la préservation de l'eau dans le sol (Araus, 2004). Nielsen *et al.*, (2002) considèrent que la disponibilité de l'eau pour la culture au stade critique dépend de la contenance du sol en eau au moment de sa plantation et il dépend du travail du sol, des résidus de cultures affectant l'efficacité de stockage des précipitations. En environnement semi-aride, la productivité du blé dur résulte de la préservation d'une quantité d'eau limitée à des stades efficaces en eau (Chennafi *et al.*, 2005 ; Chennafi *et al.*, 2011).

La matière organique rentabilise la capacité de rétention du sol. Il existe une forte interaction entre le travail du sol et la dynamique de la matière organique du sol. La nature du travail du sol détermine les modalités d'incorporation et de décomposition des matières organiques retournant au sol. Ces matières organiques en décomposition modifient en retour les propriétés physiques du sol et en particulier sa structure et par conséquent leur réserve en eau (Latreche, 2011).

6. 4. L'intérêt lié au système de culture

L'adoption de l'innovation dans le domaine de la physiologie des cultures, les pratiques agricoles, l'ingénierie agricole et les technologies agricoles de conservation des ressources jouent un rôle primordial dans le maintien et l'amélioration de la productivité des systèmes des cultures (Waquar *et al.*, 2004). Les systèmes cultureux sont recommandés et sont axés sur des considérations de contextes agronomiques, écologiques et environnementaux (Camara *et al.*, 2006). Le système de travail du sol affecte significativement l'efficacité d'utilisation de l'eau

pour produire du grain (EUE_{Rdt}) (Belagrouz, 2013). Le labour du sol a des effets sur l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) (Mellouli *et al.*, 2008). Les études abordant l'effet de travail de sol sur l'efficacité d'utilisation de l'eau sont nombreuses. La plupart d'entre elles compare le travail conventionnel (TC), le travail minimum (TM) et le non labour (NL), en tant que systèmes. Dans ce contexte, certains travaux ne montrent pas d'écarts significatifs entre ces différents systèmes sur l'EUE (Lafond *et al.*, 1994 ; Mohammad *et al.*, 2006). Par contre, un effet significatif du TM est rapporté par Mrabet (2001) et Jin *et al.*, (2009). Le TC a utilisé plus d'eau au cours du cycle de la culture que le semis direct (SD). Cet avantage est vrai, semblablement dû à l'humidité du sol disponible au moment du semis du TC dont le précédent cultural est une jachère intégrale alors que la jachère précédente le semis direct n'a pas été désherbée. Autrement dit, la jachère non travaillée perd plus d'eau par évaporation et transpiration que la jachère travaillée, confirmant ainsi les thèses du dry-farming (Fellahi *et al.*, 2013e). Les résultats de Fellahi *et al.*, (2013e) indiquent que le TC est plus avantageux en termes de production de biomasse aérienne et de conservation de l'humidité du sol en jachère. Ceci est important dans une région où l'association céréale-élevage ovin est très répandue. Cependant, les résultats attirent l'attention sur l'importance de la couverture du sol en SD, ceci du fait d'une large utilisation de la paille en alimentation animale et son utilisation comme couverture végétale en SD doit se justifier, économiquement, par une augmentation du rendement en grains. Fellahi *et al.*, (2013) indiquent que sans ou avec un faible taux de couverture végétale, le SD présente une efficacité d'utilisation de l'eau similaire à celle du TC. Cependant, lorsque la couverture végétale est plus conséquente, 60%, l'efficacité d'utilisation de l'eau est nettement meilleure en SD comparativement à TC. Un taux élevé de la couverture végétale semble améliorer l'utilisation des eaux pluviales par la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.).

7. Synthèse pour l'EUE

L'efficacité d'utilisation de l'eau, définie comme la production de la biomasse par unité d'eau consommée, est un important caractère de tolérance à la sécheresse (Richards *et al.*, 2002). Toutefois, elle dépend 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). La rotation des cultures et le travail du sol par des outils adaptés améliorent l'utilisation de l'eau pluviale. En environnement semi-aride, la productivité du blé

dur résulte de la préservation d'une quantité d'eau limitée à des stades efficaces en eau (Chennafi *et al.*, 2005 ; Chennafi *et al.*, 2011). Ces éléments explicatifs abordés méritent plus d'attention par un approfondissement diversifié de paramètres bien fondés à dimensions spatio-temporelles du milieu semi-aride des hauts plateaux, par un système de rénovation rural axé sur la préservation environnementale des ressources en eau et en sols (Chennafi *et al.*, 2011). Blum (2009) estime que l'efficience d'utilisation de l'eau est une composante de la résistance de la culture au stress hydrique, elle est déterminante pour le rendement.

En revanche, les options de gestion du sol qui augmentent la transpiration (T) par rapport aux autres composantes du bilan hydrique, et donc la production de biomasse, augmentent également l'EUE (Loomis, 1983). Les économies nettes en eau ne sont atteintes que si l'évapotranspiration (ET) est réduite. L'attention doit être portée sur les espèces de plantes résistantes pour assurer une production alimentaire prolongée dans des conditions différentes (Martin *et al.*, 2008). Toutefois, la sélection végétale et la maîtrise des techniques agronomiques et des outils pour évaluer et améliorer l'efficience d'utilisation de l'eau doivent être abordées sur une gamme de systèmes de cultures (Green *et al.*, 2010 ; Belagrouz, 2013).

Matériel et méthodes

Chapitre II. Matériels et Méthodes

1. La description du site expérimental

L'expérimentation a été conduite sur le site de la station expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) de Sétif. Elle s'inscrit dans le cadre du programme de travail du Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants (CNCC) de Sétif. Les coordonnées géographiques sont la latitude: 36°10'7' Nord, la longitude est de 5° 21'55'Est et l'altitude est de 1080 m (Google Earth Pro, 2014). La photo1 détermine la situation géographique du site expérimental.



Photo 1. Situation géographique du site expérimental (Google Earth Pro, 2014).

Le climat du site expérimental est de type méditerranéen, continental, appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride, caractérisé par un été pratiquement chaud et sec et un hiver froid et humide (Chennafi *et al.*, 2006). Le sol présente de grandes variations. En effet, il est profond, avec peu de calcaire et plus fertile dans le voisinage du lit de l'Oued Boussalem. En s'éloignant de ce dernier, les sols sont peu profonds et calcaires avec présence d'encroûtements. Les sols sont pauvres en matière organique, surtout en profondeur où les valeurs sont inférieures à 1% (Kribaa *et al.*, 2002). L'aspect morphologique du profil cultural révèle l'existence de trois couches à texture limono-argileuse avec des encroûtements calcaires.

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

La parcelle expérimentale se distingue par un précédent cultural jachère travaillée. Le labour a été réalisé au mois de février 2013, avec une charrue à socs réversibles. La façon superficielle est reprise deux fois avec un cover crop, le premier passage a été effectué le 28 mai 2013 et le second le 30 octobre 2013. A cette technique culturale a fait suite l'opération de l'hersage vers le 20 novembre 2013. L'engrais de fond Mono-ammonium Phosphate (MAP) avec une dose de 80 kg ha^{-1} . Après un hersage effectué le 19 novembre, pour préparer le lit de semence, la mise en place de la culture (semis) a été réalisée le 09 décembre 2013. Au stade tallage en date du 17 février 2014, les parcelles expérimentales ont reçu une fertilisation azotée, en utilisant un apport de 80 kg ha^{-1} d'Urée à 46%. Au cours du 24 février 2013, le contrôle des adventices est effectué avec du Zoom à 150 g ha^{-1} . Le deuxième passage avec du Zoom et Traxos ($150 \text{ g ha}^{-1} + 1,2 \text{ l ha}^{-1}$) a été effectué le 23 mars 2014. La récolte a été réalisée manuellement le 19 juin 2014, à l'aide d'une faucille sur deux mètres linaires fixés auparavant sur la micro parcelle.

2.1. Le matériel végétal utilisé

Il est composé d'une collection de dix variétés de blé dur provenant d'une sélection CIMMYT/ICARDA et des variétés locales provenant de l'institut technique des grandes cultures de Sétif, Algérie. Ces géotypes sont Oued-Zenati, Djenah Khetaifa, Guemgoum Rkhem, Gta /dur, Megress, Waha, Simeto, Bousselem, MBB, Hedba (Tableau 4). La semence est fournie par le Centre National de Contrôle et de Certification des semences et plants (CNCC) de Sétif.

2. Mise en place de l'expérimentation

L'expérimentation a été mise en place durant l'année 2013/2014, le matériel végétal est semé le 09 décembre 2013 à une dose de 250 grains/m² à l'aide du semoir de marque HEGE80. Les parcelles élémentaires sont de dimensions de 1,2 m de largeur (6 rangs avec un espace inter-rang de 20 cm) et de 5 m de longueur, soit une superficie parcellaire de 6 m². Les géotypes sont mis en place dans un dispositif expérimental en blocs complètement randomisation avec quatre répétitions (Figure 3).

Tableau4. Caractéristiques des variétés étudiées (Zeghouane et Boufenar, 2006)

Génotype	Caractéristiques
Oued-Zenati	Lignée tirée en 1936 d'une population locale Bidi 17, c'est une plante à épi blanc, compacte, à barbes noires et longues. Le grain ambré, gros et peu allongé. A paille haute (1,30 m dans les conditions favorables) et pleine, à feuilles larges et retombantes, tallage moyen, tolérante à la septoriose et sensible aux rouilles brunes et a la fusariose, PMG élevé, qualité semoulière bonne. à cycle tardif et productivité moyenne.
Djenah Khetaifa	Variété sélectionnée depuis les premiers botanistes, assez tolérante à la sécheresse. tolérante à la septoriose, fusariose, Oïdium, rouilles jaune et noir, EUE biomasse et de paille élevées.
Gta /dur	Sélection ITGC Guelma, croisement CIMMYT- ICARDA, Variété précoce, c'est une plante à épi blanc, compacte, A paille moyenne, tallage fort, tolérante à la septoriose, fusariose, Oïdium, rouilles jaune et noire et aussi au froid et à la sécheresse,.à une bonne qualité semoulière.
Megress	Variété issue d'un croisement (OFANTO x WAH x MBB), c'est une plante demi dressé au tallage, à épi roux, pyramidale et compacte à barbe noire. Le grain est ovoïde. à paille moyennement haute (84 cm), et pleine, EUE grains élevée.
Guemgoum Rkhem	Variété sélection lignée locale(ITGC/Tiaret),épi compacte Blanche à barbes noires, à paille haute et creuse, grain blanc ambré de forme allongé, tardive , faible tallage, sensible aux rouilles, fusariose et sectorise, résistante à la moucheture et au mitadinage, PMG élevé, faible productivité.
Waha	Croisement CIMMYT-ICARDA, d'origine syrienne, épi demi-lâche, à compact, roussâtre, à paille courte et demi- pleine, grain moyen, claire ambré à roux, précoce, tallage moyen à fort, modérément tolérante aux rouilles, a la fusariose, et à la septoriose, sensible aux piétin-échaudage, PMG moyen, qualité semoulière assez bonne, mieux adaptée aux régions arides , bonne productivité.
Simeto	Variété sélectionnée à l'ITGC de Tiaret, d'origine Italienne, épi demi lâche, faiblement coloré (blanchâtre),à paille moyenne (90 à 100 cm), grain demi allongé, semi-précoce, tallage fort, modérément tolérante aux rouilles, à la septoriose, résistante à la fusariose, et à la moucheture, PMG moyen, sensible à la sécheresse.
Bousselem	Lignée CIMMYT-ICARDA, cycle végétatif mi tardif, tallage fort, variété à paille haute (90-100cm), épi poilu jaune pâle , grain long, PMG élevé, mieux adapté aux régions arides et semi arides, résistance aux maladies.
Mohamed Ben Bachir	Variété sélectionnée par l'institut agricole d'Algérie généalogique faite à l'intérieur d'une population locale du blé dur à AinRoua du nord de Sétif en 1938., à paille longue (plus de 120 cm), creuse, sensible à la verse, la rouille brune et la septoriose. La plus faible EUE biomasse.
Hedba	Sensible à la rouille noire, tardive, tolérante à la sècheresse, semis précoce et très semoulière.

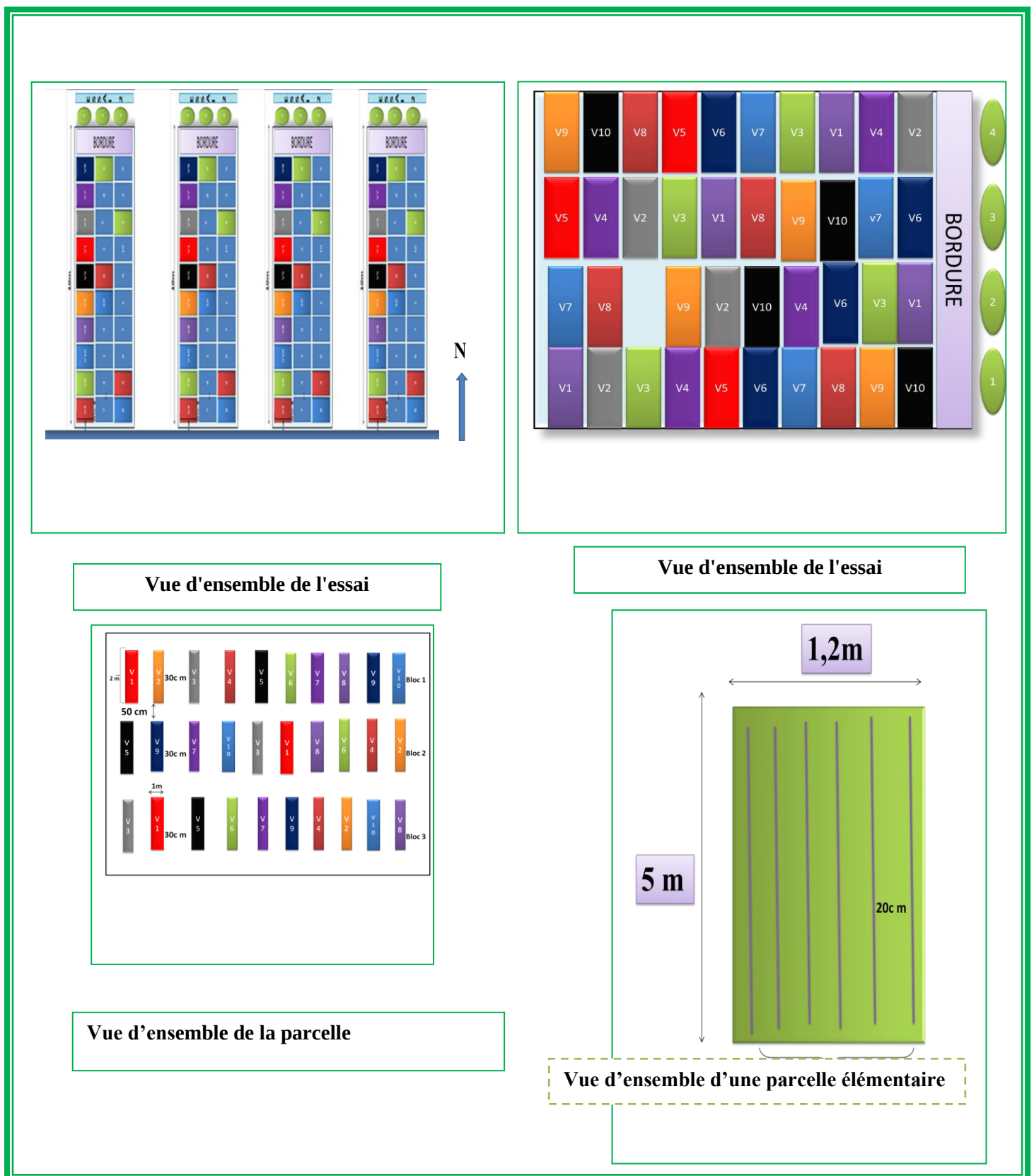


Figure3. Schéma du dispositif expérimental

3. Les mesures et les notations effectuées

3.1. Les paramètres liés au sol

Afin de déterminer les caractéristiques physicochimiques du milieu édaphique, une série d'analyses a été réalisée sur un échantillon issu d'un mélange de douze prélèvements du sol à l'aide d'une tarière suivant les diagonales de la parcelle et à une profondeur de 60 cm. L'analyse a été réalisée au niveau du laboratoire de pédologie de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Ferhat Abbas, Sétif1. La texture du sol a été déterminée à la méthode utilisée de la pipette de Robinson, basée sur le principe de la sédimentation des particules (Pansu et *al.*, 1998).

3.2. L'humidité du sol

L'évolution de l'humidité du sol a été déterminée tout au long du cycle de développement par la méthode gravimétrique sur les profondeurs du sol de 0-20 cm, 20-40 cm et de 40-60 cm, soit un prélèvement par génotype. Les échantillons sont mis dans des boîtes métalliques tarées préalablement. Le poids frais (PF) est obtenu par pesage immédiatement de retour au laboratoire de L'ITGC de Sétif avec une balance de précision de marque Mettler. Les échantillons sont mis à l'étuve à 105 C° pendant 24 heures pour l'obtention du poids sec (PS) (Figure 4). L'humidité est calculée selon la formule d'Ollier et Poirée (1981).

$$H\% = 100 (PF-PS)/PS \quad (1)$$



Figure 4. La mesure de l'humidité

3.3. La densité apparente

La densité apparente est mesurée selon la méthode décrite par Yoro et Godo (1990). Ainsi, le volume (V , cm^3), occupé par les particules du sol est estimé immédiatement sur le terrain alors que leur poids (P , g) est évalué au laboratoire après séchage et pesée. La formule intègre ces deux paramètres.

$$d_a = P/V \quad (2)$$

3.4. Le pH du sol

Le pH a été déterminé par la méthode électrométrique décrite par Afnor (1981), en utilisant le pH mètre Bioblock 93517 (Figure 5).



Figure 5. La mesure du pH

3.5. La conductivité électrique du sol

Elle a été mesurée en utilisant le conductimètre LF 583, la méthode est fondée sur le rapport sol/eau de 1/5 (Figure 6).



Figure 6. Le conductimètre (LF 583)

3.6. Le calcaire total

Selon Aubert (1922) le dosage du calcaire total s'effectue en utilisant le calcimètre de Bernard. La classification du sol selon la CaCO_3 est donnée par (Denis, 2000). Le principe de la méthode est fondé sur la réaction.



3.7. Le potassium et le Sodium

Le potassium et le sodium ont été déterminés par la photométrie à flamme JENCONS selon la méthode proposée par Walinga et *al.* (1989).

3.8. Le carbone organique

C'est par la méthode Anne qu'a été estimée la teneur en carbone organiques des échantillons de l'expérimentation. Le principe est fondée sur l'oxydation par du bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en milieu sulfurique (Benhassine et *al.*, 2008). La quantité réduite est proportionnelle à la teneur en carbone organique. L'excès de bichromate de potassium est titré par une solution de sel de MOHR, en présence de diphénylamine. Le taux de matière organique est évalué tenant compte du pourcentage de carbone organique contenu dans la matière organique.

$$\text{MO}\% = \text{C}\% \times 1,72 \quad (4)$$

$\text{C}\%$ = Teneur du carbone organique, $\text{MO}\%$ = taux de matière organique

4. Les caractères phénologiques et morphologiques des géotypes

4.1. La date de levée, d'épiaison et de maturité

La date de la levée a été relevée à l'apparition de 50% de plants levés le 9 janvier 2014. La date d'épiaison a été notée 30 avril 2014 dès l'apparition des épis nettement hors de la gaine de la feuille étendard. La phase de maturité se caractérise par les enveloppes de l'épi qui perdent la couleur verte et deviennent jaunes le 10 juin 2014.

4.2. La hauteur des tiges à maturité

La hauteur du chaume (HT) a été mesurée le 20 juin 2014. La notation de la hauteur de la tige a concerné quatre plants prélevés d'une manière aléatoire de chaque parcelle élémentaire. La hauteur est mesurée du collet jusqu'à l'extrémité de l'épi y compris les barbes.

4.3. La matière sèche

Cinétique d'accumulation de la matière sèche totale (MST) accumulée est mesurée selon les stades végétatifs de la plante, du tallage jusqu'à la maturité. Elle est déterminée par des récoltes d'échantillons de végétation au niveau de chaque parcelle élémentaire sur un rang de 0.2 m de long. Les feuilles, les tiges et les épis de chaque bottillon sont séparés. Selon la méthode décrite par Belkharchouche et *al.* (2009), le poids de la matière sèche est déterminé après passage à l'étuve à une température de 85°C pendant 48 heures. Les échantillons sont pesés en utilisant une balance électronique. La matière sèche est exprimée en gramme par mètre carré, puis ramené en quintaux à l'hectare.

5. Les caractères physiologiques

5.1. La teneur en chlorophylle

La chlorophylle (CHL) est mesurée avec le chlorophylle-mètre (chlorophyll meter, SPAD) (SPAD, CCM-200 plus), ou SPAD mètre (Soil Plant Analysis Development). Le SPAD mètre est un outil portable de diagnostic qui mesure la verdure ou la teneur relative en chlorophylle des feuilles (Figure 7). L'opération est faite le 5 Mai 2014 (l'épiaison) où on a choisis au hasard 5 feuilles au niveau de chaque parcelle élémentaire.



Figure 7 : La mesure de chlorophylle par le SPAD (CCM-200 plus).

5.2. La température de la canopée

La température (T°) de surface du couvert végétal est une caractéristique physique de la plante influencée par la contrainte hydrique. Cette mesure à l'échelle de la culture représente la résultante du bilan d'énergie donc de l'état de l'offre réelle de la plante vis-à-vis de la demande climatique. La température de la canopée est mesurée à l'aide d'un thermomètre infrarouges de marque Tecpel 513. La mesure a été réalisée le 26 mai 2014 (l'épiaison) (Figure 8). L'indice du stress hydrique de la culture est lié à la température de canopée (Alderfasi et Nielson, 2001).



Figure 8. Mesure de la température de la canopée (ITGC, Sétif).

5.3. La teneur relative en eau

La teneur relative en eau (TRE) représente le rapport entre la quantité d'eau dans les tissus foliaires au moment de l'échantillonnage à celle présente lorsque la feuille est entièrement turgide. Au stade épiaison la (TRE) a été déterminée par la méthode de Barrs et Weatherly (1962) décrite par Reynolds et *al.*, (2011), sur un échantillon de quatre feuilles. Les quatre feuilles échantillonnées par traitement sont directement pesées pour avoir le poids de la matière fraîche. Elles sont ensuite mises dans un tube à essai contenant de l'eau distillée, à l'abri de la lumière à température ambiante du laboratoire, pour atteindre l'état turgide.

Quatre heures après, les feuilles sont pesées, après avoir pris soin de les essuyer de l'excès d'eau avec du papier buvard, pour obtenir le poids turgide (PT,g). L'échantillon de feuilles

est mis à sécher dans une étuve à 65°C pendant 16 heures, pour obtenir le poids sec (PS) (Figure 9). La teneur relative en eau (TRE, %) est calculée selon l'expression:

$$TRE = [(PF - PS) / (PT - PS)] \times 100 \quad (5)$$



Figure 9. Les étapes de mesure de la teneur relative en eau (Laboratoire CNCC, Sétif).

5.4. L'intégrité cellulaire

La notion d'intégrité cellulaire (IC, %) est basée sur le degré de sensibilité de la membrane cellulaire au stress. En effet les stress affectent la structure de la membrane qui devient plus ou moins perméable, laissant sortir son contenu cellulaire vers le milieu extra-

cellulaire. Le degré de perméabilité vis à vis du stress thermique est utilisé pour mesurer le niveau de tolérance aux stress abiotiques. La quantité du contenu cellulaire qui entre le milieu extra-cellulaire est proportionnelle à la conductivité de ce milieu. La membrane plasmique est la barrière ultime entre le cytoplasme et l'environnement. Elle représente le contrôle métabolique de tous les processus d'absorption. Au stade épiaison le test de l'intégrité cellulaire est effectué sur les deux dernières feuilles entièrement développées. Deux feuilles sont prises au hasard par traitement. Ces échantillons sont lavés à l'eau courante. Les feuilles sont découpées en morceaux de 1cm de long.

Un échantillon de 10 morceaux du limbe foliaire est mis dans un tube à essai et lavé trois fois par l'eau distillée pour enlever les poussières adhérentes qui peuvent influencer sur les résultats du test. Trois tubes sont utilisés par traitement. Dans chaque tube sont introduits 10 ml d'eau distillée déminéralisée. Les tubes, ainsi traités, sont périodiquement agités manuellement et sont laissés à une température ambiante. Après 24 heures, une première lecture est faite (EC_1) avec le conductimètre (LF 538) (Figures 10). Les tubes sont ensuite mis au bain marie, durant 60 minutes, dont la température est portée à 100°C. Une deuxième lecture de la conductivité est faite 24 heures après, ensuite les échantillons sont placés dans le bain marie (EC_2). Le pourcentage de cellules endommagées par le stress hydrique est estimé, selon la procédure décrite par Bajji et *al.*, (2001)

$$IC (\%) = 100 (EC_1 / EC_2) \quad (6)$$

Où IC est le % de cellules endommagées par le déficit hydrique, EC_1 , et EC_2 sont respectivement les conductivités du traitement avant et après passage au bain marie.

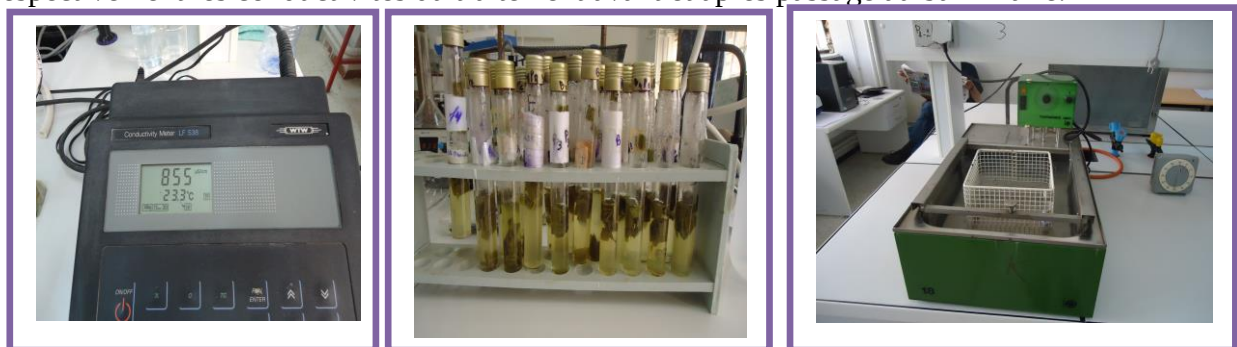


Figure 10. Les étapes de mesure de l'Intégrité cellulaire (Laboratoire de SNV Sétif).

5.5. La surface foliaire

La surface foliaire (SF, cm²) du tallage jusqu'à la maturité a été estimée selon la méthode décrite par Belkharchouche et *al.*, (2009) par le produit de la longueur (L, cm) x la largeur (l,

cm) x le coefficient moyen de régression de la surface estimée caractéristique de la céréale (Stoskopf, 1981; Bilgi, 2006; Belkharchouche et al., 2009).

$$SF(\text{cm}^2) = 0.697 (L \times I) \quad (7)$$

5.6. Le remplissage du grain

L'étude de la cinétique de croissance du grain au cours de la période de remplissage (Remp) a été réalisée sur des échantillons prélevés de la deuxième ligne de chaque parcelle élémentaire, sur lesquelles sont prélevés des grains du tiers médiane de l'épi, soit au total 250 grains/variété.

Cette opération est répétée tous les deux jours jusqu'à la maturité physiologique. Les prélèvements sur tous les génotypes et les quatre répétitions ont débuté le 15 mai 2014 (épiaison). Les grains sont pesés à l'état frais et mis dans l'étuve à 85°C pendant 48 heures, puis repesés à l'aide d'une balance de précision pour déterminer le poids sec moyen d'un grain (Figure 11).

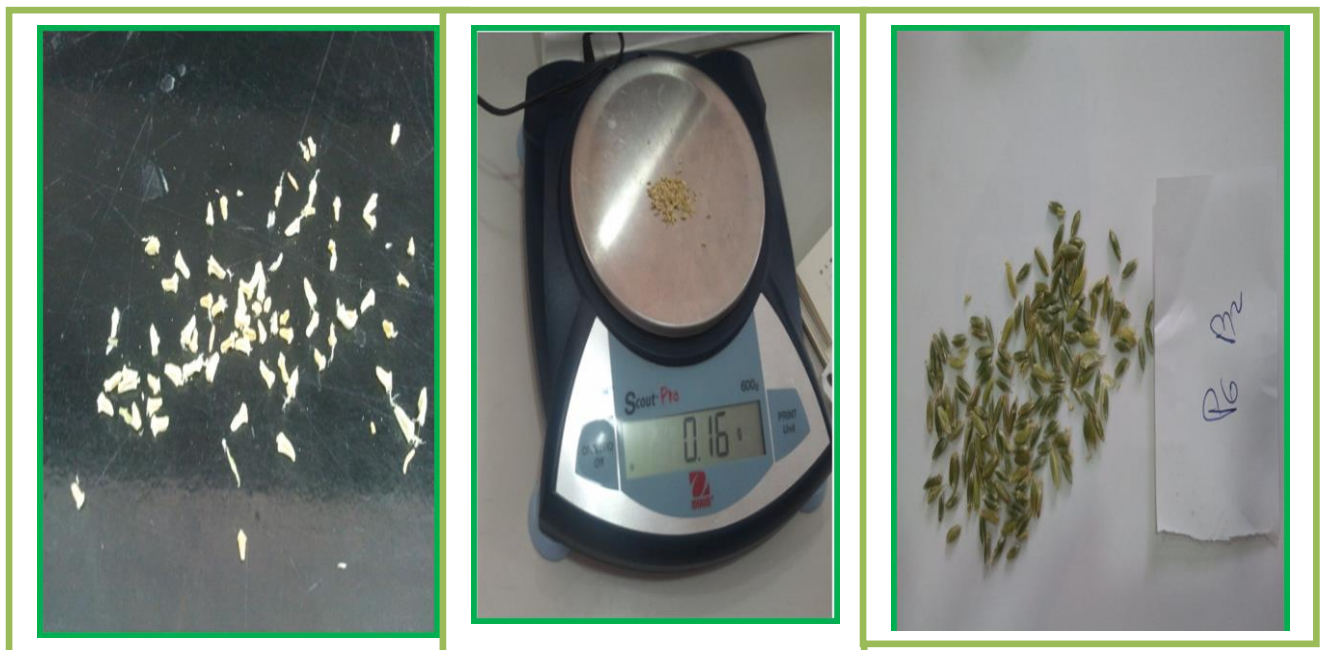


Figure 11. Les étapes de pesée des grains au cours du remplissage des grains (Laboratoire CNCC, Sétif).

6. Les caractères de production

Toutes les variables relatives à la culture ont été déterminées sur la base des mesures faites à l'intérieur des lignes de la parcelle élémentaire, en évitant les bordures. En effet, sur chaque parcelle a été fixée une station de comptage qui mesure 2 mètres linéaires et matérialisée au stade de la levée. Les chiffres obtenus seront ramenés à une unité de surface en mètre carré ou en hectare.

6.1. Le nombre de plants par mètre carré

Le comptage du nombre de plantes par mètre carré (NPL) est réalisé au stade 1 à 2 feuilles au niveau de chaque parcelle élémentaire sur 2 mètres linéaires.

6.3. Les composantes de rendement

Le rendement et ses composantes sont estimés à partir des bottillons de végétation récoltée manuellement.

- Le peuplement épis (NE) est obtenu à partir du comptage des épis de station préparée précédemment de chaque parcelle élémentaire, puis ramené au mètre carré.
- La fertilité de l'épi (NGE) est obtenue après le battage de 10 épis prélevés aléatoirement et le comptage de nombre de grains, les résultats sont divisés par dix.
- Le poids de mille grains (PMG) est déterminé à partir de la pesée de 250 grains, les résultats obtenus sont multipliés par quatre.

6.4. Le rendement biologique

La biomasse aérienne (BIO) est obtenue après la récolte de l'échantillon et par pesée de la masse aérienne des plantes à l'aide d'une balance électronique. Le rendement biologique est exprimé en gramme par mètre carré et ramené en quintaux par hectare.

6.5. Le rendement en grains

Le rendement en grains (RDT) est exprimé en gramme par mètre carré et ramené en quintaux par hectare.

6.6. Le rendement paille

Les tiges des échantillons récoltés précédemment de la station du comptage sont débarrassées de leurs épis, puis pesées. Le rendement en paille (PAL) est exprimé en gramme par mètre carré et ramené en quintaux par hectare.

6.7. L'indice de récolte

L'indice de récolte (IR, %) détermine la part du rendement dans la biomasse totale, il est obtenu par l'expression:

$$IR \% = [RDT / BIO] \times 100 \quad (8)$$

7. L'efficacité d'utilisation de l'eau

7.1. L'efficacité d'utilisation de la productivité des géotypes

L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) est estimée selon l'équation décrite par Tanner et Sinclair (1983). L'EUE est calculée par le rapport de la biomasse accumulée sur la quantité d'eau consommée pour produire cette biomasse. L'EUE ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) est évaluée tenant compte de l'équation établie par Turner (2004). Ce paramètre a été évalué pour le rendement grain, la biomasse aérienne et pour la production de la paille.

$$\text{EUE}_{\text{RDT}} = \text{RDT} / \text{ETa} \quad (9)$$

$$\text{EUE}_{\text{BIO}} = \text{BIO} / \text{ETa} \quad (10)$$

$$\text{EUE}_{\text{PAL}} = \text{PAL} / \text{ETa} \quad (11)$$

L'ETa= évapotranspiration actuelle (mm)

7.2. L'estimation de la quantité d'eau utilisée au cours du cycle

La quantité d'eau utilisée au cours du cycle végétatif des géotypes est dénommée évapotranspiration actuelle (Eta) telle qu'elle a été décrite (Kirda et *al.*, 1991). Elle est estimée tenant compte du cumul des précipitations (P, mm) et de la variation du stock d'eau (ΔS) au moment de sa mise en place et à la récolte. L'expression de l'Eta est exprimée par l'évapotranspiration (ET) qui est définie par la somme des quantités d'eau évaporée du sol (E_s) et transpirée (T) par le couvert végétal au cours de son cycle végétatif (Atwell et *al.*, 1999; Angus et Herwaarden, 2001; Chen et *al.*, 2003; Kemanian et *al.*, 2005).

8. La caractérisation climatique

Les données climatiques ont été obtenues de l'Office Nationale Météorologie de Sétif. Les paramètres de la demande climatique (ETP) et de l'évaluation de la l'évapotranspiration réelle (ETR) de la culture ont été estimée sur la base de l'utilisation de CROPWAT 8.0 (FAO, 2006) et l'introduction des températures minimales et maximales, l'humidité relative de l'air (%), l'insolation journalière (h_j-1) et la vitesse du vent en kmj-1 .

9. Les analyses statistiques des données

L'analyse des données climatiques et l'étude des variables mesurées ont été fait l'objet d'utilisation du CROPWAT 8.0 (FAO, 2006), du Co Stat 6 et CropStat (Analyse de la variance et la comparaison des moyennes), Minitab13 (classification hiérarchique) et de Statplus (Analyses des corrélations). Ces logiciels ont été manipulés en utilisant Microsoft EXCEL 2007.

Résultats et discussion

Chapitre III. Résultats et discussion

1. Les éléments liés au climat

1.1. La température et la précipitation

La campagne agricole 2013/2014 étalée entre septembre et juin est caractérisée par une température minimale de 6,8 °C, par contre le maxima est de 19,1 °C. Le cumul pluviométrique enregistré est de 383,4 mm. Les indications sur les relevés de ces paramètres révèlent que la troisième décennie de novembre, la première et la seconde décennie de décembre ainsi que la troisième de février sont les plus froides avec des valeurs inférieures à zéro degré Celsius (Fig.12). Toutefois, les basses températures semblent s'étendre du mois de novembre au mois d'avril où elle atteint 5,4 °C (d3). Les fortes températures sont celles des mois de septembre, octobre et juin qui enregistre 31,5 °C à sa troisième décennie (Fig.12).

L'interprétation des valeurs de la température conjointement avec le développement des stades végétatifs marquent l'augmentation de ce paramètre avec la progression des stades végétatifs de la culture. En effet, la période de remplissage du grain coïncide avec les fortes chaleurs printanières. En environnement semi-aride, les fortes températures affectent la durée du cycle de la plante, réduisent la biomasse aérienne, la fertilité de l'épi et le rendement final avec des répercussions sur la qualité du grain (Baldy, 1986 ; Chennafi *et al.*, 2005 ; Bahlouli *et al.*, 2005).

Le cumul pluviométrique reçu de septembre à juin, est estimé à 383,4 mm (Fig.12), ainsi la campagne agricole 2013/2014 se distingue par un écart pluviométrique de 44,1 mm au profit de la campagne agricole 2012/2013 qui a reçu 427,7mm. En pourcentage du cumul pluviométrique saisonnier, l'appréciation est de 26,3%, 62,1% et 35,8% pour les périodes automnale, hivernale et printanière, respectivement (Fig.12). Le mois le plus pluvieux est mai avec 74 mm. Toutefois, le cumul reçu en juin reste assez conséquent avec 60,2mm (Fig.12). En effet, il représente plus de 15 % de la précipitation cumulée au cours de la saison. L'analyse des données pluviométriques décennales indique que 55,2mm et 54 mm ont été reçus à la troisième et à la seconde décennie respectivement de mai et de juin. Ceci représente environ 30 % du total pluviométrique reçu au cours du cycle de la plante. Cependant, cette quantité d'eau est, d'une part, tombée en un temps très court, et d'autre part, à un stade végétatif où la plante ne l'utilise pas d'une manière efficiente cette eau et par conséquent cette dernière risque d'affecter le rendement final. Sur cet aspect, Asada et Matsumoto (2009) se penchent sur la vulnérabilité de la production agricole sous

l'effet de la variation de la précipitation. L'interprétation consolide les effets conjoints du manque d'eau et de son excès à des stades végétatifs sensibles (Tavakoli et Oweis, 2004 ; Chennafi *et al.*, 2006).

En condition pluviale, la production du blé reste aléatoire et dépendante du régime des précipitation (Bouzerzour *et al.*, 2002 ; Chennafi, 2012). Les effets du changement climatique auront pour conséquences une diminution de plus de 57 % de la production agricole (Bennayan et Eyshi Rezei, 2014). Ainsi, le changement climatique affecte les systèmes alimentaires par des effets directs sur la production agricole. Ils conduisent à des périodes de sécheresse ou d'inondations et affectent la longueur des saisons (Gregory *et al.*, 2005).

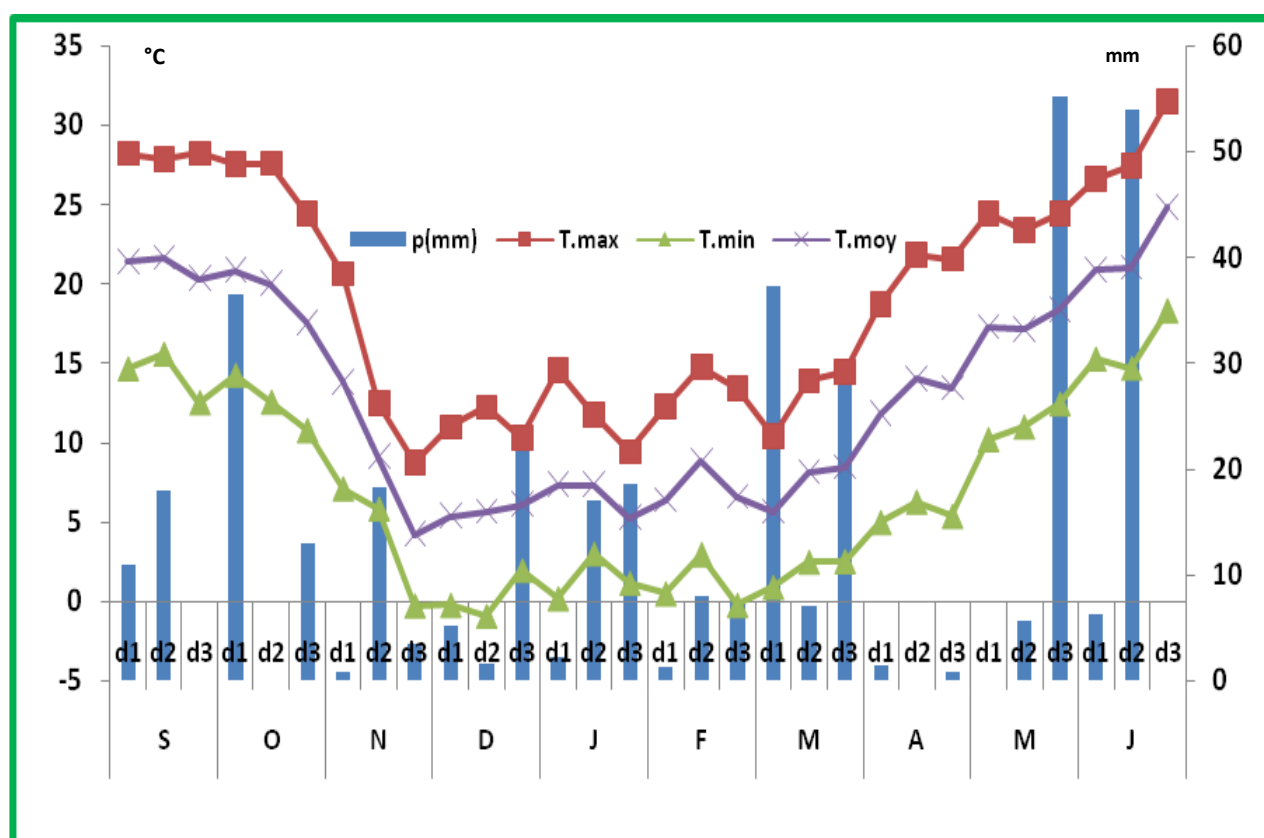


Figure 12. Variation moyenne décadaire des températures maximales, minimales et moyennes et précipitations. Campagne agricole 2013/2014

1.2. L'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration de la culture

L'évapotranspiration de référence (ET_o) est un paramètre de synthèse bioclimatique. En effet, c'est le résultat de la combinaison de nombreux éléments climatiques. L'ET_o est estimée selon la méthode décrite à travers l'équation élaborée par Penman-Monteith (1948). En utilisant le Cropwat et l'introduction des températures minimales et maximales, l'humidité relative de l'air (%), l'insolation journalière (h_j^{-1}) et la vitesse du vent en kmj^{-1} . Ce paramètre traduit le potentiel d'évaporation de l'air. Au cours de l'expérimentation durant la campagne agricole de 2013/2014, il prend la valeur de 589,0 mm. Ces valeurs sont estimées de la première décade (d1) de janvier jusqu'à la seconde (d2) de juin (Fig. 13). Ainsi, les saisons automnale, hivernale et printanière ont été caractérisées par un potentiel mensuel d'évaporation de l'air de $105,0\text{ mm}$ ($3,5mmj^{-1}$) ; $46,0mm$ ($1,6\text{ mmj}^{-1}$) et $122,2mm$ ($4,1mm\text{ j}^{-1}$). Raisonnés en fonction du positionnement des phases des variétés étudiées, l'épiaison et le remplissage du grain coïncident avec un fort pouvoir évaporant de l'air. En effet, la demande climatique est de $5,2\text{ mmj}^{-1}$ (d3) d'avril pour atteindre $5,7\text{ mmj}^{-1}$ à la d1 de juin (Fig.13). L'expérimentation durant la campagne agricole 2013/2014 a été légèrement sous des conditions d'évaporation potentielle de l'air supérieure à celle de 2012/2013 (Belagrouz, 2013). Toutefois, les valeurs seuils qui coïncident avec les stades d'épiaison et de remplissage du grain sont similaires à celles mentionnées par Belagrouz (2013).

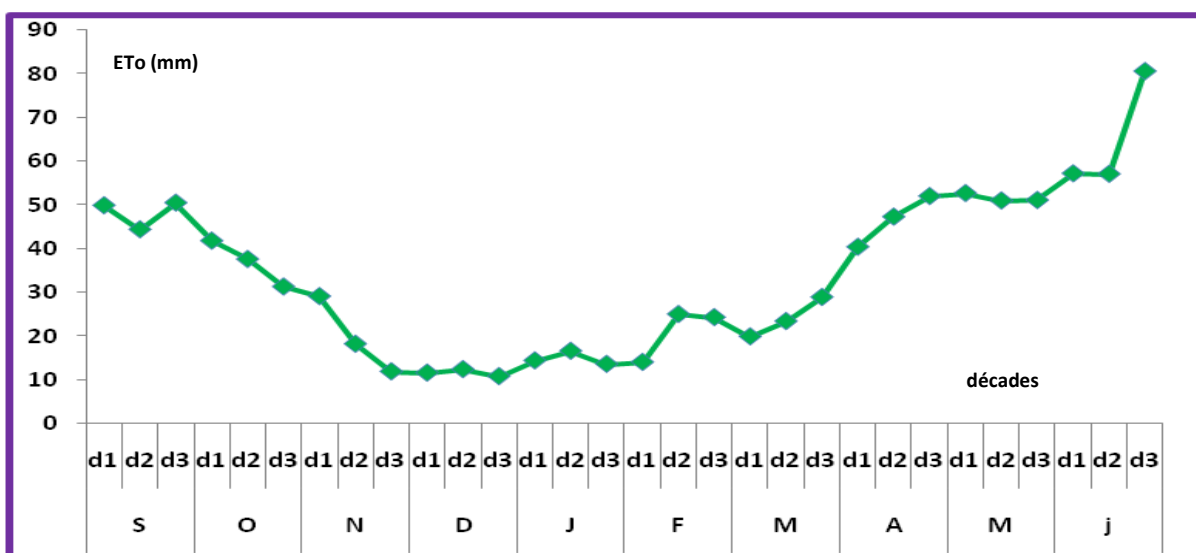


Figure13. Valeurs décadaires de l'ET_o (mm) estimée par Cropwat

Sous les conditions de l'évaporation potentielle de l'air, l'évapotranspiration culturale estimée (ETc) des variétés étudiées qui traduit un régime supposé physiologiquement optimal de la plante est de 532,2mm (Fig.14). Dès la fin de février, la demande en eau de la plante augmente. Elle prend la valeur de 20,2mm à la d1 du mois de mars pour atteindre à la d3 d'avril 49,4 mm (Fig.15). Ces seuils sont relativement supérieurs à ceux notés par Belagrouz (2013). Le résultat est la prédiction de la réponse physiologique a un pouvoir évaporant de l'air. En effet, le pouvoir évaporant de l'air est lié aux conditions de la pression atmosphérique, la température, l'agitation de l'air, l'insolation et en particulier le déficit de saturation de l'air (Moindrot, 1959). Estimées de la première décade de mars jusqu'à la troisième décade de mai, l'ETc atteint 341,1mm (Fig.14).

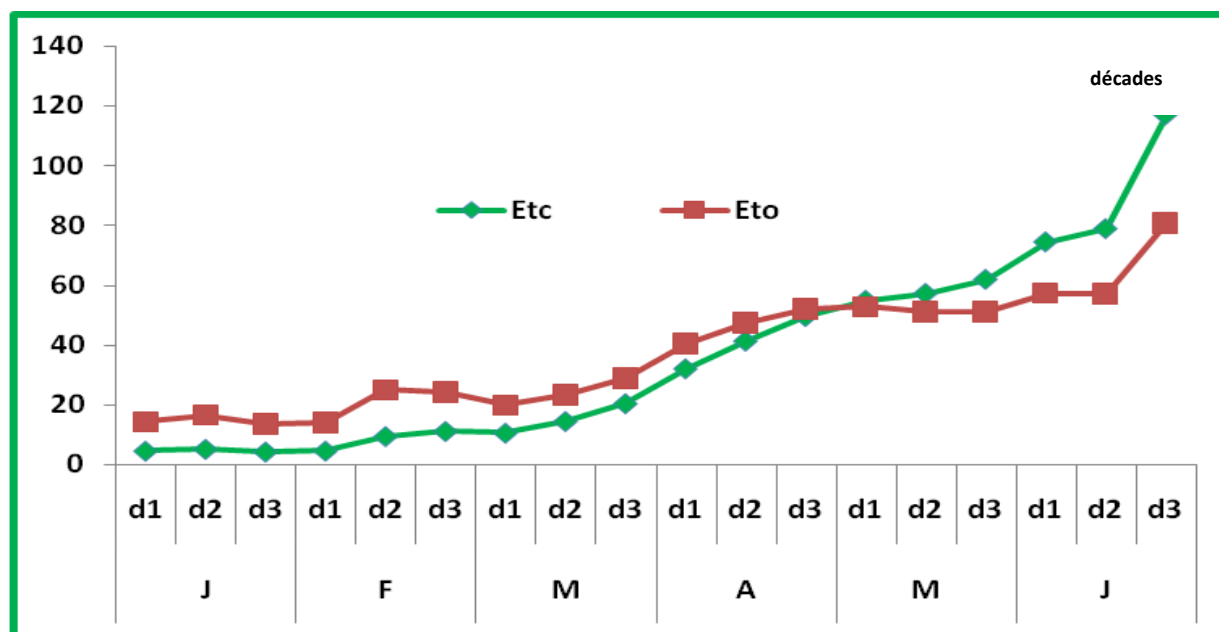


Figure 15. Valeurs décadaires de l'ETo (mm) et de l'ETc estimées par Cropwat.

1.3. Les précipitations effectives décadaires

Les précipitations effectives contribuent à satisfaire les besoins en eau de la culture (FAO, 1979). En effet, elles sont évaluées comme précipitations effectives, celles qui sont effectivement utiles pour les cultures, même en quantité limitées (Tsai *et al.*, 2005). Toutefois, dans le cas d'une précipitation inférieure ou égale à 5 mm, la pluie efficace est négligée (Tsai *et al.*, 2005). Ceci est logique, du fait que la fraction de précipitation efficace reconstitue la réserve en eau du sol au profit de la plante.

Le niveau des valeurs décadaires estimé par Cropwat détermine une variabilité mensuelle et décadaire. En effet, le cumul décadaire de la précipitation effective varie de 0,0 mm à 55,2 mm. Raisonnées en fonction de la position des stades végétatifs, il semble que les troisièmes décades (d3) de mars avec 29,7mm et mai avec 55,2 mm (d3) se positionnent pour une préservation de l'eau au profit de la plante aux stades de plein tallage, de l'épiaison et du remplissage du grain.

2. La description analytique du sol

2.1. Les éléments liés à la physique du sol

2.1.1. La texture et la densité apparente du sol

La texture du sol traduit le pourcentage des particules qui sont triées et classées selon leurs diamètres, en trois classes : sables, limons et argile. Siegenthaler (2003) mentionne qu'elle représente la résultante du mélange de terres fines et grossières. Le type de texture est déterminé en se référant au triangle de texture. Les résultats indiquent que sur les profondeurs de 0-20 cm et 20-40 cm, la texture est limono-argileuse, et sur 40-60 cm, elle est argilo-limoneux (Tableau 5).

C'est une texture qui favorise la capacité de rétention en eau et assure ainsi une préservation de l'eau au niveau du profil cultural au profit de la plante. Toutefois, ce type de sol se distingue par l'apparition de fentes de retraits en période de sécheresse printanière, se répercutant sur la quantité d'eau évapotranspirée et sur les risques d'éclatement des racines de la plante.

La densité apparente varie de 1,15 g.cm⁻¹ sur la première couche du sol, 1,42 gcm⁻¹ sur la seconde et prend la valeur de 1,32 g.cm⁻¹ sur 40-60 cm (Tableau.4). Ces résultats corroborent ceux qui ont été notés dans le site (Belagrouz, 2013). La masse volumique évaluée par le poids de l'échantillon du sol sur son volume apparent semble plus élevée sur la seconde couche traduisant ainsi l'effet de tassement du sol sous labour du sol. Bescana *et al.*, (2006) considèrent que le compactage initial est temporaire et se compense par l'action de l'activité biologique qui agit sur le développement des pores.

2.2. Les caractéristiques physico-chimiques du sol

Les résultats de l'analyse du taux de la matière organique indiquent que les valeurs varient de 1,38%, 1,19% et 0,82% respectivement pour la première, la seconde et la troisième profondeur du sol. La valeur moyenne sur la parcelle est de 1,2 % (Tableau 5). Les spécialistes s'entendent pour dire qu'un taux de 1,5 % est la limite critique théorique, au-dessous de laquelle la fertilité diminue rapidement. Doucet (2006) considère que la teneur en matière organique doit être maintenue à un

niveau variant de 2,5 % à 4 %. Des résultats similaires ont été mentionnés par Kribaa *et al.*, 2002 ; chennafi,,2005 ; Hannachi et Fellahi, 2010 et Belagrouz, 2013.

Tableau 5. Les caractéristiques analytiques du sol

Caractéristiques	Profondeurs (cm)		
	0-20	20-40	40-60
A (%)	39,2	37,2	44,5
L (%)	46,8	49,8	48,5
S (%)	11,0	12,8	7,0
da	1,15	1,42	1,32
MO (%)	1,4	1,2	0,8
pH	8,04	8,11	8,02
CE (mmhoscm ⁻¹)	0,12	0,11	0,09
CaCO ₃ total (%)	20,4	33,3	37,7
CaCO ₃ actif (%)	7,6	6,2	4,8
K ⁺ (mgkg ⁻¹) échange	0,5	0,4	0,5
Na ⁺ (mgkg ⁻¹)échange	0,5	0,6	1,3

La forte concentration en calcaire total est liée à sa valeur notable de CaCO₃ total (%). Ainsi, sur la première couche du sol, la teneur est de 20,4%, tend vers 33,3% sur 20-40 cm et atteint 37,7% sur 40-60 cm (Tab.5). Des résultats similaires ont été relevés par Chennafi *et al.*, 2006 et Belagrouz, 2013.

Le pH est basique avec un gradient croissant sur la profondeur, révélant ainsi la nature calcaire des sols de la région des hauts plateaux (Tableau 5). La valeur du pH a une action sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol qui crée un milieu plus favorable à l'alimentation minérale et à la croissance des plantes. Il indique la disponibilité des éléments minéraux pour la plante, en effet, la plupart des plantes prospèrent sur sol à pH 6,5 (Doucet, 2006). Les données obtenues sur la mesure de la conductivité électrique montrent que le sol est de niveau de salinité bas (Tableau 5).

3. La cinétique d'accomplissement des stades phénologiques des génotypes

3.1. La levée et le tallage

Les indications sur la durée du cycle d'accomplissement des phases de développement sont définies en nombre de jours après semis (NJAS) des génotypes. Le semis a été réalisé le 19 décembre 2013 et le repérage de l'évolution des phases végétatives est effectué au moment où 50 % des plants ont atteint le stade correspondant.

Les résultats sur ce paramètre indiquent que pour les dix variétés étudiées, la durée de la levée est en moyenne de 32,3 JAS. Le génotype le plus précoce prend une durée de 31 JAS. Par contre, celui relativement tardif a une durée de 34 JAS. (Fig.15). Dans l'ordre décroissant de précocité se classent les variétés suivantes : [Oued Zenati, Hedba, Megress] > [Djenah Khetaifa, MBB, Simeto] > [Waha, Gta/dur] > [Guemgoum Rkhem, Bousselam]. L'écart varie d'un JAS à 3 JAS entre les 4 groupes des génotypes étudiés déterminés sur la base de la précocité à la levée (Fig.15). Les variétés locales sont caractérisées par une précocité à la levée par rapport aux variétés introduites. Les génotypes introduits ont pris en moyenne un retard de trois jours.

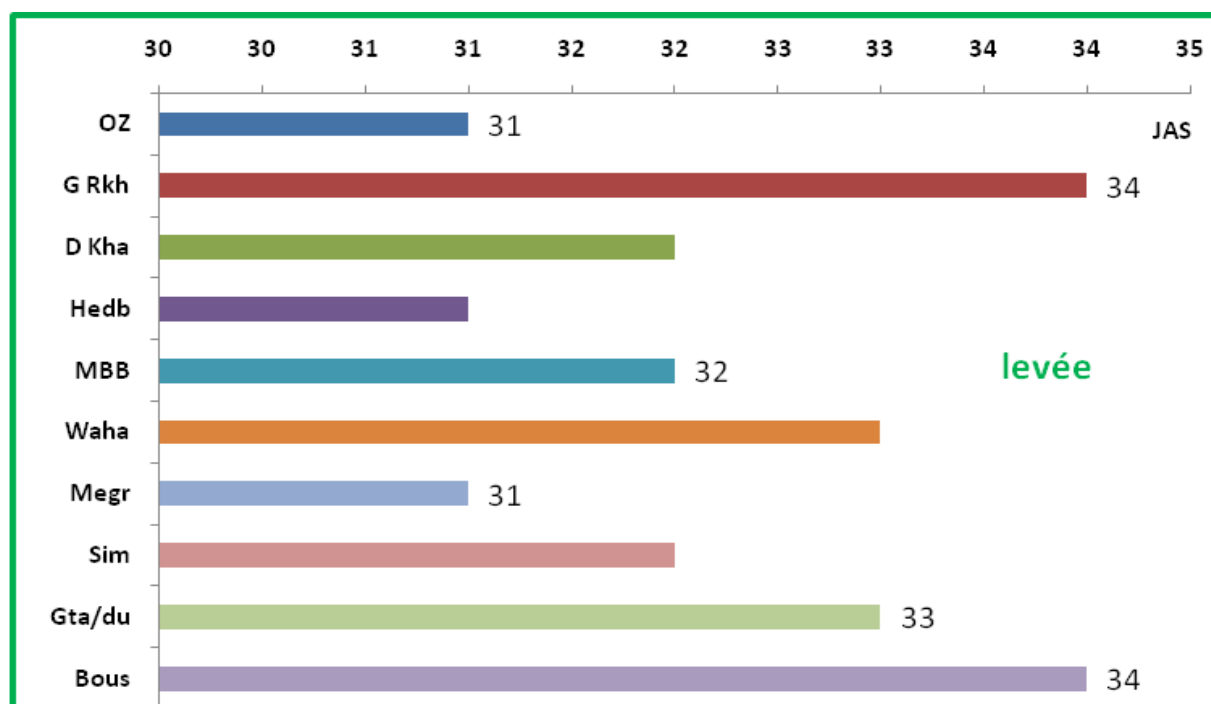


Figure15 . Variation de la précocité à la levée chez les génotypes testés

Les observations indiquent que pour la durée d'accomplissement du stade tallage, certains génotypes prennent une durée minimale de 69 JAS, par contre d'autres prennent un retard de trois jours (Fig.16). Ainsi, la durée moyenne pour ce stade est de 71 JAS. Le gradient décroissant prend le classement suivant : [Guemgoum Rkhem, Djenah Khetaifa, MBB]> [Hedba]> [Megres, Simeto, Waha]> [Gta/dur, Oued Zenati] > [Bousselam]. L'écart est d'un JAS à 4 JAS entre les 5 groupes. Bousselam est le génotype le plus tardif pour le stade tallage (Fig.16).

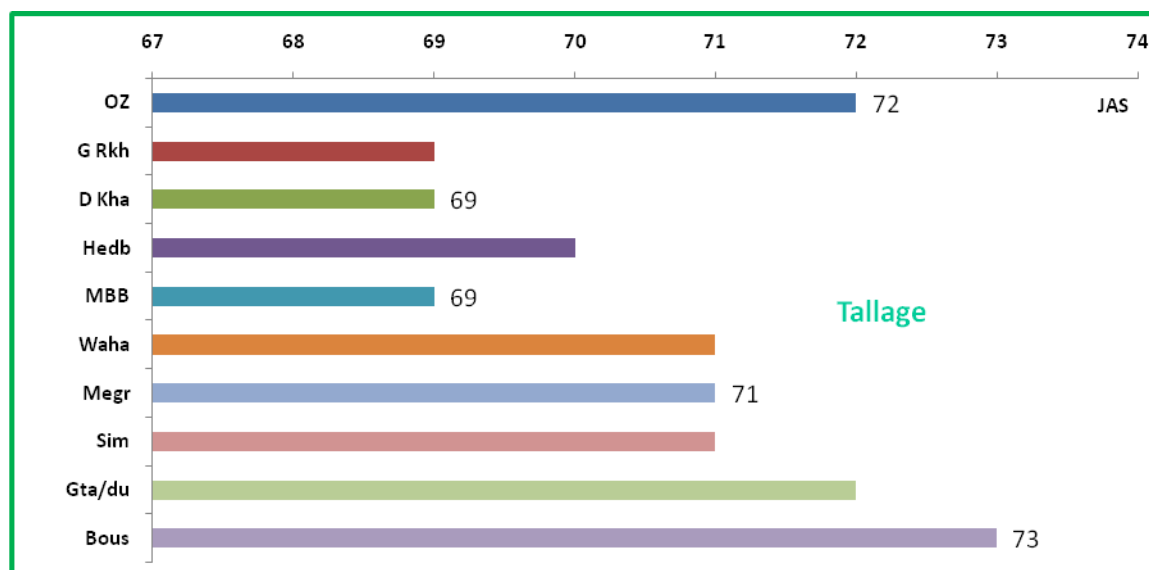


Figure 16. Variation de la précocité au tallage chez les génotypes testés.

3.2. L'épiaison et la floraison

Pour les dix variétés étudiées, la durée d'épiaison en jours après semis est en moyenne de 146,0 JAS. En effet, la durée varie de 142 JAS pour la variété précoce à 149 JAS pour celle qui est tardive. Dans l'ordre décroissant de précocité, sont repérées les variétés suivantes : [Megress, Waha]> [Simeto, Gta/dur, Bousselam]> [Djenah Khetaifa] > [Hedba, Guemgoum Rkhem] > [MBB, Oued Zenati] (Fig.17). L'écart est d'un JAS à 7 JAS entre les 5 groupes de variétés. Les résultats révèlent que Waha et Megress ont épié après 142 JAS et sont classées au premier rang de précocité. Elles sont suivies par Simeto, Gta/dur et Bousselam avec 144 JAS. Toutefois, les génotypes qui sont considérés à cycle long au cours de cette expérimentation sont Oued Zenati et Mohamed Ben Bachir et se distinguent par une durée de 149 JAS. Le stade épiaison est déterminant dans la productivité du cultivar. En effet, à ce stade l'architecture de la plante devient apparente, indiquant le potentiel de rendement du génotype (Abbassenne *et al.*, 1998).

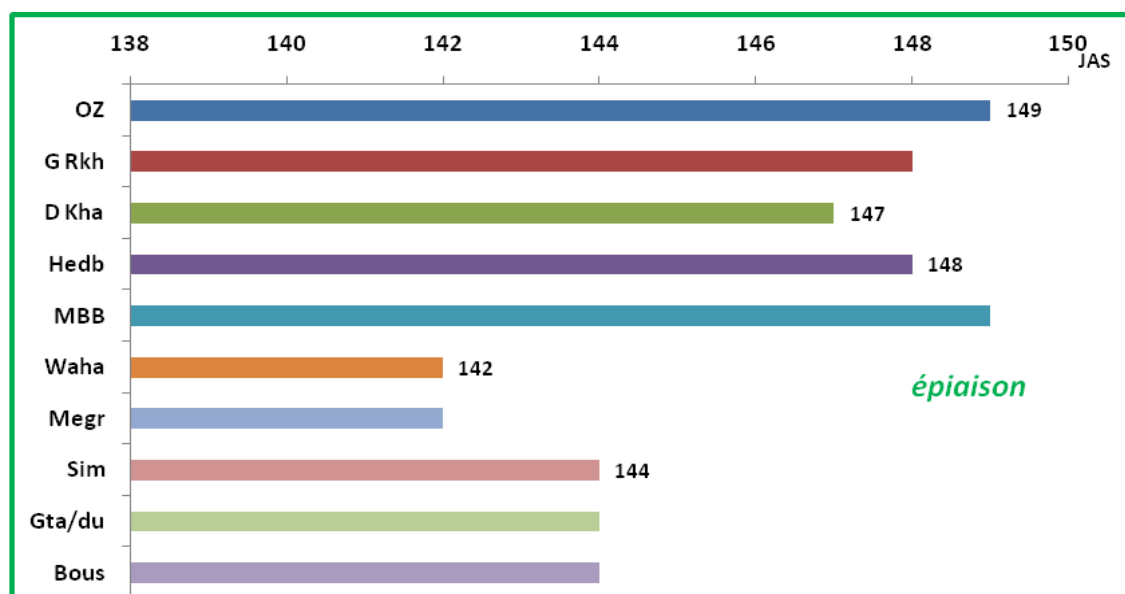


Figure17. Variation de la précocité à l'épiaison chez les génotypes testés

Pour la floraison, la durée moyenne pour les dix cultivars est de 153,2 JAS. La variation est de 151 JAS à 157 JAS. Les niveaux des valeurs révèlent 6 échelles de variation : [Waha]> [Oued Zenati, Djenah Khetaifa, MBB, Megres, Bousselam]> [Hedba] > [Guemgoum Rkhem]> [Simeto] > [Gta/dur] (Fig. 18). Entre les 6 groupes, le NJAS est de 1 JAS à 6 JAS, ces résultats mettent en relief le grand écart en NJAS entre les différents génotypes étudiés.

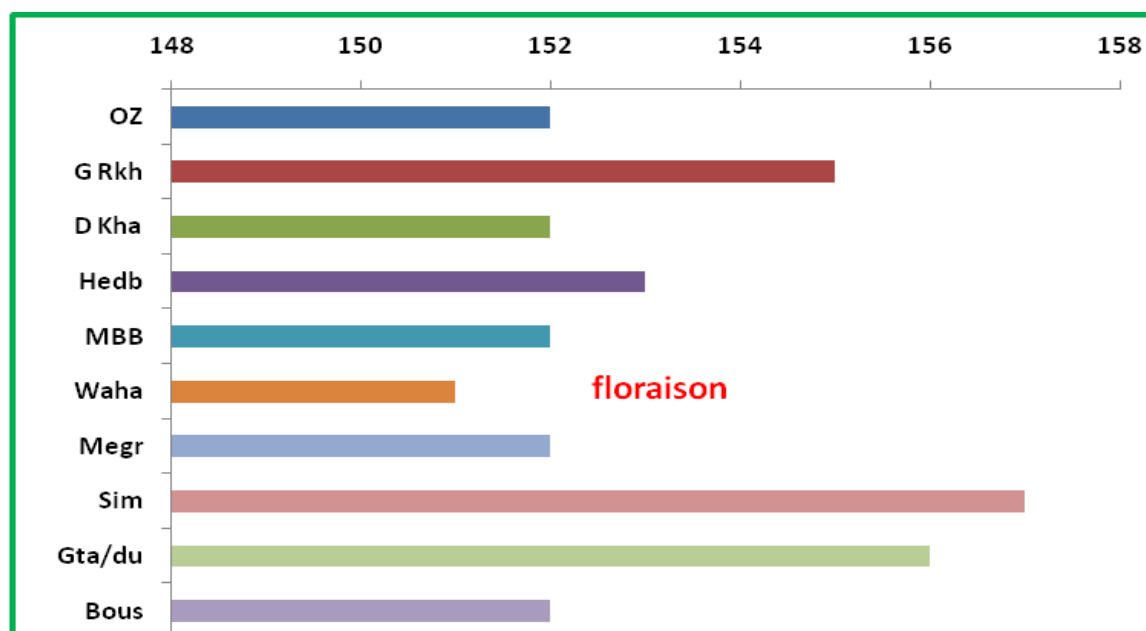


Figure 18. Variation de la précocité à la floraison chez les génotypes testés.

3.3. La durée du cycle des génotypes

La durée du cycle des génotypes étudiés est de 187,4 JAS. Les notations sur ce paramètre indiquent que l'écart varie de 1 JAS à 6 JAS. Le génotype le plus tardif a pris 190 JAS. Le classement indique que Waha et Megress sont plus précoces. Tenant compte du NJAS total du cycle, les génotypes se repèrent en 7 groupes à travers un ordre décroissant de précocité suivant : [Waha, Megress]> [Simeto]> [Gta/dur]> [Guemgoum Rkhem, Hedba, Bousselam]> [Djenah Khetaifa]> [Oued Zenati, MBB] (Fig.19).

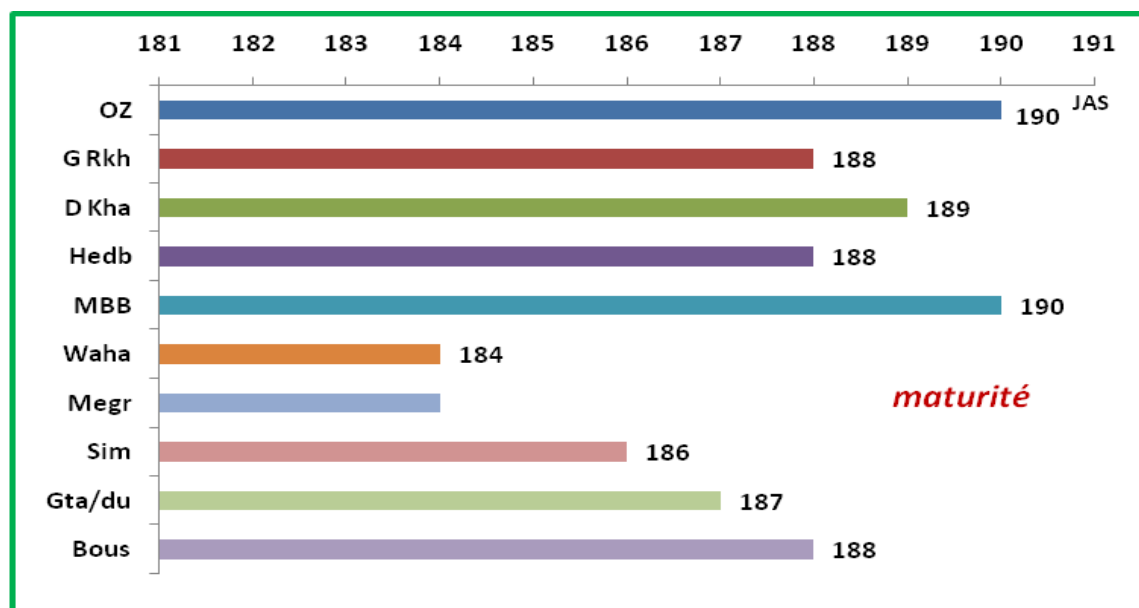


Figure 19. Durée du cycle végétatif des génotypes.

4. Les paramètres physiologiques

4.1. La teneur en chlorophylle

L'analyse de la variance indique un effet significatif de la teneur en chlorophylle (TC, SPAD) des feuilles, traduisant la variabilité d'une variété à une autre (Tab.6).

Tableau 6. Carré moyen des écarts de l'analyse de la variance de la chlorophylle

Source de Variation	ddl	CME
V.Totale	39	19,66
Variété	9	45,21 **
Résidus	30	11,99

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

La moyenne pour les dix géotypes est de 24.8 SPAD. Ainsi, Guemgoum Rkhem et Boussellam se distinguent par les faibles valeurs avec respectivement 20,3 SPAD et 21,2 SPAD (Fig.20). Les variétés Simeto et Megress se démarquent dans l'ordre par des niveaux supérieurs de 30,3 et 29,9 SPAD ; le cultivar Waha se repère par 26,3 SPAD (Fig.20).

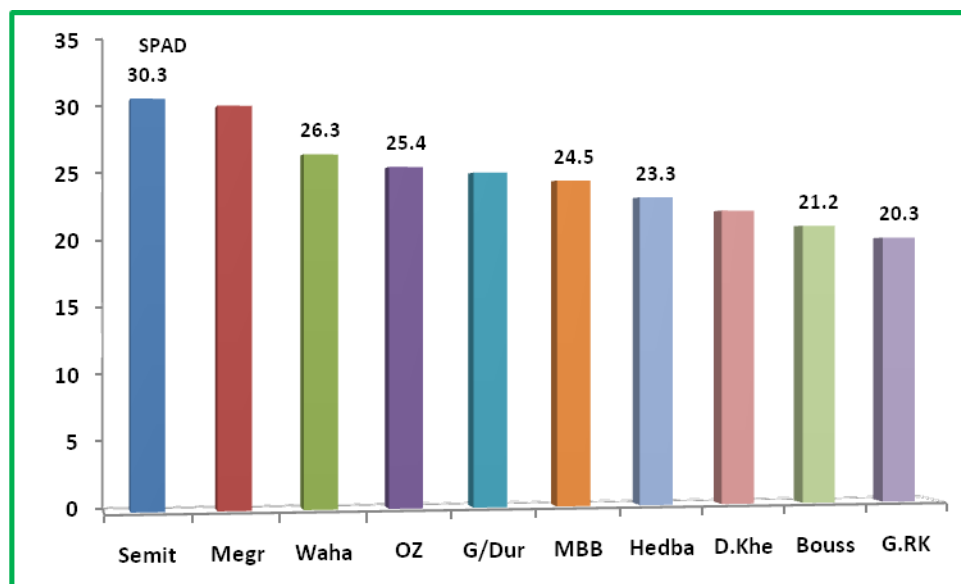


Figure 20. Variation de la teneur en chlorophylle chez les variétés

Ces résultats paraissent similaires à ceux notés par Allali et Ikhlef (2013). Par contre en environnement méditerranéen pluvial similaire, des valeurs variant de 49,2 SPAD à 55,9 SPAD ont été mentionnées chez 14 variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) (Kiliç et Yağbasanlar, 2010). La diminution de la photosynthèse, qui fait suite à la réduction de la teneur relative en eau et du potentiel hydrique foliaire, est causée par la pénétration du CO₂ limitée par une fermeture des stomates. Bousba *et al.* (2009), indiquent qu'une diminution de la teneur en chlorophylle est remarquée chez le blé dur sous stress hydrique. Aussi, la variété qui accumule plus de protéine est celle aussi qui a la plus forte diminution de la chlorophylle.

La réduction de la teneur en chlorophylle est attribuée aux cultivars qui sont moins résistants à un effet de manque d'eau (Kiliç et Yağbasanlar, 2010 ; Khayatnezhad *et al.*, 2011). Les auteurs rappellent l'utilité de l'eau dans la synthèse de la chlorophylle. La teneur en chlorophylle des feuilles est fonction de nombreux facteurs, d'une part de l'âge des feuilles, de la position des feuilles, et d'autre part, des composantes environnementales par la lumière, la température et par l'eau (Hikosaka *et al.*, 2006). Toutefois, le stress hydrique est l'une des principales contraintes qui affecte le niveau de la teneur en chlorophylle chez la plante (Mingcai

et al., 2007 ; Kiliç et Yağbasanlar, 2010 ; Khayatnezhad *et al.*, 2011). Les génotypes qui ont la capacité photosynthétique intrinsèque la moins affectée par le déficit hydrique présentent une efficacité de l'utilisation de l'eau plus élevée et donc une plus grande capacité de survie (Araus *et al.*, 1991).

4.2. La température de la canopée

L'analyse de la variance de la température de la canopée indique un effet génotype non significatif (Tableau 7). Ainsi, les génotypes étudiés ne présentent pas de variabilité, ils ont une réponse similaire aux conditions de la température de l'air. Les températures ont été relevées le 26 du mois de mai (2014). Les valeurs moyennes varient de 22,4 °C à 23,4 °C , Oued zenati, Djenah khetaifa et MBB (Fig. 21).

Tableau 7. Carré moyen des écarts de l'analyse de la variance de la température.

Source de Variation	ddl	CME
V.Total	39	1,27
Variété	9	0,32 ^{ns}
Résidus	30	1,6

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

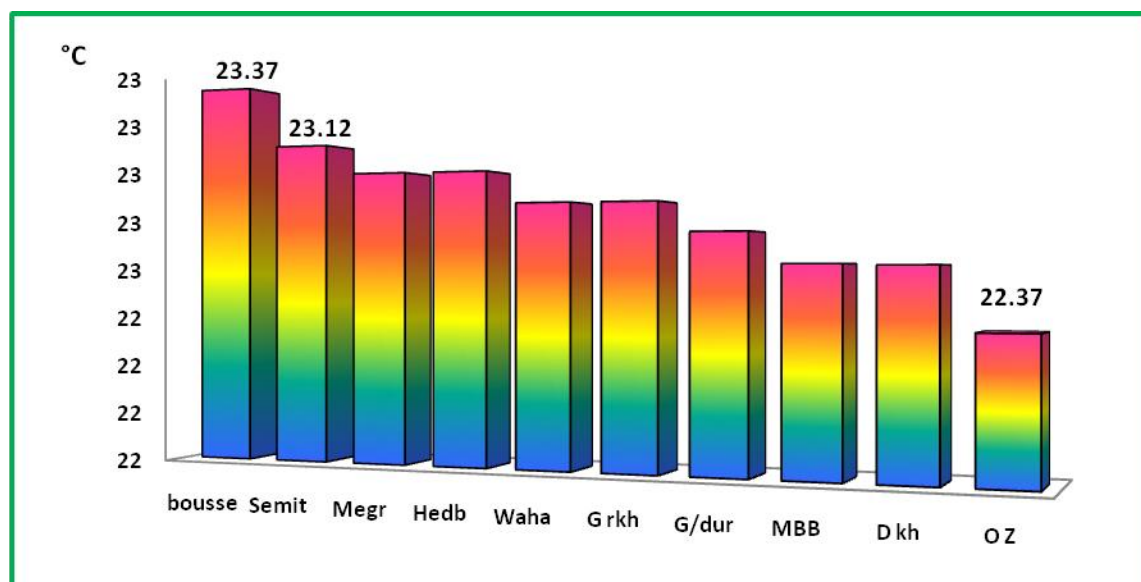


Figure 21. Température moyenne de la canopée chez les variétés étudiées

Pietragalla (2012) considère que les génotypes avec des températures plus fraîches se distinguent par un statut d'hydratation meilleur. Selon Dakheli *et al.* (1993), la capacité des plantes à maintenir une température foliaire basse est une indication de leur forte capacité à extraire l'eau du sol et à se rafraîchir par transpiration ; les variétés maintiennent une activité photosynthétique élevée autorisant un rendement plus élevé sous stress terminal. La mesure de la température de la canopée a bénéficié d'un certain intérêt comme une technique de criblage pour la résistance au stress.

Ce paramètre très intéressant mérite plus de mesures et recommande plus d'attention pour être plus fiable et contribue ainsi à des interprétations plus logiques dans les aspects de comportements variétales. Théron (1964) mentionne l'importance de la valeur de la température dans l'intensité des échanges gazeux chlorophylliens.

4.3. La Teneur relative en eau

La TRE est un paramètre physiologique indicateur de la résistance des plantes vis-à-vis d'un stress hydrique. Le maintien d'un potentiel hydrique élevée est lié à la capacité à limiter les pertes d'eau par transpiration.

Les résultats de l'analyse de la variance sur la teneur relative en eau (TRE) n'indiquent pas de variabilité significative sous l'effet du génotype, de la date de mesure et non plus sous l'effet de l'interaction variété x date. Par conséquent, la teneur relative en eau est similaire sous l'ensemble des effets cités (Tableau.8). Toutefois, les résultats indiquent que la TRE varie de 68,7 % chez Gta/dur à 79,6 % pour Djenah khetaifa (Fig.22).

Ces résultats corroborent ceux de Najem, 2012 et Allali et Ikhlef, 2013, mesures notées sur la culture du blé dans les mêmes conditions pédoclimatiques.

La teneur relative en eau est un indicateur de l'état hydrique de la plante (Bajji *et al.*, 2001). Mullan et Pietragalla (2012) indiquent que ce paramètre traduit une mesure du déficit hydrique de l'eau de la feuille. Clarke *et al.* (1991) suggèrent que la TRE est un critère du criblage pour la sélection des lignées tolérantes à la contrainte hydrique.

Tableau 8. CME de l'analyse de la variance de la teneur relative en eau

Source de Variation	ddl	CME
Bloc	3	221,94 ^{ns}
Variété	9	131,24 ^{ns}
Date	1	255,71 ^{ns}
Date x Variété	9	96,97 ^{ns}
Résiduelle	57	103,18

^{ns, *} = Effets non significatif et significatif au seuil de 5% et 1%, respectivement.

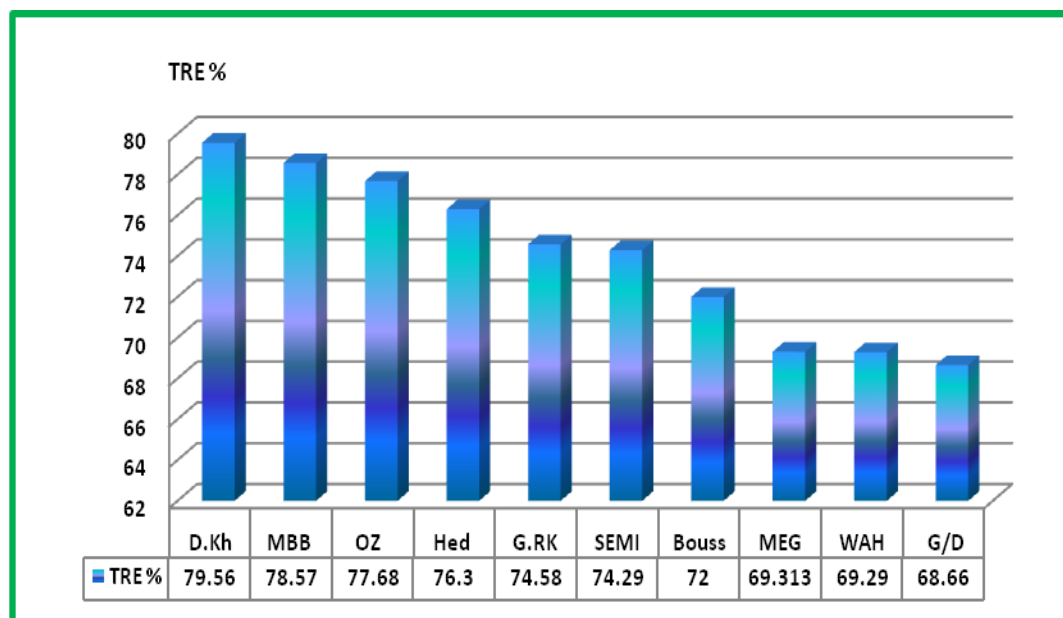


Figure 22. La teneur relative en eau (TRE,%) mesurée chez les variétés.

En fonction des dates de mesure, la TRE prend la valeur de 72,2% au 147 JAS et 75,8% au 167 JAS, correspondants respectivement à l'épiaison et à la floraison.

L'interaction génotypes x dates indique qu'au stade de l'épiaison (d1), la TRE relevée chez la variété WAHA est de 63,11 %, par contre, D.Khetaifa s'est distinguée par 81,8 %. Au stade de floraison (d2), la TRE varie de 72,2 % chez Bousselem à 80,5 % chez Hedba (Fig.23).

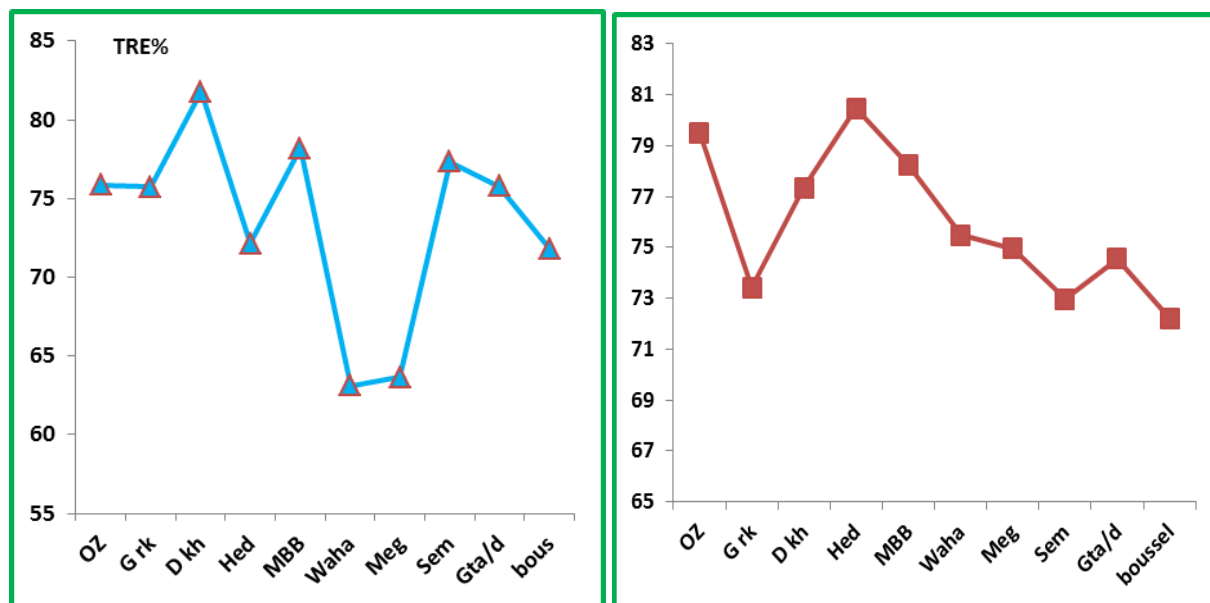


Figure 23. Variation de la TRE chez les variétés en fonction des dates (d1: gauche, d2: droite)

Beltrano et Ronco (2008) indiquent que la turgescence foliaire est un bon indicateur du statut hydrique de la plante. La contenance en eau des feuilles de blé dépend du stock d'eau dans le sol. En revanche, la TRE diminue proportionnellement avec la réduction d'eau contenue dans le sol (Bajji *et al.*, 2001). La TRE est liée aussi au système d'adaptation de la plante. En effet, certaines plantes ont le pouvoir de fermer leurs stomates en condition de fortes températures et de manque d'eau (Slafer et Andrade, 1990).

4.4. L'indice d'intégrité cellulaire

L'indice d'intégrité cellulaire reproduit le degré de sensibilité de la membrane cellulaire de la plante stressée. L'analyse de la variance reflète un effet différentiel significatif chez les génotypes étudiés (Tab.9). En revanche, le seuil de sensibilité de la structure membraneuse diffère d'une manière significative d'un génotype à l'autre.

La tolérance des membranes cellulaires face à la contrainte hydrique est l'un des mécanisme de résistance à la sécheresse le plus efficace chez les plantes.

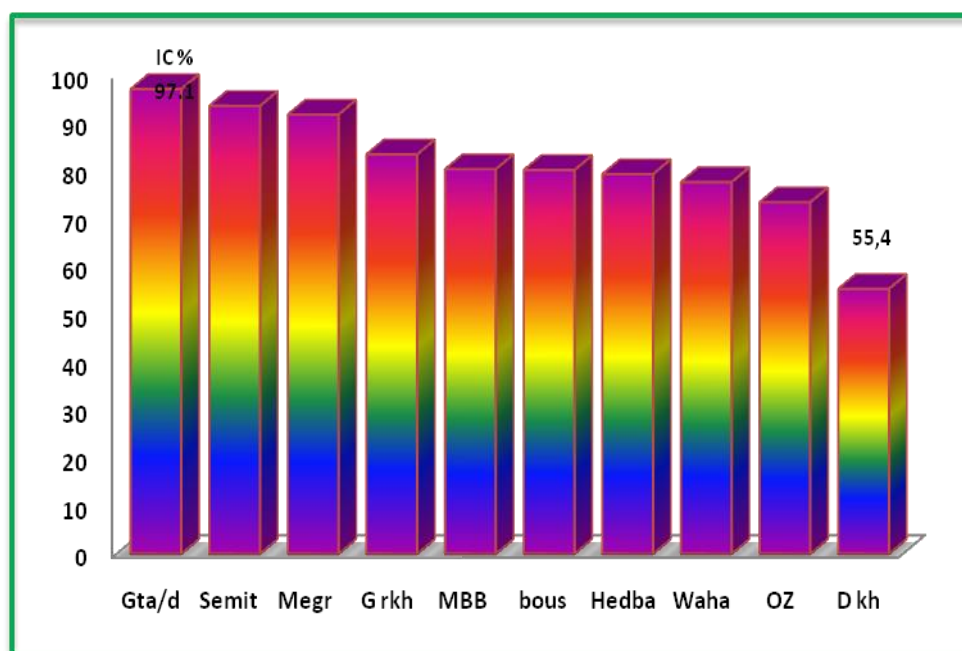
Tableau 9. Carrés moyens de l'analyse de la variance de l'indice de l'intégrité cellulaire

Source de Variation	ddl	CME
V.Totale	39	182.84
Variété	9	575.7**
Résiduelle	30	64.98

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

Les dix génotypes testés ont un indice d'intégrité cellulaire moyenne de 81.2%. C'est un pourcentage bien expressif, en occurrence déterminant de la sensibilité des génotypes. En effet, les résultats indiquent que l'intégrité cellulaire varie de 55,4 % pour Djenah.Khetaifa à 97, 1 % pour Gta/dur qui se montre plus vulnérable aux stress. MBB et Waha prennent respectivement les valeurs de 80,4 % et 77,7% (Fig. 24).

Ces résultats sont semblables à ceux examinés sur le site expérimental (Allali et Ikhlef, 2013). Ainsi, la contrainte hydrique affecte d'une manière significative la membrane cellulaire chez le blé. La région des hauts plateaux sétifiens se distingue par un déficit hydrique sévère qui se positionne sur les stades de tallage, d'épiaison et de remplissage du grain (Chennafi, 2012). La dégradation de la membrane cellulaire et la réduction de la teneur relative en eau de la feuille chez le blé deviennent remarquables et se localisent sur le second cycle de la plante où l'eau se fait rare (Chennafi *et al.*, 2006 ; Jäger *et al.*, 2014).

**Figure 24.** Variation de l'intégrité cellulaire mesurée chez les variétés

4.5. L'évolution du remplissage du grain de l'épi

L'analyse de la variance de l'évolution du poids du grain de l'épi révèle que ce paramètre dépend significativement du génotype, du stade de mesure et de l'interaction génotype x date (Tabl.10). Les résultats se traduisent par des différences de comportements des génotypes. En effet, la moyenne du poids des mille grains de l'épi est de 23,5 g. Il varie de 19,19g pour Djenah Khetaifa à 29,35 g pour Simeto. Ceci explique que le remplissage du grain de l'épi est lié au génotype. (Fig.25). Meynard (1987) rapporte que lorsque le remplissage du grain se fait dans des conditions de croissance favorables, le poids de l'épi au stade épiaison est un bon indicateur du rendement potentiel attendu.

Tableau 10. Carré moyen de l'analyse de la variance de remplissage du grain des variétés

Source de Variation	ddl	CME
V.Totale	359	294,52
Variété	9	375,96**
Date	8	11956,8**
Date x Variété	72	61,05**
Résidus	270	8.5

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

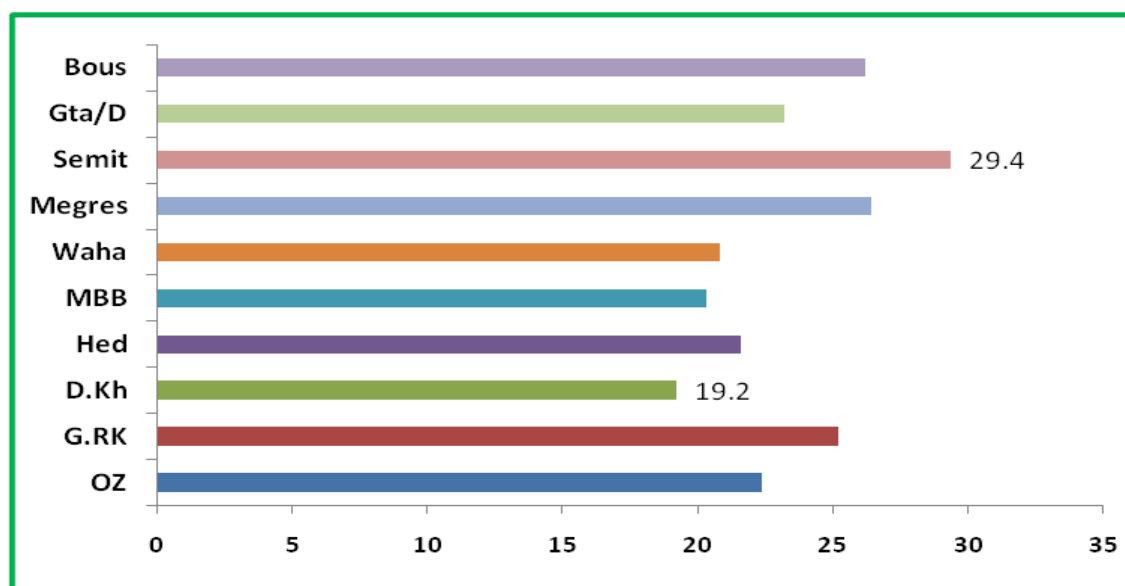


Figure 25. Variation du poids des mille grains de l'épi chez les génotypes testés

Le rendement en grains, sous système pluvial et sous environnement contraignant, est la résultante de la durée de la vitesse de remplissage et de la capacité de translocation des assimilats stockés dans la tige.

La cinétique de remplissage du grain est liée à l'évolution des stades végétatifs. En effet, la valeur minimale est de 1,03g au 157 JAS et de 46,98g au 181 JAS (Fig.26).

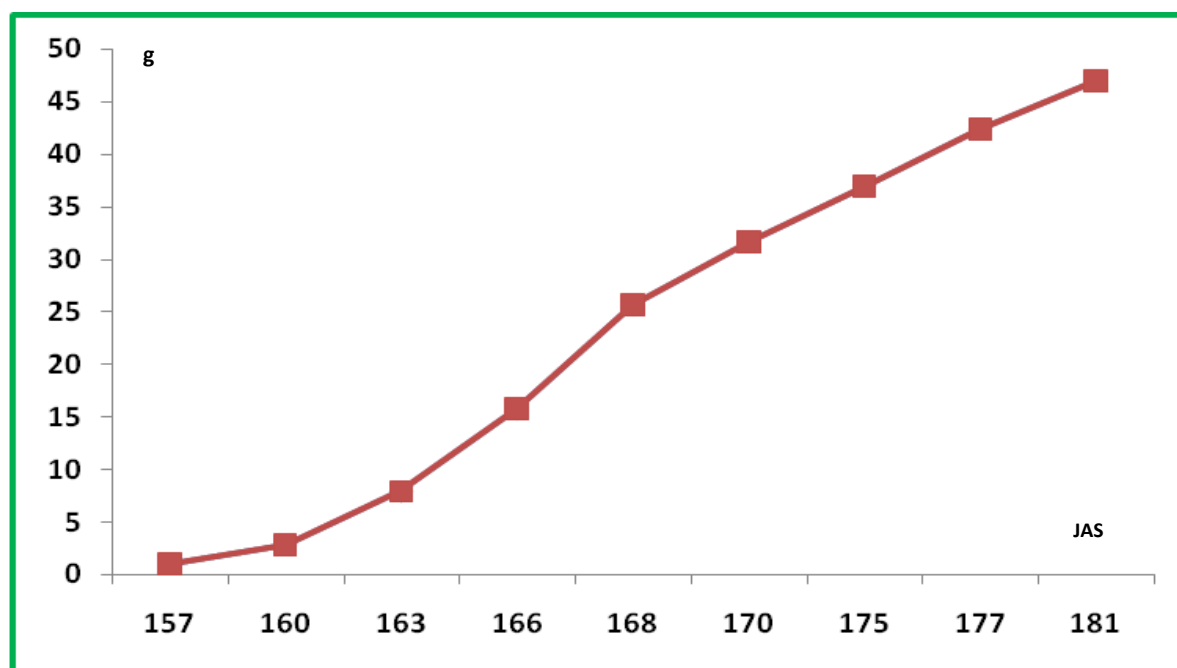


Figure.26. Cinétique du poids du grain de l'épi en fonction de l'évolution des stades végétatifs.

Le remplissage du grain est dépendant de l'activité photosynthétique après le stade épiaison. Le déficit hydrique lors de l'anthèse ou le début du remplissage affecte le poids du grain par l'inhibition de la translocation des assimilats des parties végétatives vers les épis (Wang *et al.*, 2005).

Sous l'effet de l'interaction variété x date, le poids des grains de l'épi chez Waha est de 0,7g au 157 JAS à 39,5 g au 181JAS, par contre Hedba prend les valeurs de 0,8g à 60,9g (Fig.27).

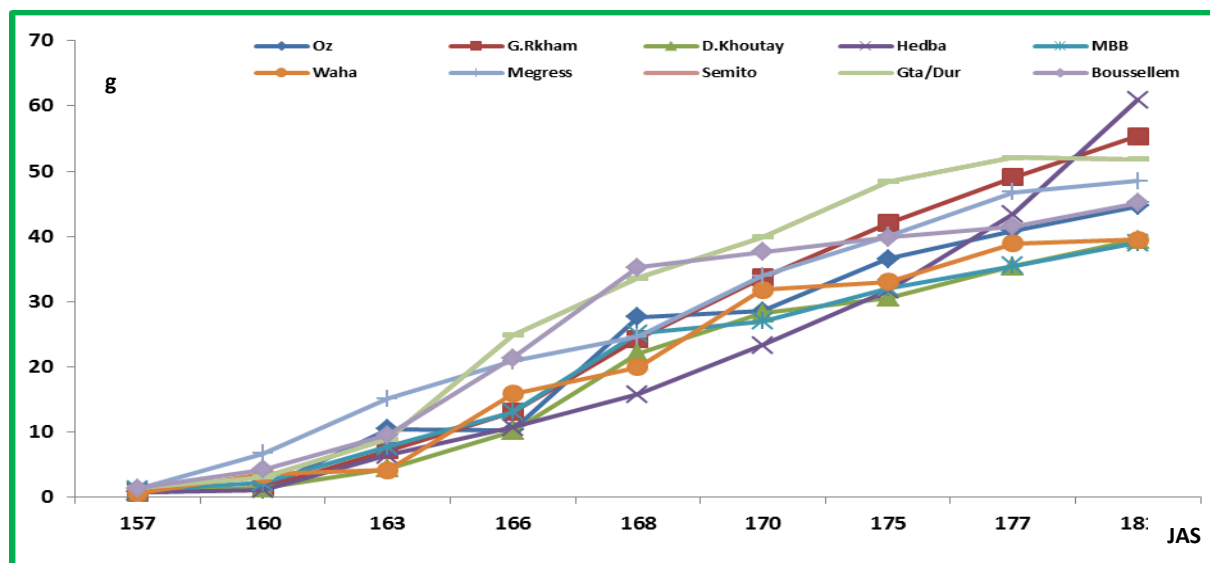


Figure 27. Cinétique de remplissage des grains des génotypes, liée aux stades végétatifs

5. Les caractères morphologiques

5.1. La hauteur de la plante

L'importance de la hauteur sous stress est liée à la capacité de croissance du système racinaire en profondeur. De ce fait, une paille haute est souvent associée à un système racinaire profond.

En fonction des variétés étudiées, les longueurs des tiges des génotypes sont significativement différentes (Tab.11). Les résultats de l'analyse reflètent une variabilité différentielle chez les génotypes étudiés pour la hauteur du chaume. En effet, la hauteur moyenne de la végétation pour les dix génotypes est de 65,6 cm. Le cultivar Djenah Khetaifa avec une valeur de 93,9cm apparaît le plus haut. D'autre part, le plus court, Megress mesure 53.9 cm (Fig.28).

Tableau 11. Carré moyen de l'analyse de la variance de la hauteur de la plante

Source de Variation	ddl	CME
V.Totale	39	173,108
Variété	9	649,62**
Résidus	30	30,15

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

Une hauteur de paille importante est une caractéristique désirable en zone semi-aride, suite à ses effets bénéfiques lors des années sèches. Ces effets sont attribués à la capacité de stockage et de transfert des substances glucidiques pour la formation du grain.

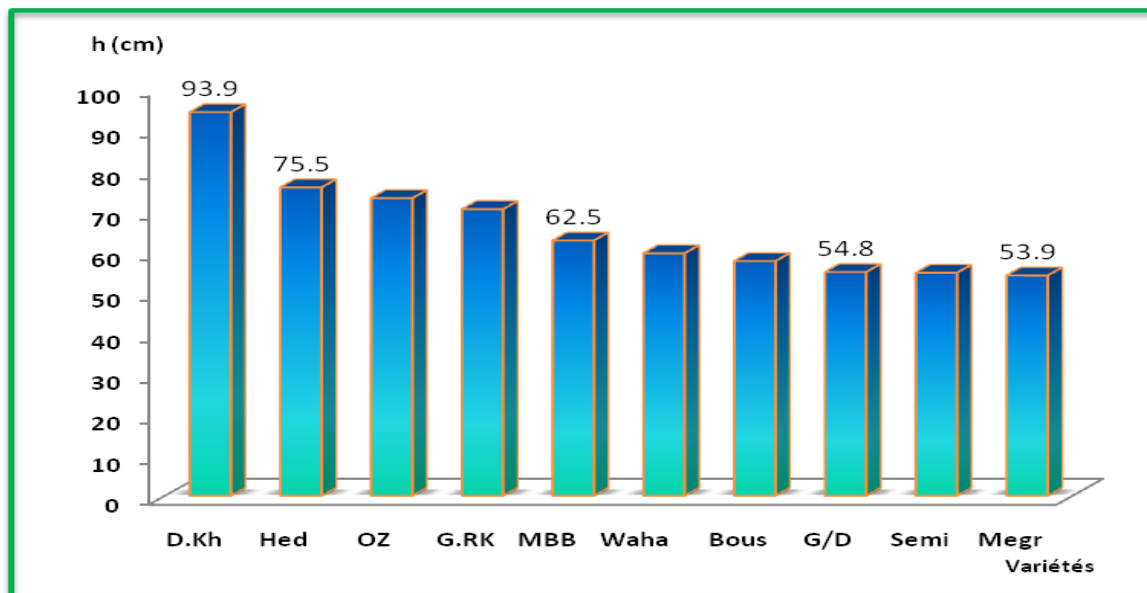


Figure 28. La hauteur de la plante chez les variétés

5.2. La surface foliaire de la feuille étendard

La surface foliaire conditionne la résistance à la sécheresse. Benmahammed *et al.* (2008) indiquent que suite à la variabilité climatique des hauts plateaux et à l'intensité des stress de fin de cycle, la stratégie d'évitement est théoriquement la plus intéressante, car, dans ce cas, la plante évite le stress au lieu de le contrer.

D'autre part, Cherfia (2010) trouve une corrélation positive entre le rendement et la surface foliaire. Ainsi, les variétés de blé étudiées qui se distinguent par des surfaces foliaires les plus élevées donnent un rendement en grains élevé. Toutefois, une diminution de la surface foliaire peut affecter le rendement à cause de la réduction de la capacité photosynthétique.

L'analyse de la variance indique une variation significative de l'effet variété, date et de l'interaction variété X date pour la surface foliaire (Tabl.12). Ceci indique que la surface des feuilles des génotypes est fonction du génotype, du stade végétatif et de l'interaction variété X date.

Les mesures réalisées en fonction du génotype déterminent que Bousselem avec 9,9 cm² se caractérise par la plus faible surface foliaire. Par contre, Oued Zenati avec 13,03 cm² se distingue par une surface des feuilles plus importante. La moyenne est de 11,6 cm² (Fig.29).

Tableau 12. Carré moyen des écarts (CME) de l'analyse de la variance de la surface foliaire

Source de Variation	ddl	CME
V.Totale	319	10,4
Variété	9	28,64 ^{**}
Date	7	287,8 ^{**}
Date x Variété	63	9,3 ^{**}
Résidus	240	1,92

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

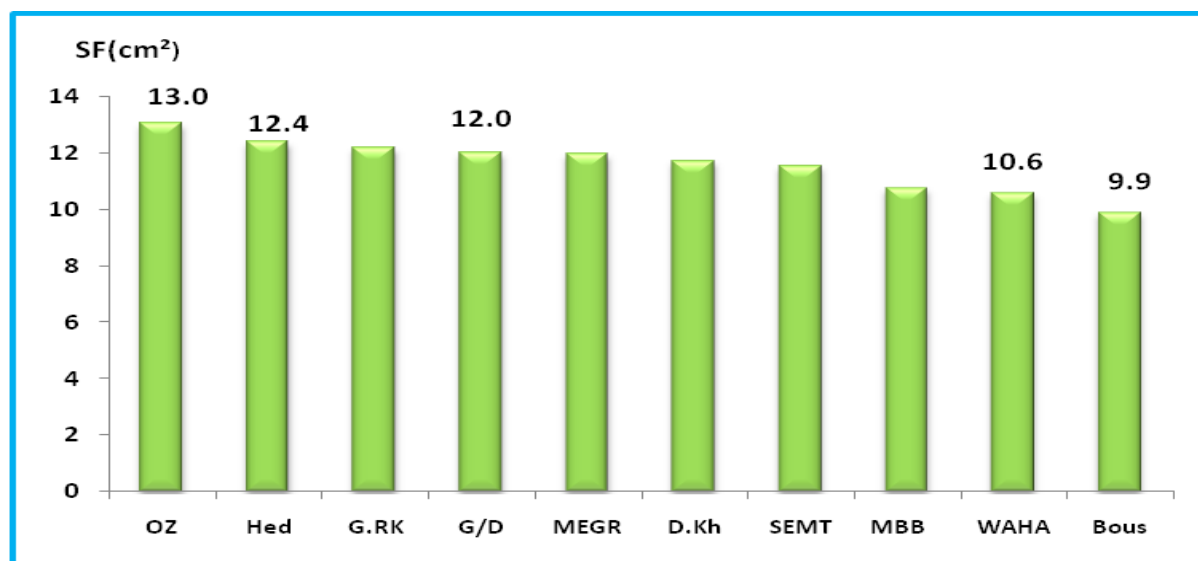


Figure 29. Variation génotypique moyenne pour la surface foliaire

En fonction de l'évolution des stades végétatifs, la surface foliaire varie de 6,6 cm² au 111 JAS (stade tallage) à 15,0 cm² au 160 JAS (Stade de remplissage du grain) (Fig. 30). Les résultats révèlent une croissance progressive jusqu'au 160 JAS. Dès ce stade, la surface foliaire régresse rapidement (Fig.30).

L'interaction génotype X date est caractérisée par des fluctuations de la surface foliaire chez les génotypes en fonction du développement du cycle végétatif. Au 111 JAS (stade tallage), la valeur minimale de 4,8 cm² caractérise Bousselem. Par contre, au 160 JAS, la variété locale MBB prend la meilleure surface foliaire avec 18,3 cm² (Fig.31).

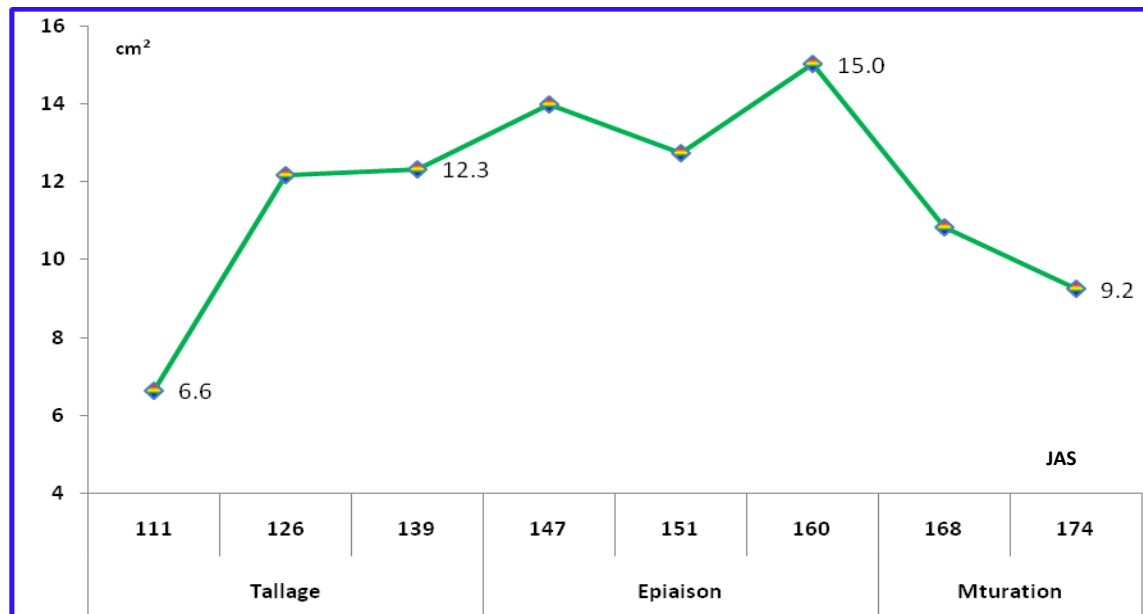


Figure 30. Variation de la surface foliaire en fonction du NJAS

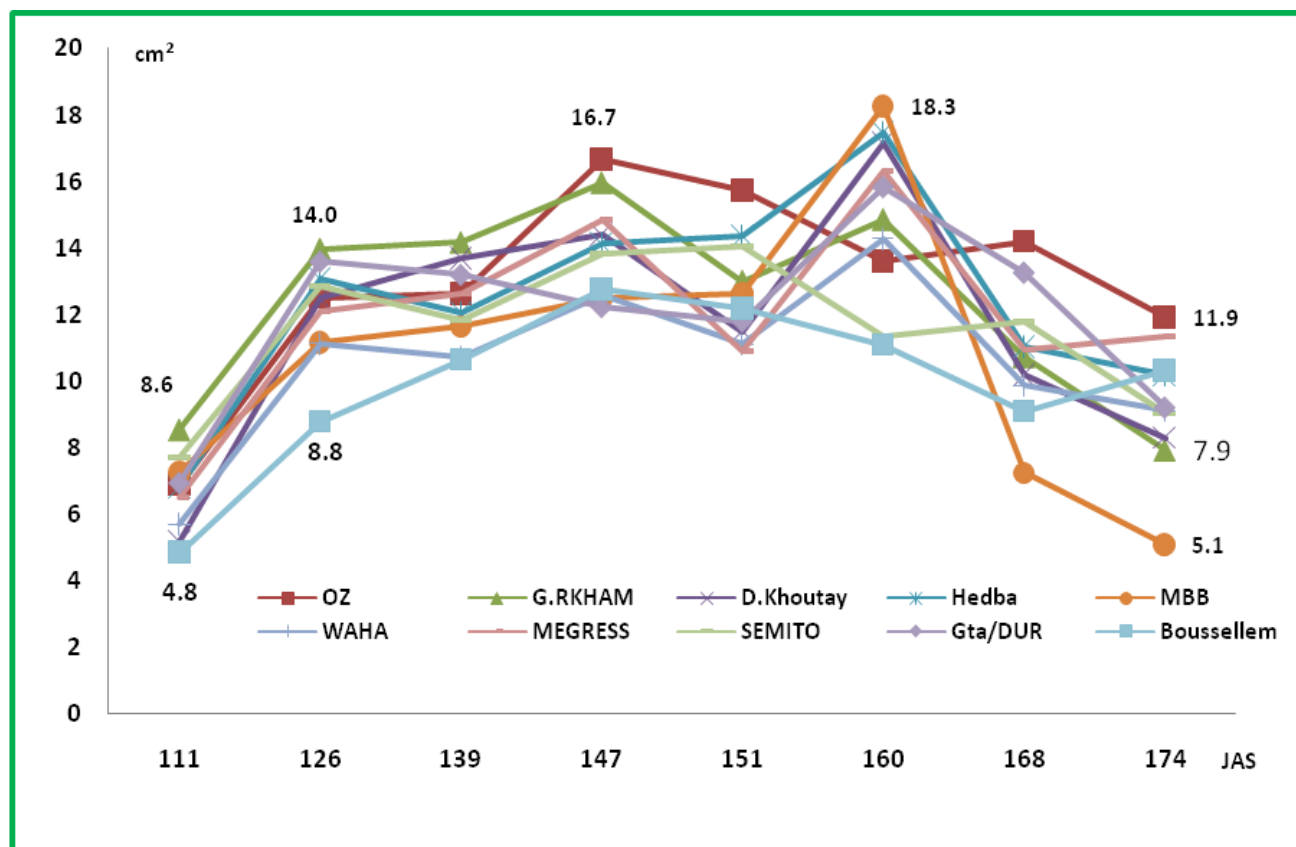


Figure 31. Variation de la surface foliaire sous l'effet de l'interaction génotypes X dates

Nombreux auteurs ont abordé et ont mesuré l'effet des surfaces foliaires chez le blé (Blum, 1985 ; Araus, 1993 ; Balkan *et al.*, 2011). En effet, la transpiration et le carbone fixé par voie photosynthétique sont en fonction de la surface foliaire. Les feuilles favorisent l'ascension de l'eau au niveau des organes (Théron, 1964). En aspirant de l'eau, l'auteur ajoute que les feuilles agissent comme des pompes aspirantes. Toutefois, les feuilles rejettent beaucoup d'eau à travers la transpiration. Ce sont des organes qui permettent à la plante de résister à la sécheresse. Des processus de tolérance à la sécheresse et d'adaptation ont été relevés en fonction de la dimension de la surface de la feuille. Ainsi, dans le maintien du potentiel hydrique, 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. La transpiration est un phénomène physique d'évaporation de l'eau à travers la feuille, ainsi d'importantes quantités d'eau transitent vers l'atmosphère. Abbassenne (1998) se penche sur les variétés dont la surface foliaire est réduite pour l'intérêt qu'elles portent pour la performance du rendement par une meilleure efficacité d'utilisation de l'énergie lumineuse par unité de surface foliaire.

5.3. La cinétique d'accumulation de la matière sèche produite

L'analyse de la variance indique des effets variété, stade de prélèvement et interaction variété X date significatifs pour l'accumulation de la matière sèche au cours du cycle de développement des variétés (Tab.13). Ces effets indiquent une variabilité significative de la matière sèche accumulée. Donc, elle est liée à la variété, la date de prélèvement et à l'interaction variété X date.

La quantité de matière sèche produite en fonction du génotype varie de 21,8 qha⁻¹ chez Bousselem à 30,4 qha⁻¹ chez Megress (Fig.32). Leur production moyenne est de 25,9 qha⁻¹.

Tableau 13. Carré moyen de l'analyse de la variance de la matière sèche

Source de Variation	ddl	CME
V.Totale	319	105,6
Variété	9	301,89 ^{**}
Date	7	3665,51 ^{**}
Date X Variété	63	45,1 ^{**}
Résiduelle	240	10,3

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

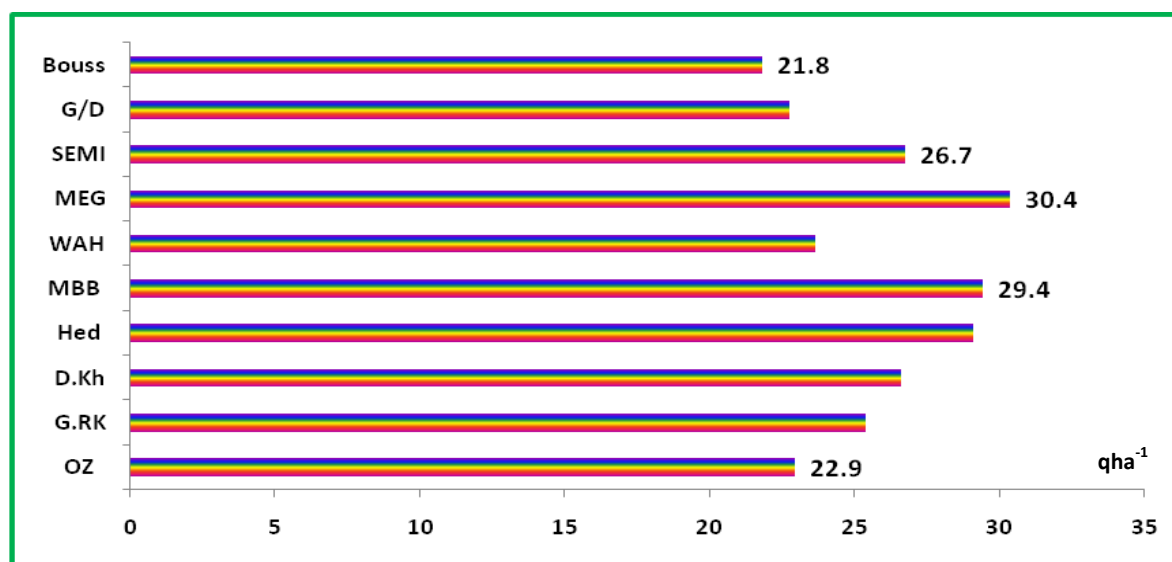


Figure 32. Quantité de matière sèche produite selon la variété.

En fonction du stade végétatif, la matière sèche prend les valeurs de 6,8qha⁻¹ au 111JAS à 35,8 qha⁻¹ au 160JAS (Fig.33).

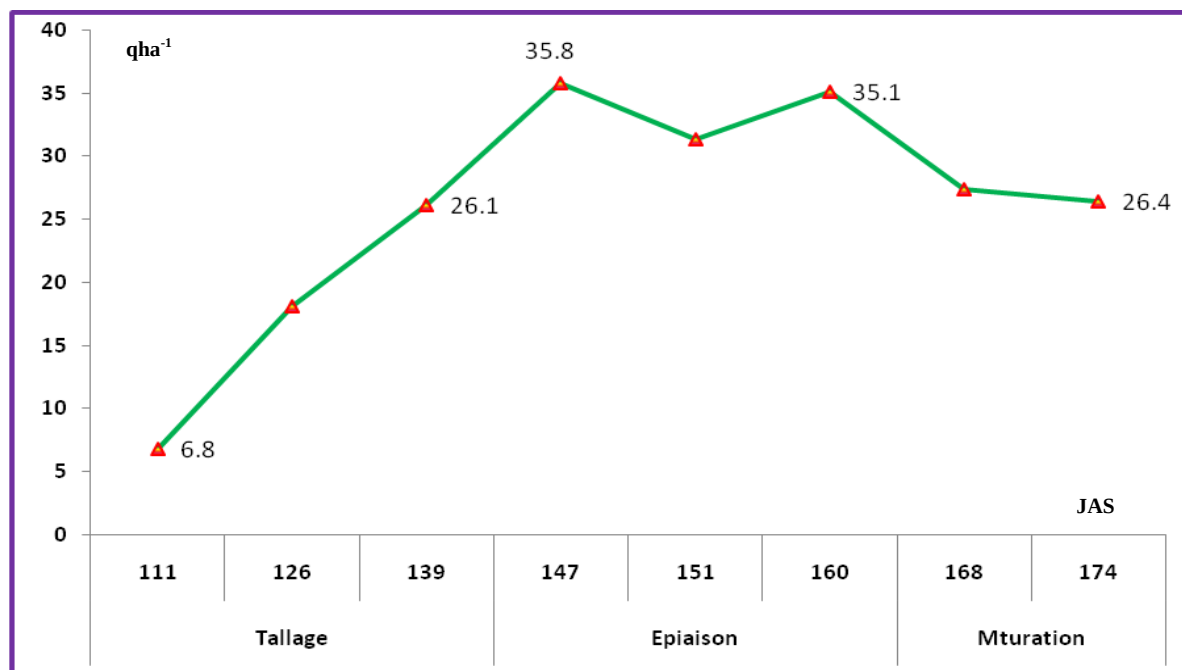


Figure 33. Evolution de la matière sèche en fonction du NJAS

La variabilité significative de l'interaction indique que Hedba prend la faible valeur de la matière sèche avec 4,1 qha⁻¹ au stade de tallage (111 JAS), par contre MBB se démarque par la plus forte matière sèche au stade d'épiaison avec 45,5 qha⁻¹ (Fig.34). Les résultats démontrent l'accroissement de la matière sèche produite chez les génotypes jusqu'au stade épiaison et se réduit à partir du stade-épiaison. Au 174 JAS, c'est la variété Megress qui apparait performante pour produire plus de matière sèche en réalisant 30,7 qha⁻¹(Fig.34).

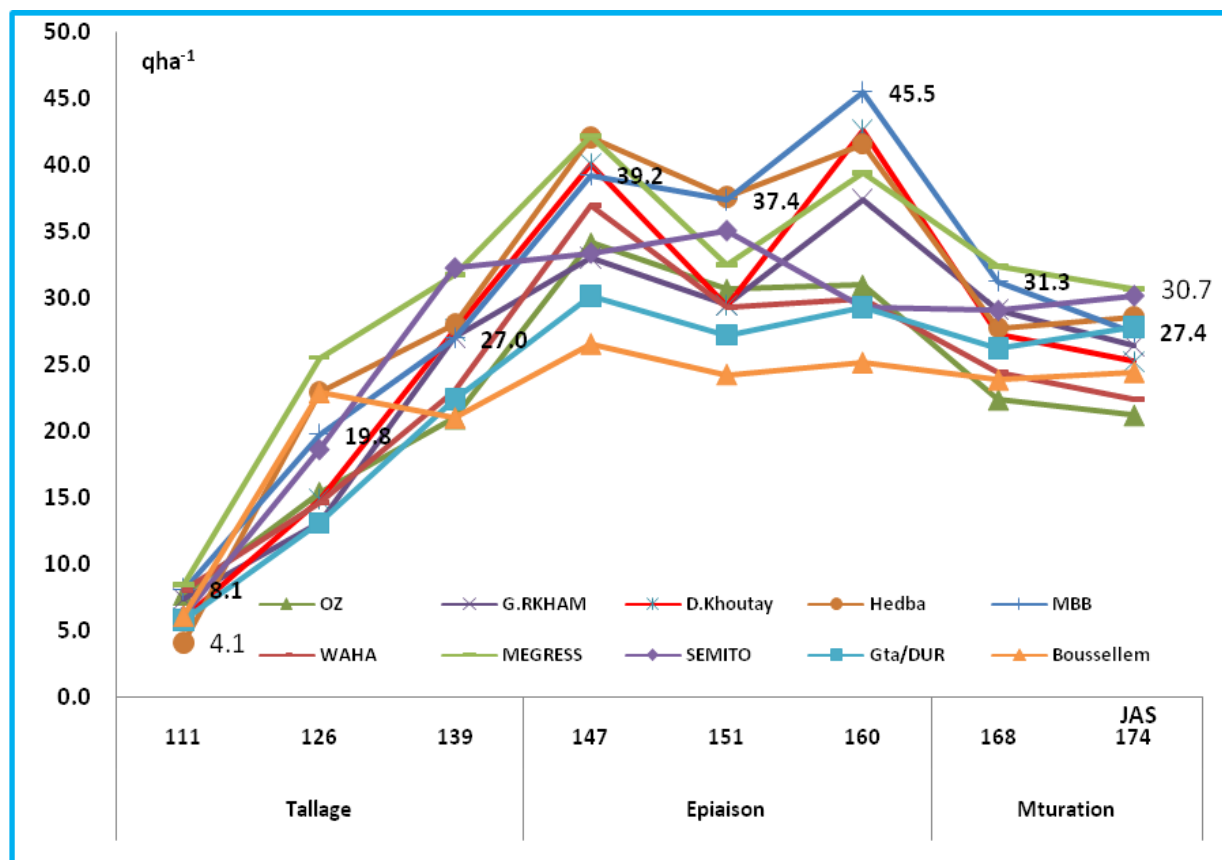


Figure 34. Interaction génotypes X dates pour la matière sèche

6. L'élaboration du rendement

6.1. Les composantes du rendement

L'analyse de la variance montre un effet significatif pour le poids de mille grains, la biomasse aérienne et la paille (Tab.14). Par contre, pour le peuplement épi (NE), le nombre de grain par épi (NGE) et pour le rendement en grains, les résultats indiquent que les génotypes testés ne présentent pas une variation significative (Tab.14).

La variété Djenah khetaifa avec 53,7 g se distingue par un poids de mille grains appréciable comparativement à Waha avec 39,7g. Pour le nombre d'épis, le cultivar Megress produit plus de peuplement/épis avec 195,0 par contre le cultivar MBB semble le moins productif avec 139,4 épis. La fertilité de l'épi varie de 30,7 grains par épi pour Sémito à Bousselem avec 20,5 grains par épi. Pour le NGE et le recours à la PPDS_{5%}, la fertilité de l'épi diffère significativement d'un génotype à un autre. Le niveau des valeurs de ses composantes est exprimé en gain relatif (%) réalisé par le plus performant génotype relativement aux neuf autres (Fig.35). Ce sont ses composantes qui régissent la productivité des cultivars.

Tableau 14. CME de l'analyse de variance pour le rendement et ses composantes.

Source de Variation	ddl	NE	NGE	PMG	RDT
V. totale	39	1518,65	47,91	35,44	61,26
Variété	9	1673,35 ^{ns}	64,8 ^{ns}	103,92 ^{**}	84,5 ^{ns}
Résidus	30	1472,24	42,85	14,9	54,3
	ddl	BIO	PAL	IR	
V. totale	39	40,87	88,1	353,7	
Variété	9	103,31 ^{**}	181,37 ^{**}	520,8 ^{ns}	
Résidus	30	22,14	60,12	303,61	

^{ns}, *, ** = Effets non significatif, significatif au seuil de 5% et 1% respectivement. NE= Nombre d'épi, NGE= fertilité de l'épi, PMG= Poids de mille grains(g), RDT= Rendement grain (qha⁻¹) BIO= Biomasse aérienne (qha⁻¹), PAL= Rendement paille et IR= Indice de récolte(%)

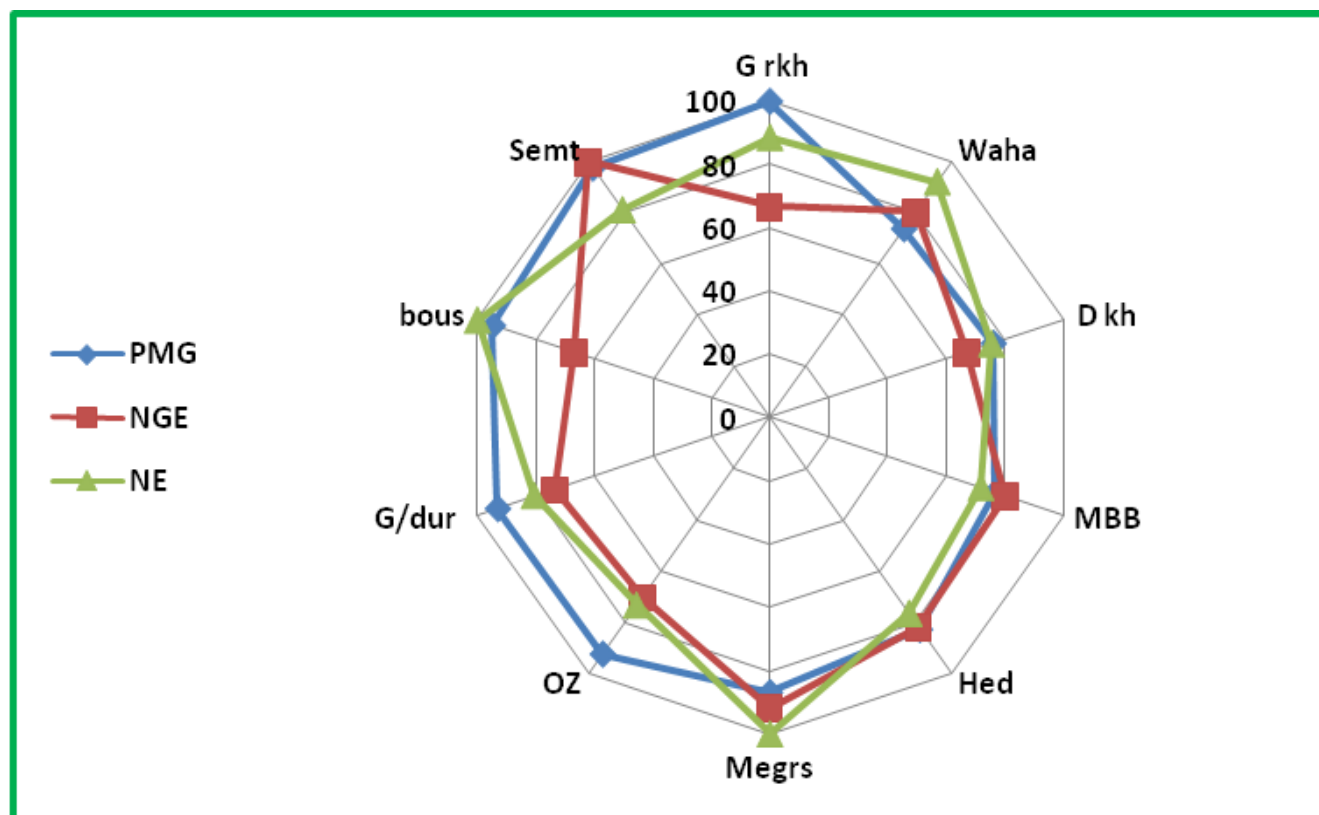


Figure 35. Gains relatifs (%) réalisés sur les composantes de rendement par le cultivar performant relativement aux autres.

6.2. Le rendement en grains, la biomasse aérienne et le rendement en paille

Les résultats traduisent une variabilité significative de l'effet variétal sur la production de la biomasse aérienne (BIO) et la paille (PAL) (Tab.14). Par conséquent, au cours de la campagne

agricole 2013/2014, la réponse des génotypes aux conditions pluviales de l'expérimentation est significativement différente pour ces deux variables mesurées. Toutefois, pour le rendement en grains, la différence entre les génotypes n'est pas significative. Cependant, tenant compte de la différence entre la moyenne de deux niveaux et la PPDS5%, le résultat révèle une variation génotypique pour la production en grains.

La biomasse aérienne réalisée sur les dix variétés testées est de 40,12 qha⁻¹. Toutefois, le cultivar Oued Zenati semble le plus productif en biomasse aérienne avec 48,4 qha⁻¹ relativement au moins productif qui est MBB. La réduction de la biomasse est de 32,6 q/ha. La production de paille varie de 34,78 qha⁻¹ chez Djenah khetaifa à 16,45 qha⁻¹ pour Megress.

Megress semble être le génotype le plus productif de grains avec un rendement de 26,63 qha⁻¹. Cependant, Djenah khetaifa enregistre le plus faible rendement avec 12,1 qha⁻¹. Au cours de la campagne agricole de 2013/2014, le rendement moyen produit par les dix génotypes testés est de 18,1 qha⁻¹.

Tenant compte des résultats concernant la paille et le rendement en grains, les données indiquent que celui qui est performant en grains, ne l'est pas pour la paille et le contraire est vrai. Donc, la productivité du génotype fonctionne en système de compensation sur les composantes.

Les résultats concernant le RDT en grains, la Biomasse et de la Paille sont traduits en gain relatif au cultivar performant pour ses composantes comparativement aux restes des génotypes. Les génotypes Megress, Oued zenati et Djenah khetaifa ont les meilleures valeurs pour le RDT, la Biomasse et la Paille respectivement. (Fig.36).

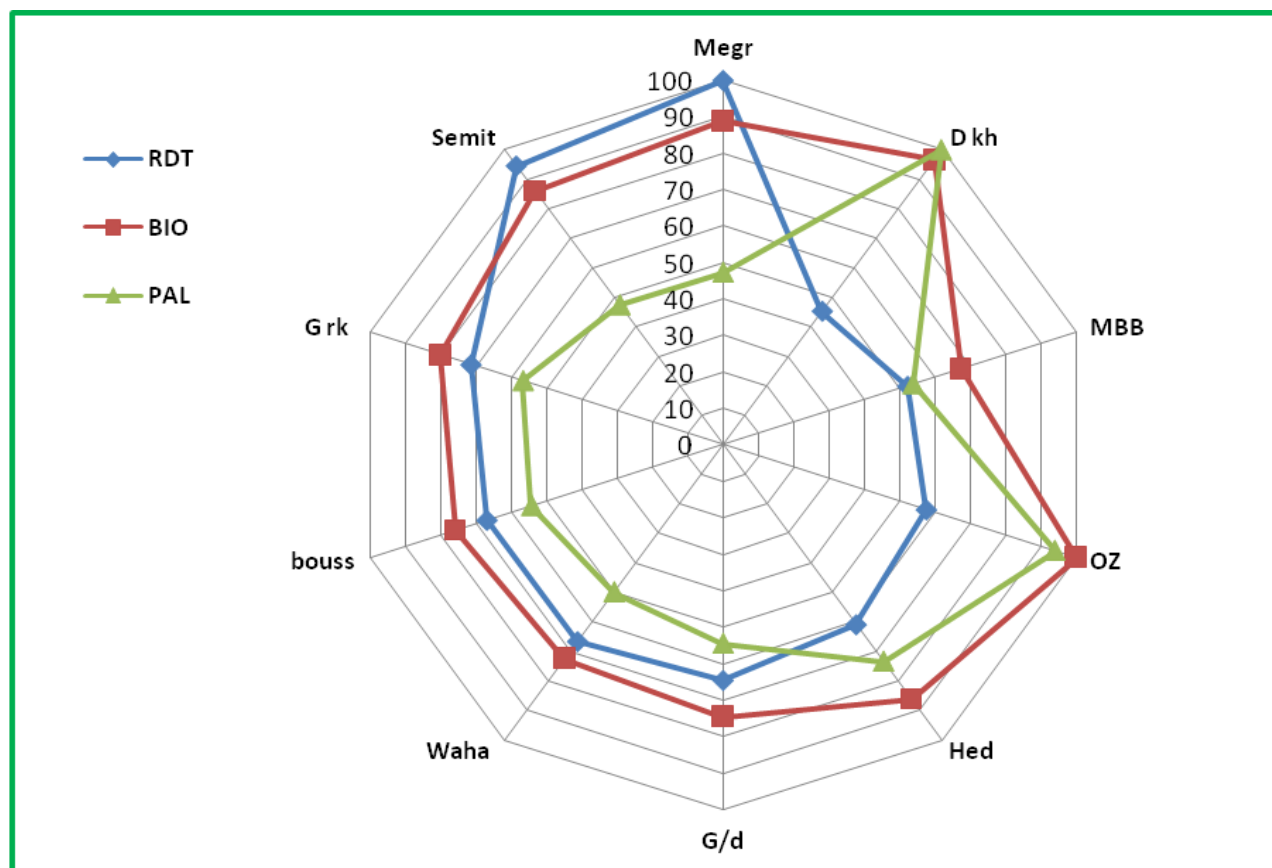


Figure 36. Gains relatifs (%) réalisés des génotypes productifs.

6.3. L'indice de récolte (IR)

L'expression du rapport du rendement en grains sur la biomasse aérienne n'exprime pas de variation significative entre les variétés (Tab.14). Néanmoins, la différence entre la ppds5% et celle de l'écart entre deux moyennes traduit un effet significatif. En effet, pour le cultivar Megress, l'IR prend la plus forte valeur avec 62,2 %, par contre Djenah khetaifa se distingue par le plus faible indice avec 26,0 %, déterminant un écart de 36,13% pour une ppds5% de 25,2%. (Fig.37).

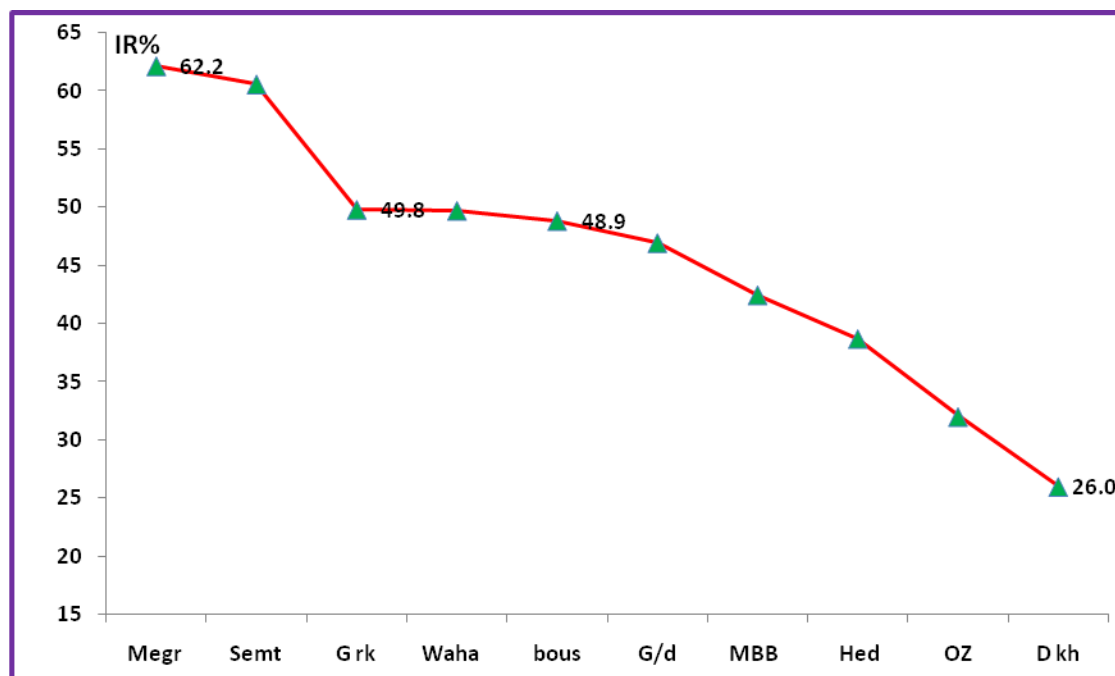


Figure 37. L'indice de récolte chez les géotypes testés.

Les résultats révèlent que les variétés précoces se démarquent par un indice de récolte supérieur à celui des variétés locales tardives. En revanche, ces résultats corroborent ceux qui ont été révélés par les travaux de Merah *et al.*, (2001) dans une étude de comparaison de performances de variétés locales et améliorées.

7. Les composantes du continuum sol-plante-atmosphère

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

L'analyse de la variance de l'humidité du sol mesurée au cours du cycle de la culture indique un effet significatif pour la date de mesure et pour les interactions date x variété et date x profondeur. Par contre, l'effet ne l'est pas pour la variété, la profondeur et pour les interactions variété x profondeurs et variété x date x profondeurs (Tab.15).

En fonction de la date de prélèvement, du semis au stade épiaison, correspondant à 132 JAS, le taux d'humidité varie de 22 à 23,9 %. Du stade floraison (155 JAS) jusqu'à la maturité de la culture (190 JAS), le niveau de la teneur en eau atteint des valeurs inférieures à 15% et tend vers le point de flétrissement (Fig.38). La période de manque d'eau coïncide avec les stades d'épiaison et de remplissage du grain des épis. Ces résultats corroborent ceux rapportés par des auteurs dans les mêmes conditions (Hannachi et Fellahi, 2010 ; Chennafi, 2010 ; Latreche, 2011; Belagrouz, 2013).

Tableau 15. Tableau d'analyse de la variance du taux d'humidité (%) contenue dans le sol.

Source de Variation	ddl	CME
V.Totale	959	26.4
Variété	9	1,23 ^{ns}
Date	7	3269,75 ^{**}
Profondeur	2	1,21 ^{ns}
Date x Variété	63	2,9 ^{**}
Dates x profondeur	14	69,52 ^{**}
Variété x profondeur	18	1,36 ^{ns}
Variété x date x profondeur	126	1,64 ^{ns}
Résiduelle	720	1,38

Ddl : degré de liberté. ^{ns}, * et ^{**} : effet non significatif et significatifs 5% et 1%

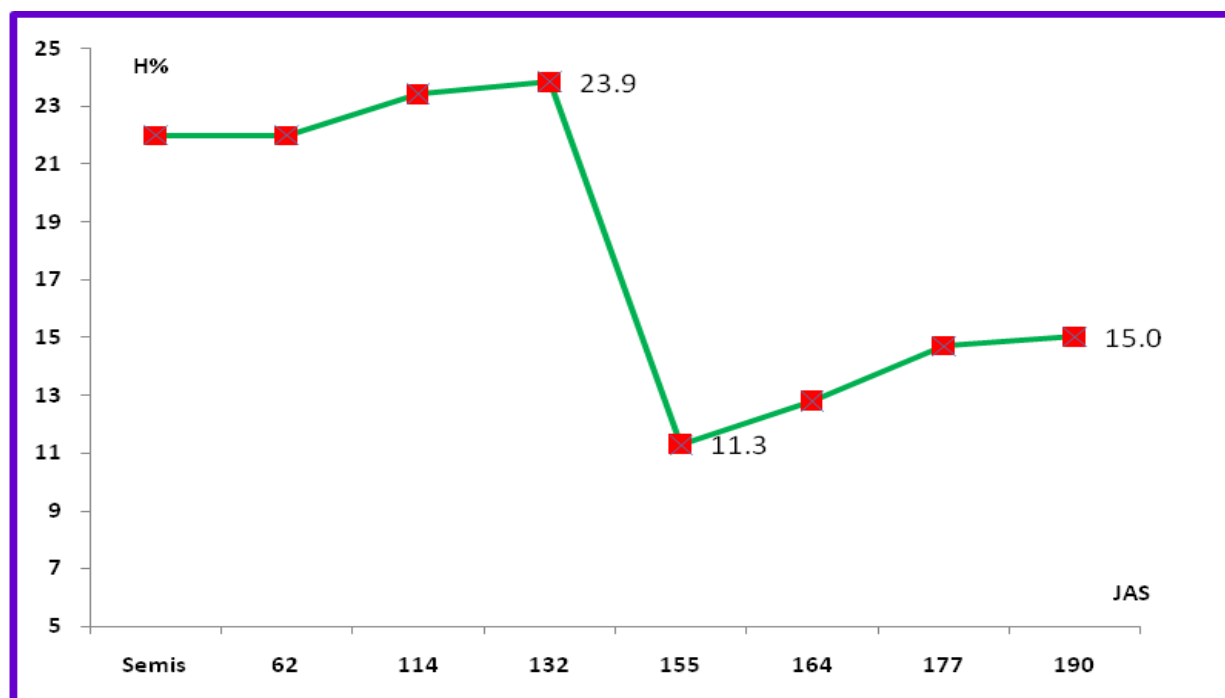


Figure 38. Variation de l'humidité en fonction de l'évolution du NJAS.

L'interaction date x profondeur fait varier l'humidité du sol. Les variations sont illustrées en figure 39, elles déterminent l'évolution de la teneur en eau du sol en fonction du NJAS. Il semble que la plante extrait beaucoup plus sur les profondeurs de 0-20, 20-40cm particulièrement entre 132 JAS et 164 JAS. Le plus important est que dès le 132JAS, le niveau d'humidité baisse et atteint des valeurs faibles voisinant le point de flétrissement, cela est valable pour les trois profondeurs (Fig. 39).

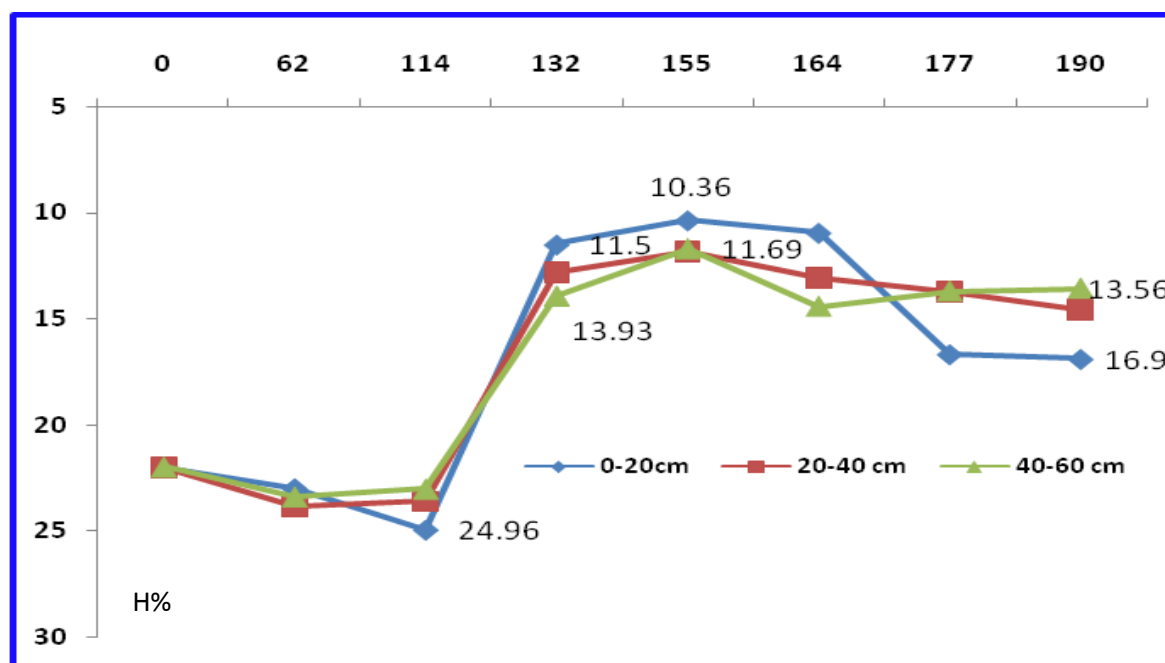


Figure39. Variation de l'humidité de la profondeur du sol en fonction du NJAS

L'humidité est légèrement supérieure à une profondeur de 40-60 cm. Machado *et al.*, (2008), rapportent des résultats similaires. Ce résultat suggère que les variétés exploitent plus l'eau disponible de 0-20cm à 20-40 cm que sur 40-60cm, se visualisant du 132JAS au 164JAS (Fig. 39). Toutefois, à partir du 164 JAS, la plante exploite plus l'eau sur 40 et 60 cm. Clément–Grandcourt et Prats (1971) affirment qu'entre le tallage et la floraison, la vitesse de croissance de la plante chez le blé est à son maximum pour élaborer les trois quarts de la matière sèche totale. Pour assurer cette fonction, la plante transpire en utilisant l'eau disponible pour réguler la demande climatique dont dépendent l'intensité de la photosynthèse et le degré de transpiration de la plante. Dans les conditions des hauts plateaux Sétifiens, le stade épiaison coïncide avec les fortes températures. Pour lutter contre la chaleur, la plante transpire uniquement pour réguler la température interne (Clément–Grandcourt et Prats, 1971 ; Chennafi, 2010b ; Chennafi, 2012). L'extraction de l'eau profonde est utile pour augmenter le rendement (Kirkegaard et Lilley, 2007).

L'effet variété x date affecte significativement le niveau d'humidité du profil cultural. Toutefois, les faibles valeurs d'humidité se repèrent dès le 132JAS et se positionnent sur la phase la plus sensible et sur une durée d'environ de 45jours (Fig. 40, 41 et 42), cela est valable pour les dix génotypes testés. Le manque d'eau se répercute sur le reste du cycle de la plante. Le stade

épiaison est considérée le plus exigeant, il coïncide avec la rareté de l'eau. Ces résultats corroborent les travaux réalisés dans la région des hauts plateaux Sétifiens (Bouzerzour *et al.*, 2002 ; Chennafi *et al.*, 2006 ; Hannachi et Fellahi, 2010 ; Chennafi, 2010 ; Latreche, 2011; Belagrouz, 2013). Le suivi de l'humidité du sol au cours du cycle montre de grandes fluctuations. Ces variations sont le résultat de l'interaction des éléments climatiques et de la réaction du génotype en fonction du comportement hydrique du sol.

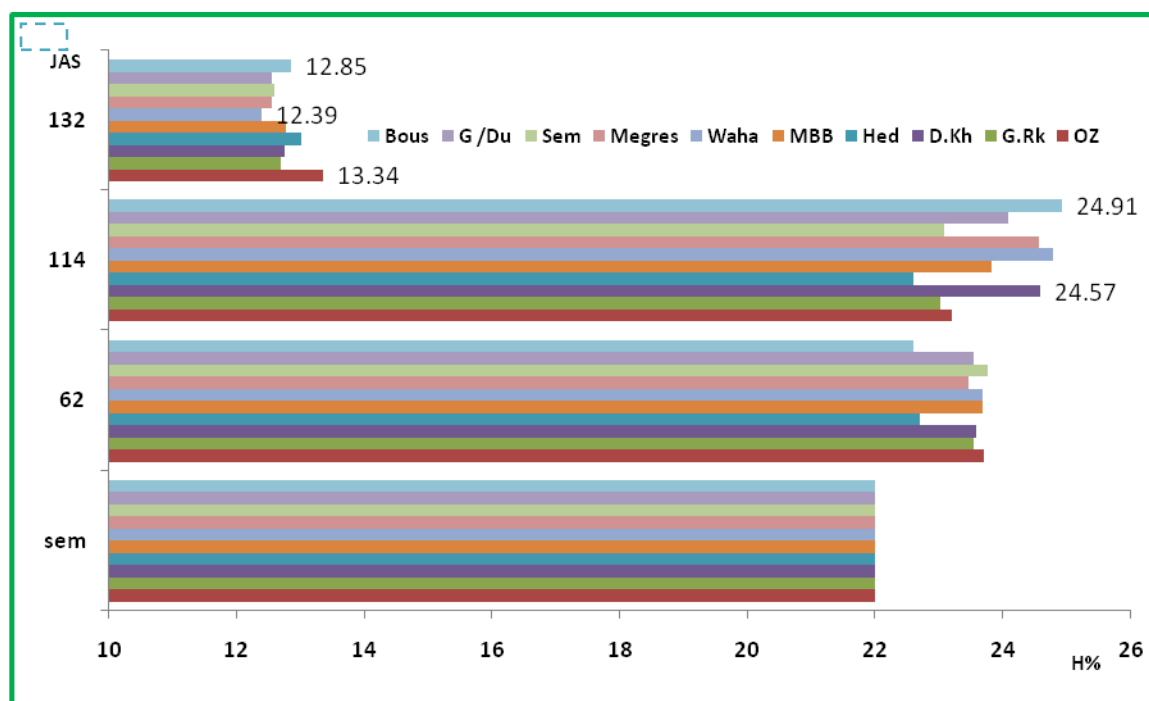


Figure 40. Humidité du sol disponible pour les variétés du semis au 132JAS.

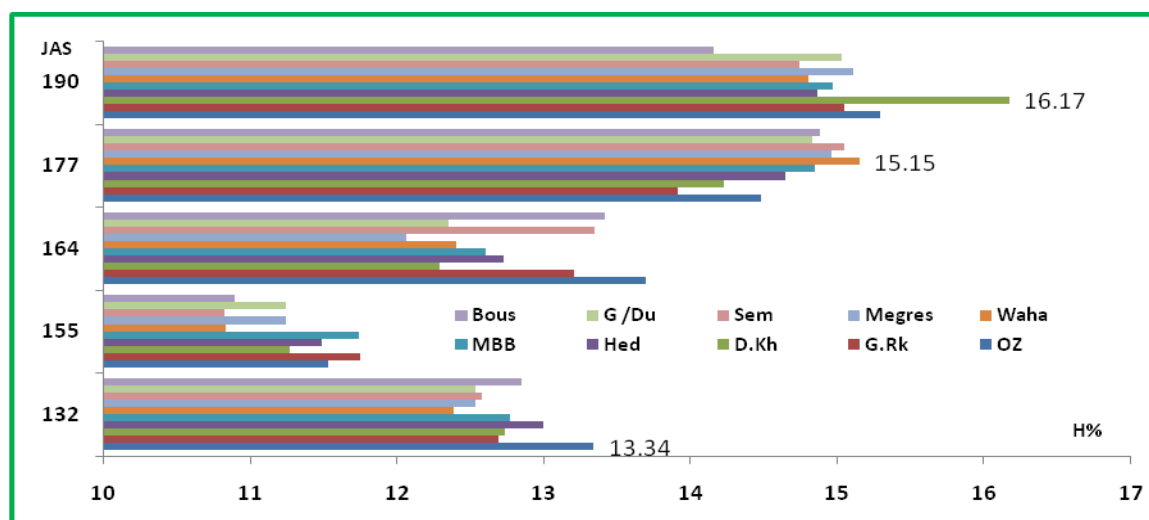


Figure 41. Humidité du sol disponible pour les variétés du 132JAS au 190JAS

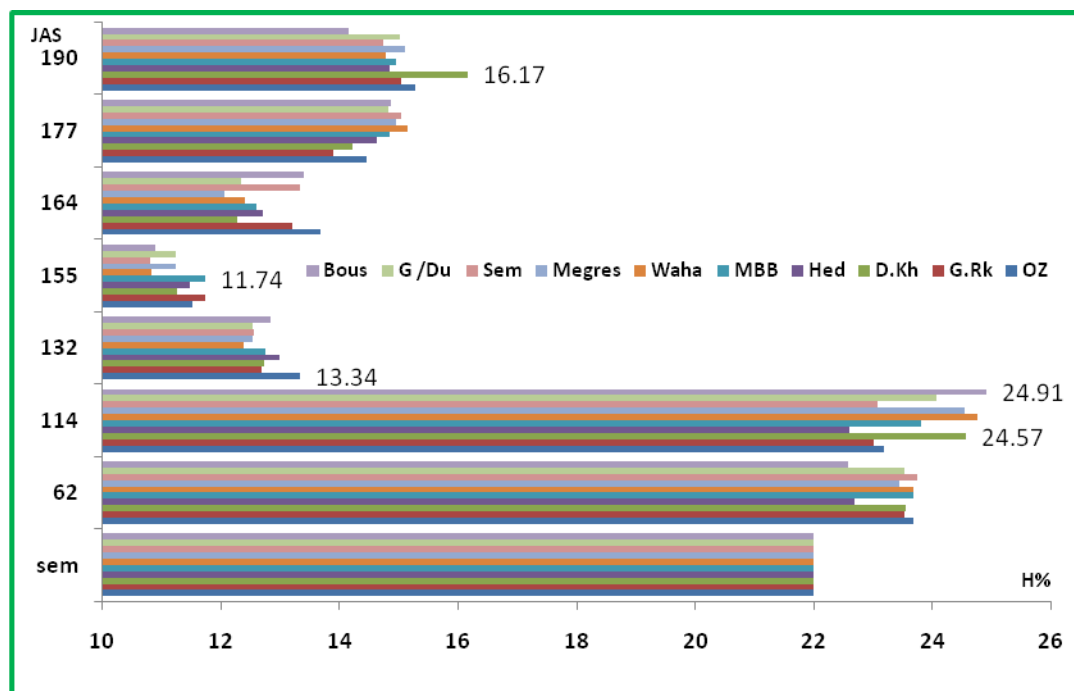


Figure 42. Humidité du sol disponible pour les variétés du semis au 190JAS.

L'effet profondeur ne fait pas varier significativement ce paramètre, les résultats sont exprimés sur la figure 43. Ainsi, la teneur en eau est plus faible sur 20-40cm, le résultat traduit une extraction plus nette à ce niveau. C'est sur la profondeur 20-40cm que se localise la plus grande masse racinaire (Baldy, 1986 ; Chennafi *et al.*, 2008).

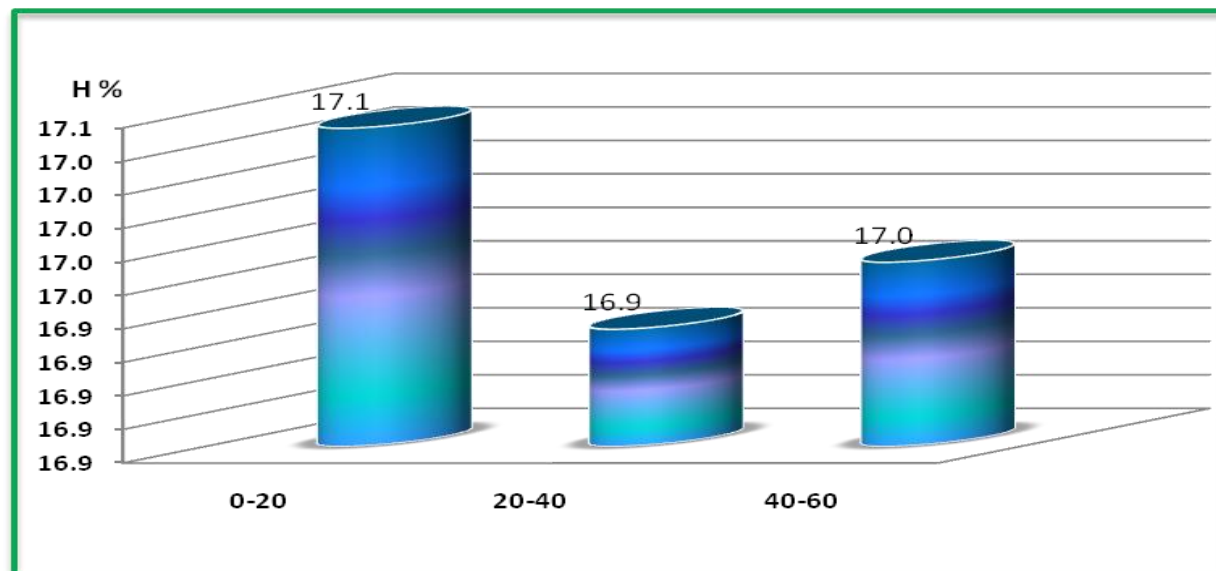


Figure 43. Variation de l'humidité moyenne (%) en fonction des profondeurs.

L'interaction variété x profondeur et variété x profondeur x date ne fait pas varier le niveau de la teneur en eau du sol.

7.2. La synthèse du bilan hydrique au cours du cycle végétatif

Le rendement de la culture et la quantité d'eau évapotranspirée sont très étroitement liés (Stewart, 1973). L'eau transpirée par la plante (T) et évaporée par la surface du sol (Es) sont généralement combinés et prennent la dénomination d'évapotranspiration (ET), considérée comme le total d'eau perdu à travers la plante et la surface du sol (Kirda *et al.*, 1999). Elle définit en revanche l'eau utilisée (EUC) au cours du cycle de la plante. Nombreux auteurs l'ont évaluée en tenant compte du cumul pluviométrique reçu, de la variation de la réserve en eau (Δs) (Angus et Herwaarden, 2001; Chen *et al.*, 2003).

Le bilan hydrique au cours du cycle végétatif des génotypes est formulé par l'introduction de l'évapotranspiration (ET), l'eau transpirée (T) par la couverture végétale au cours du cycle végétatif, l'eau évaporée par la surface du sol (Es), le déficit de pression de vapeur (DPV) entre l'atmosphère, la feuille et l'efficacité d'utilisation de l'eau transpirée pour produire du grain (EUETRDT) évalués par les équations mentionnées par Angus et Herwaarden, (2001) et par Kemanian *et al.*, (2005). L'évapotranspiration (ET) représente l'évapotranspiration actuelle (Eta) (Kirda *et al.*, 1999). Les auteurs utilisent le terme de déficit d'évapotranspiration (DET) à travers le fait que l'Eta reste inférieure à l'ETm (évapotranspiration maximale) qui se réalise dans les conditions optimales de fertilité, de confort en eau et en absence de maladies.

7.3. La réponse des génotypes aux composantes de l'efficacité d'utilisation de l'eau

L'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) au cours du cycle de la plante est déterminée par le rapport du rendement en grains ou de la biomasse totale à l'évapotranspiration. L'analyse de la variance indique des effets génotypes significatifs pour la transpiration (T), l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire de la paille (EUEPAIL) et de la biomasse aérienne (EUEBIO). Par contre, le génotype ne fait pas varier significativement l'évapotranspiration (Eta), l'évaporation du sol (Es) et non plus l'efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement (EUERDT) (Tab.16). L'effet variétal n'affecte pas non plus l'efficacité effective de l'utilisation de l'eau (EEUE) pour le rendement ainsi que pour la paille.

Tableau 16. Carré moyen de l'analyse de la variance pour les composantes de l'EUE

Source de Variation	ddl	ETa	T	Es	EUEPAL	EUERDT	EUEBIO
V. totale	39	270,3	228,3	382,2	17,7	12,7	8,3
Variété	9	243,8 ^{ns}	577,2 ^{**}	557,4 ^{ns}	35,2 [*]	17,8 ^{ns}	19,3 ^{**}
Résidus	30	278,2	123,6	329,6	2,5	11,15	5,0
	ddl	EEUEPAL	EEUERDT				
V. totale	39	63,3	63,3				
Variété	9	93,21 ^{ns}	93,2 ^{ns}				
Résidus	30	54,3	54,3				

^{ns}, ^{*}, ^{**} = Effets non significatif, significatif au seuil de 5% et 1% respectivement. T= eau transpirée (mm); Es= eau évaporée (mm), EUERDT= Efficience d'utilisation de l'eau pour le RDT (kg ha⁻¹mm⁻¹), EUEPAL = Efficience d'utilisation pour la PAL, EEUE= efficience effective de l'utilisation de l'eau

La quantité d'eau transpirée par la surface foliaire au cours du cycle végétatif diffère significativement d'un génotype à un autre. Ainsi, T varie de 113,5 mm pour Oued Zenati à 77,1 mm pour MBB qui semble réduire sa transpiration ; la moyenne de la transpiration est de 94,7mm pour les dix génotypes (Fig.44).

L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUEBIO) pour produire de la biomasse aérienne réalisée au cours du cycle végétatif varie significativement d'un génotype à l'autre. Ainsi, Djenah Khetaifa s'est distinguée par la meilleure valeur de l'efficacité d'utilisation de l'eau avec 21,7 kg ha⁻¹ mm⁻¹, prenant un écart relatif à son profit de 48,12% sur le cultivar local MBB qui apparait moins efficace pour l'eau pour produire de la biomasse aérienne (Fig.45). L'efficacité moyenne au cours de la campagne agricole de 2013/2014 pour les dix génotypes est de 17,9 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

L'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire de la paille (EUEPAL) est significativement liée au génotype. Elle est de 7,3 kg ha⁻¹ mm⁻¹ pour Megress à 16,13 kg ha⁻¹mm⁻¹pour Djenah Khetaifa (Fig.45).

L'efficacité d'utilisation de l'eau pour réaliser le rendement en grains (EUERDT) est différente d'une variété à une autre, sur la base de l'écart entre la ppds au seuil de 5% qui reste inférieure à la moyenne des deux valeurs caractérisant les deux variétés. Ainsi, la quantité d'eau utilisée pour produire un kg par mm d'eau est de 5,6 kg ha⁻¹ mm⁻¹ pour Djenah Khetaifa à 12,1 kg ha⁻¹ mm⁻¹ pour Megress (Fig.45), représentant un écart relatif de 116,1%.

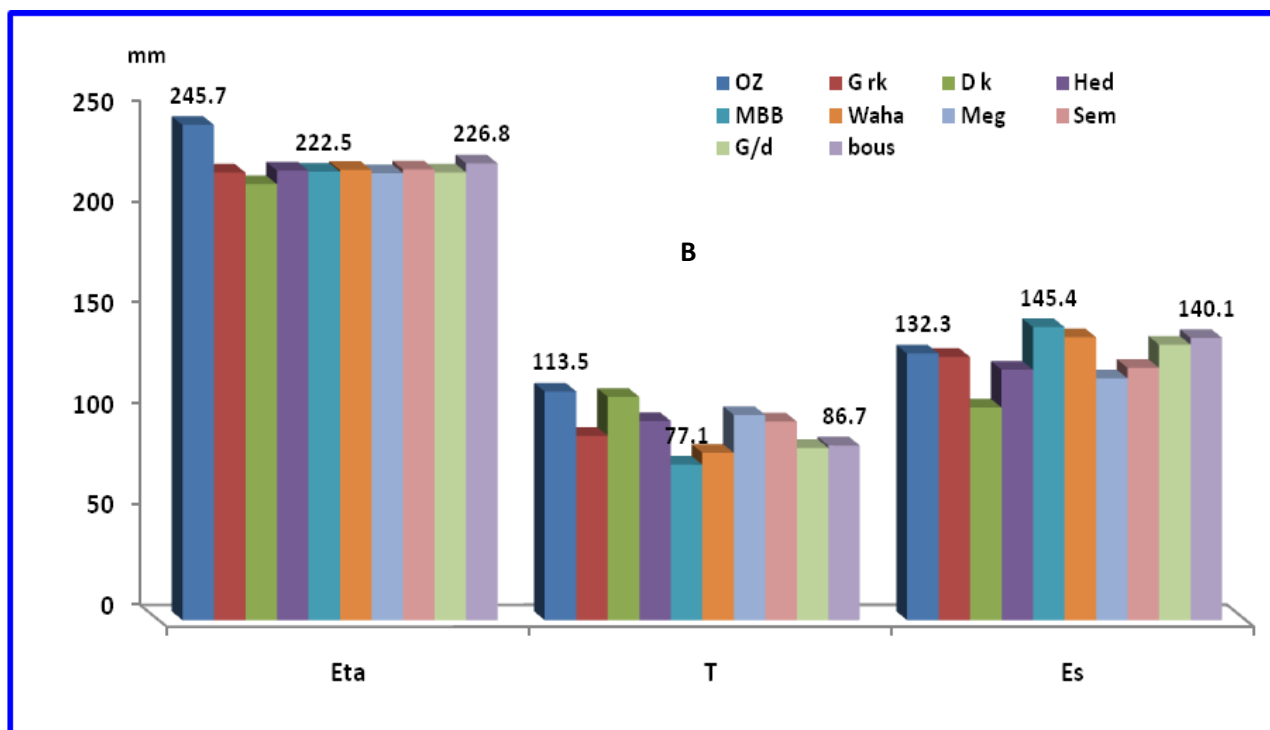
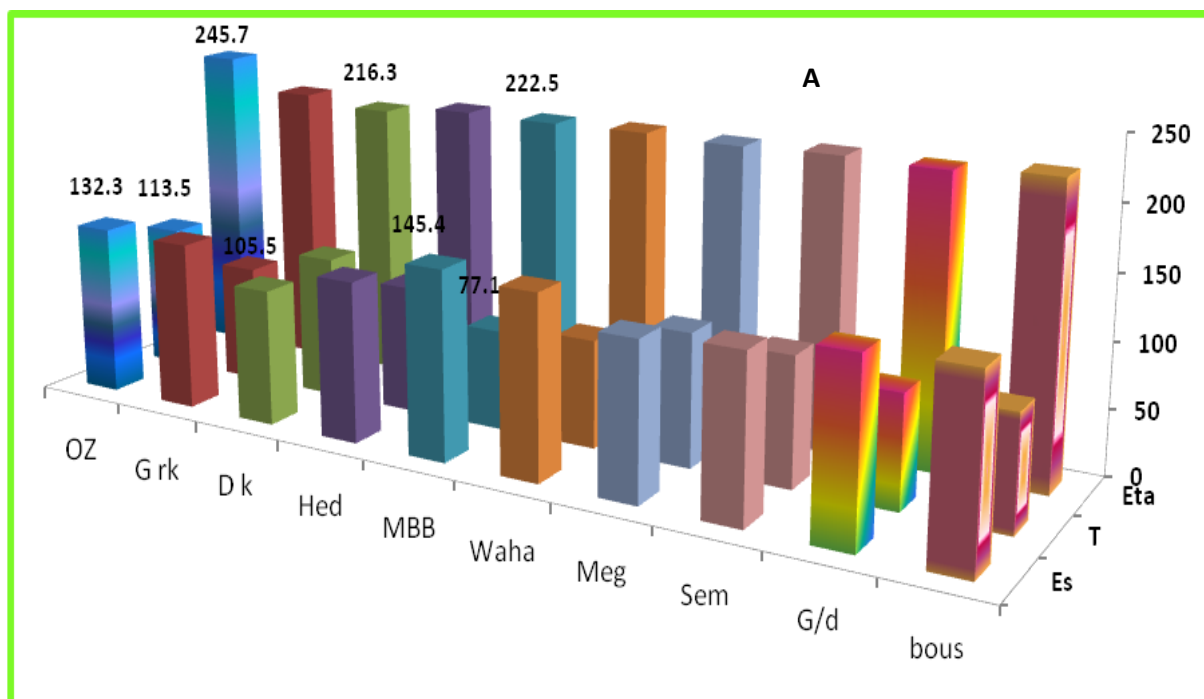


Figure 44. Variation de la quantité d'eau évaporée du sol, transpirée et évapotranspirée (A, B).

Au cours de la campagne agricole 2013/2014, la quantité d'eau évaporée du sol (EEs) ne semble pas être influencée par le génotype. Toutefois, pour certains génotypes, la PPDS_{5%} reste inférieure à leur moyenne, traduisant ainsi un effet variété significatif. L'évaporation de l'eau du

sol au cours de la campagne agricole 2013/2014 est estimée à 105,5 mm. L'EEs varie de 145,4mm dans le cas de MBB, par contre Djenah khetaifa réduit l'effet du pouvoir évaporant de l'air de 37,9% avec 105,5mm (Fig.45). L'évaluation de la quantité d'eau évapotranspirée (Eta) par la couverture végétale diffère significativement, Oued Zenati prend 245,75mm à 216,32 mm pour Djenah Rkhetaifa (Fig.44). La moyenne est estimée à 224,8mm.

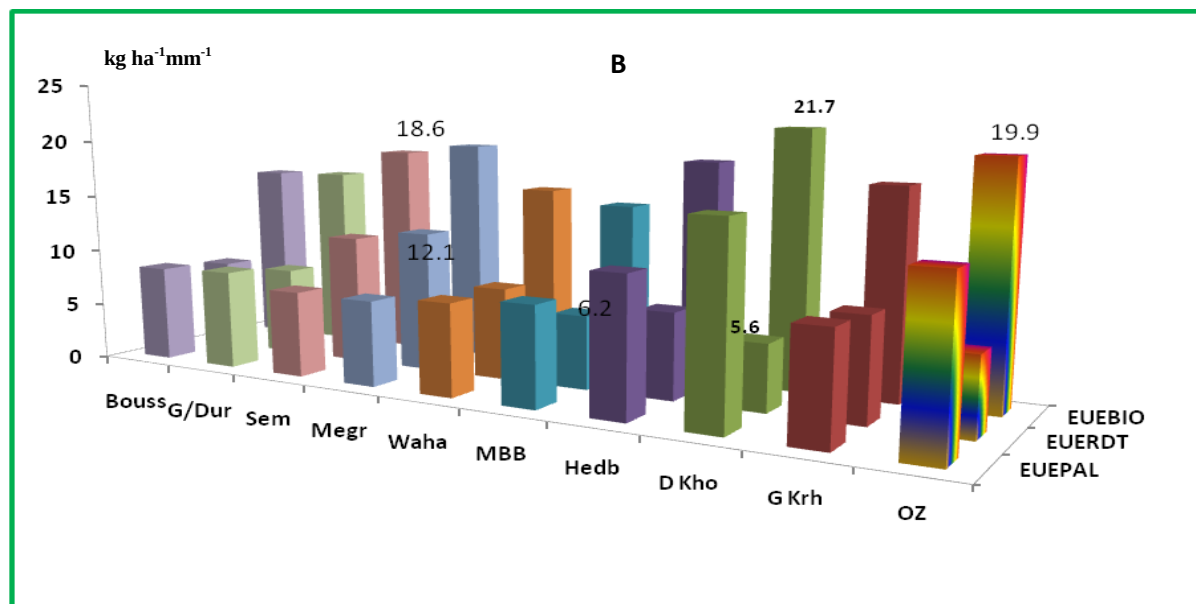
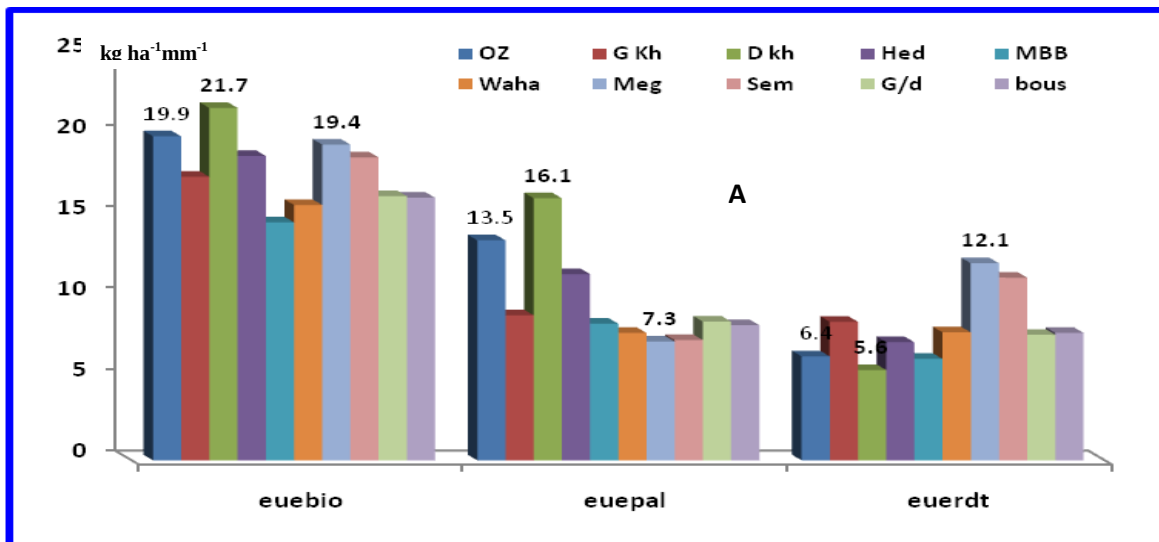


Figure 45. L'EUE (A, B) pour le RDT, la BIO et la Paille chez les génotypes.

L'efficacité effective d'utilisation de l'eau pour le rendement en grains et pour la paille (EEUERDT, EEUEPAL) ne semble pas différer entre les génotypes. L'EEUEPAIL

respectivement pour Djenah Rkhetaifa et Megress est de $31,3 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ à $16,01 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ et pour l'EEUERDT, les valeurs sont de $11,0 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ et $26,3 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ (Fig.46).

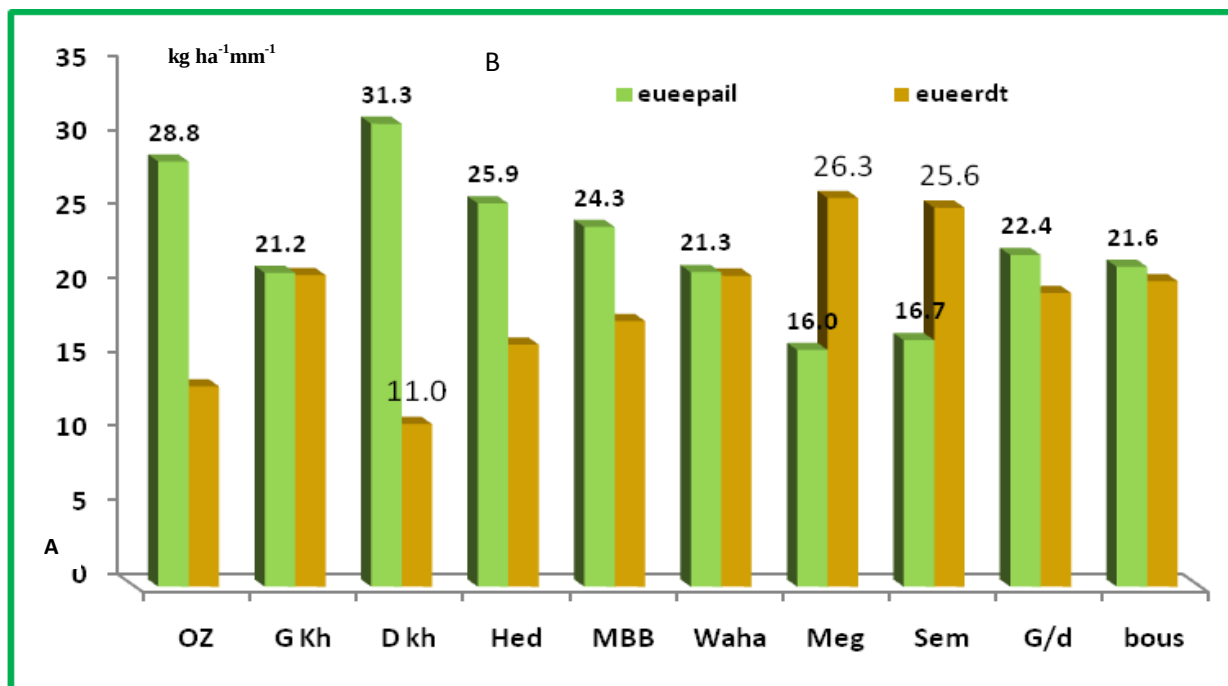
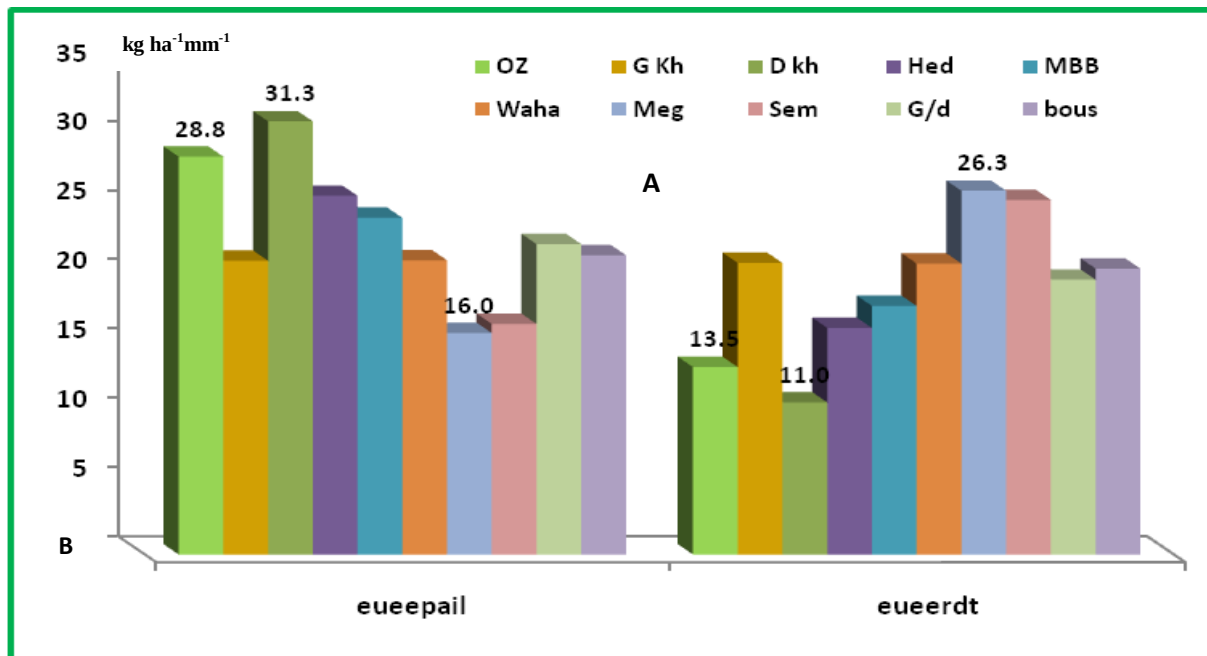


Figure 46. L'efficacité effective de l'utilisation de l'eau (A, B) pour le RDT et la Paille.

En milieu méditerranéen, des valeurs similaires ont été mentionnées. En effet, les résultats sur l'efficience d'utilisation de l'eau par le blé sont nombreux et semblent similaires à ceux de la présente étude (French et Schultz, 1984 ; Angus et Herwaarden, 2001 ; Hannachi et Fellahi, 2010 ; Belagrouz, 2013).

Le bilan hydrique se répercute sur l'efficience effective de l'utilisation de l'eau. Ainsi, la variété Megress est la plus valorisante en eau et se distingue par une EEUERDT de 26,3 kg ha⁻¹mm⁻¹, elle est secondée par Siméto qui détient la valeur de 25,6 kg ha⁻¹mm⁻¹. Djenah Khetaifa s'approvisionne en l'eau avec la plus faible valeur de 11,0 kg ha⁻¹mm⁻¹ (Fig.46).

Steiner *et al.*, (1985) mentionnent que des moyennes allant de 16,0 à 20,0 kg ha⁻¹mm⁻¹ et des valeurs de 20,0 à 30,0 kg ha⁻¹mm⁻¹ sont repérées par Bouthier et Bonnefoy (1993). Ces résultats corroborent ceux qui ont été mentionnées dans les mêmes conditions agro-pédoclimatiques (Chennafi *et al.*, 2012 ; Belagrouz, 2013).

8. Les liaisons entre les composantes de productivité des génotypes et le bilan hydrique

8.1. Les corrélations entre les variables mesurées

L'analyse des relations concerne principalement les composantes du rendement et la synthèse du bilan hydrique évaluée par l'efficience d'utilisation de l'eau et la transpiration de la plante. En effet, la productivité des génotypes est régie par les caractéristiques du génotype sous l'influence des conditions du milieu.

Ainsi, les résultats révèlent que la biomasse aérienne est significativement et positivement corrélée avec la paille ($r = 0,56^*$), avec la hauteur du chaume ($r = 0,39^*$) et la transpiration (Tab. 17). En revanche, les génotypes qui se distinguent par une tige longue et une transpiration appréciable favorisent la production de la biomasse aérienne. Des notations semblables ont été révélées (Hannachi et Fellahi, 2010). Belagrouz (2013) considère que la transpiration est expressive pour la valorisation de l'eau pour réaliser plus de la biomasse. Vincent et Darleguy (1982) expliquent que c'est par la racine que s'effectue l'absorption de l'eau et des substances minérales et la sève brute se dirige vers les parties aériennes. Ils ajoutent qu'au niveau des feuilles, la sève brute perd de l'eau par la transpiration et s'enrichit en substance organiques par la photosynthèse, le phénomène donne lieu à la formation de la sève élaborée qui se dirige vers les organes de croissance, de réserve et les fructifications.

La production en paille est négativement et significativement liée au rendement en grain ($r = -0,74^*$), au nombre d'épis ($r = -0,48^*$), à la fertilité de l'épi ($r = -0,59^*$) et à l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain ($r = -0,75^*$). Par contre, elle est positivement et significativement corrélée avec la quantité d'eau transpirée (T) ($r = 0,56^*$) et la hauteur de la plante (HT) ($r = 0,63^*$). Ainsi, les génotypes qui se distinguent par un haut chaume et qui transpirent plus, produisent plus de paille.

Le rendement en grain est lié positivement et significativement avec le nombre d'épis ($r = 0,68^*$) et la fertilité de l'épi ($r = 0,69^*$) et l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain ($r = 0,99^*$). Par contre, il est négativement et significativement lié à la paille ($r = -0,74^*$) et la hauteur de la plante ($r = -0,43^*$) (Tableau 17). Ceci traduit que la performance du génotype est celle qui apparaît à travers la combinaison du nombre de grains par épi, du peuplement-épis et de l'efficacité d'utilisation de l'eau. Cependant, le génotype qui produit plus de paille ne l'est pas pour le rendement en grains (Tab.17). Le nombre d'épis est corrélé positivement et significativement au rendement en grain ($r = 0,68^*$) et à l'efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement ($r = 0,69^*$). Le nombre d'épis et la paille sont négativement corrélés ($r = -0,32^*$). Ceci indique que les génotypes qui se démarquent par un peuplement-épis élevé, ne produisent pas plus de paille et ils sont moins hauts. L'investissement est plus marqué pour le peuplement-épi (Tableau.17).

Tableau 17. Coefficients de corrélation pour la productivité des génotypes et le bilan hydrique

	PAIL	RDT	BIO	NE	NGE	PMG	EUERDT	T	HT
BIO	0,56*	0.14	1.00	0.14	-0.01	0.17	0.12	1.00*	0.39*
PAL	1.00	-0.74*	0.56*	-0.48*	-0.59*	-0.10	-0.75*	0.56*	0.63*
RDT	-0.74*	1.00	0.14	0.68*	0.69*	0.26	0.99*	0.14	-0.43*
NEM	-0.48*	0.68*	0.14	1.00	0.04	0.12	0.69*	0.14	-0.32*
NGE	-0.59*	0.69*	-0.01	0.04	1.00	-0.08	0.68*	-0.01	-0.35*
PMG	-0.10	0.26	0.17	0.12	-0.08	1.00	0.24	0.17	-0.22
EUERDT	-0.75*	0.99*	0.12	0.69*	0.68*	0.24	1.00	0.12	-0.42*
T	0.56*	0.14	1.00*	0.14	-0.01	0.17	0.12	1.00	0.39*
HT	0.63*	-0.43*	0.39	-0.32*	-0.35*	-0.22	-0.42*	0.39*	1.00

• = Corrélation significative 5%

La liaison est significativement corrélée ($r = 0,69^*$) entre le nombre de grains par épi et le rendement en grains et l'efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement en grains ($r = 0,68^*$). Par contre, la corrélation est négative ($r = -0,35^*$) entre le NGE, la paille et la hauteur de la

plante, de même pour le PMG. Le résultat révèle que les génotypes qui se caractérisent par une bonne fertilité sont repérés par une hauteur du chaume plus basse et produisent moins de paille, leur PMG est plus bas ; révélant ainsi le système de compensation des composantes du rendement.

L'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire du grain (EUEPDT, $r = 0,99^*$), est corrélée positivement et d'une manière significative entre le RDT, le nombre d'épis ($r = 0,69^*$) et le nombre de grains par épis ($r = 0,68^*$). Toutefois, L'EUEPDT est négativement corrélée avec la paille ($r = -0,75^*$) et la hauteur de la plante ($r = -0,42^*$). Par conséquent, les résultats reflètent un comportement des génotypes efficaces pour l'eau, repérés à travers la valorisation des deux principales composantes, le nombre d'épis et sa fertilité. Effectivement, ce résultat se répercute sur le rendement en grain plus expressif pour l'EUEPDT. Les résultats indiquent que les génotypes de ce groupe se distinguent par une hauteur moins haute et produisent moins de paille (Tableau 17). Belagrouz (2013) mentionnent des suggestions proches.

La quantité d'eau transpirée (T) est significativement corrélée ($r = 0,56^*$) avec la paille, la hauteur du chaume ($r = 0,39^*$) et la biomasse aérienne. Siddique *et al.*, (1990) mentionnent des appréciations similaires.

8.3. La variabilité du rendement et de l'efficacité d'utilisation de l'eau

Une régression linéaire multiple a été utilisée pour évaluer la contribution relative des composantes liées au rendement. La régression linéaire multiple pour le rendement est fonction du nombre d'épis au mètre carré, du peuplement-épis (NGE), du poids de mille grains, de la transpiration et de l'efficacité d'utilisation de l'eau. Le résultat est exprimé par le modèle.

$$\text{RDT} = - 9,9970 + 0,0285 \text{ NE} + 0,2016 \text{ NGE} + 0,0904 \text{ PMG} + 1,6631 \text{ EUEPDT} + 0,0111 \text{ T}$$

$$R^2 = 0,99^{**} \text{ (p} = 0,05\text{)}$$

Le résultat indique que 99% de la variabilité du rendement en grain des génotypes étudiés est fonction de la variabilité des composantes citées. Le coefficient $R^2 = 99\%$ est proche de 1, par conséquent, les cinq paramètres mesurés expliquent bien la variation de la variable dépendante du rendement. Toutefois, le classement exprimant l'influence des composantes mesurées sur le rendement suit le gradient $T < \text{NE} < \text{PMG} < \text{NGE} < \text{EUEPDT}$. La relation entre le rendement et les caractères explicatifs est exprimée par une corrélation qui est élevée, elle est déterminée par le coefficient de corrélation multiple $R = 0,99$. Des résultats similaires ont été mentionnés (Leilah et Al-Khateeb, 2005 ; Sajjad *et al.*, 2012 ; Fellahi *et al.*, 2013c). La régression linéaire multiple

pour l'efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement en fonction de la transpiration, la hauteur des chaumes, l'évaporation et le rendement est exprimée sous le modèle linéaire de la régression multiple.

$$EUERDT = 4,5392 - 0,0208 T + 0,0009 HT - 0,0211 Es + 0,4528 RDT.$$

$$R^2 = 0,99^{**} \text{ (p = 0,05)}$$

Le résultat indique que 99 % de la variabilité de l'efficacité d'utilisation de l'eau est traduite à travers les caractères introduits dans le modèle. En effet, le coefficient déterminant $R^2 = 99\%$ indique que les quatre paramètres mesurés expliquent bien la variation de l'efficacité d'utilisation de l'eau.

9. La Typologie variétale en fonction des caractères mesurés

La méthode consiste à procéder à une analyse en composantes principales suivie d'une classification ascendante hiérarchique, par analyse en Cluster.

9.1. Analyse en composantes principales

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode statistique descriptive. Elle illustre en graphique, le maximum d'informations relevant les liaisons entre les caractères mesurés issus de la matrice de corrélation. La base de données de l'ACP englobe des variables caractéristiques de dix génotypes testés pour leur comportement tenant compte des caractères morphologiques, physiologiques et agronomiques. En revanche, l'étude des relations possibles entre les variables mesurées au cours du cycle permet de grouper les génotypes.

9.1.1. La structure des variables mesurées

Les résultats fournis par l'analyse en composantes principales permettent de faire une première lecture sur la structure des variables, en utilisant les corrélations avec les axes principaux. Les corrélations des valeurs des variables mesurées avec les premiers axes principaux de l'analyse en composantes principales sont représentées en figure 48. La part de l'information est respectivement expliquée à 47,34 et 20,09% par les deux premiers axes (axe 1 et axe 2), soit 67,43 % de la variation totale. Le plan formé par les deux axes constitue une bonne base d'interprétation de la typologie des génotypes et des relations entre les variables mesurées.

En effet, sur le côté positif de l'axe1, figurent successivement l'efficacité effective de l'eau pour réaliser de la paille (EEUEPAIL), l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour produire de la

paille (EUEPAIL), le rendement en paille (RDTPAIL), la hauteur du chaume (HT), la teneur relative en eau (TRE) et la biomasse aérienne. Cependant, les variables qui sont moins déterminantes de la formation de l'axe sont la transpiration de l'eau de la plante (T), l'efficacité d'utilisation de l'eau pour la biomasse aérienne (EUEBIO), la teneur en eau du sol (H%), la surface foliaire (SF) et l'évapotranspiration actuelle (Eta) (Fig.47). En revanche, l'axe1 du côté positif peut prendre la dénomination de l'axe de l'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire de la paille.

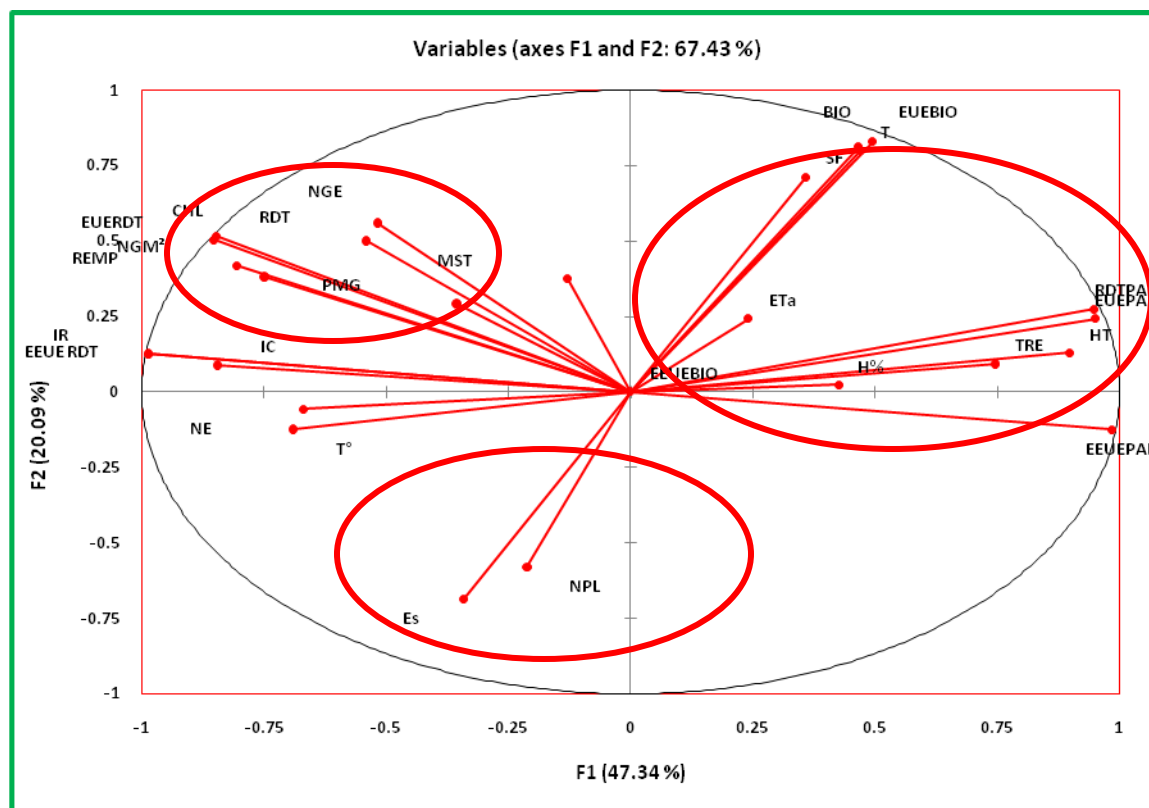


Figure 47. Répartition des variables mesurées sur les axes principaux

Ainsi, l'axe1 du côté négatif prend la caractérisation d'axe de l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour produire du grain (Fig.47).

La contribution des variables est liée à la valeur du coefficient de corrélation avec l'axe. Les résultats révèlent que le degré de représentativité sur le plan d'une variable est traduit par son rapprochement sur le cercle (Philippeau, 1986). L'interprétation de la structuration des variables révèle que l'ensemble de ces variables positionne à droite de l'EUEPAIL et à gauche de

l'EUDT. Ces variables sont situées sur la même direction mais en opposition. Donc, lorsque les unes augmentent, les autres diminuent.

Sur la partie droite de l'axe 2 s'insèrent positivement et dans l'ordre de contribution à la formation de l'axe 2 la chlorophylle (CHL), le rendement en grain (RDT), l'efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement grain (RDT) et la fertilité de l'épi (NGE). Le reste des variables participe moins à la formation de l'axe (Fig.47).

9.1.2. La répartition des groupes de génotypes

Le groupage des génotypes étudiés sur la base de l'ensemble des caractères de l'EUE mesurés conduit à l'identification de quatre groupes divergents qui sont indiqués en figure 48. Les génotypes qui participent le plus à ces variances sont repérés par le fait qu'ils ont les plus fortes coordonnées, ils contribuent à la formation des axes.

En revanche, les résultats indiquent et dans l'ordre, que ce sont les génotypes Djenah Khetaifa, Oued Zenati, Megress et Siméto qui ont contribué le mieux à la formation de l'axe1 (Fig.48). Par contre, la contribution de Hedba, Waha, Gta/dur, Bousselem et MBB semble être médiocre (Fig.48).

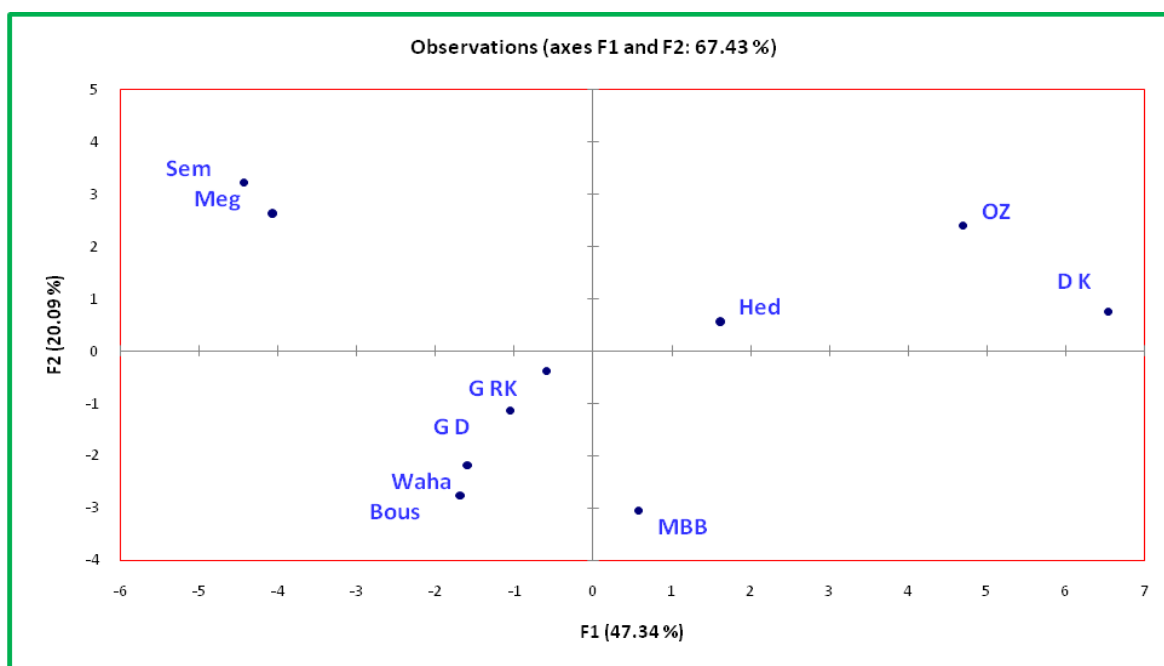


Figure 48. Groupage des génotypes sur le plan formé par les axes

Cependant, pour l'axe 2, les résultats révèlent que ce sont principalement les cultivars Megress, MBB, Bousselem, Sémito, Oued Zenati et Waha qui forment l'axe 2 (Fig.48). Le reste des génotypes sont moins contributeurs pour la formation de l'axe 2. Toutefois, l'ensemble des génotypes est représenté à 67,43%, indiquant la qualité de la représentation des génotypes sur le plan engendré par les deux axes (Fig.48).

9.1.3. La structuration des groupes de génotypes avec les variables mesurées

Sur l'axe 1 et positivement, se localisent Djenah Khetaifa et Oued Zenati. Hedba représente l'axe1. Elles se démarquent en revanche par les caractéristiques déterminées principalement par l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour produire de la paille (EUEPAIL), le rendement en paille (RDTPAIL), la hauteur du chaume (HT) et la teneur relative en eau (TRE). Cependant, les variables qui sont moins déterminants de la formation de l'axe sont la transpiration de l'eau par la plante (T), la biomasse aérienne (BIO), l'efficacité d'utilisation de l'eau de la biomasse aérienne (EUEBIO). La teneur en eau du sol (H%), la surface foliaire (SF) et l'évapotranspiration actuelle (Eta) sont relativement moins déterminants (Fig.49).

Les résultats révèlent que les variétés Djenah Khetaifa, Oued Zenati et Hedba qui sont situées à droite de l'axe1 sont plus performantes en production en paille et de biomasse aérienne. Ceci peut être à l'origine de la hauteur du chaume bien corrélée avec l'axe1, à la teneur relative en eau et à la valorisation de l'eau traduite à travers l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

Sur l'axe 1 et négativement se regroupent Megress et Sémito. Les variables corrélées négativement et qui contribuent à la formation de l'axe1 sont dans l'ordre : L'efficacité effective d'utilisation de l'eau pour produire du grain (EEUERDT), l'indice de récolte (IR), l'efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement (EUERDT), le rendement en grain (RDT), l'intégrité cellulaire (IC), le nombre de grains par mètre carré (NGm²), la cinétique de remplissage du grain (Rempl), la fertilité de l'épi (NGE) et la teneur en chlorophylle (CHL). De moindre importance de présentation sur l'axe1, figurent le poids mille grains (PMG), l'intégrité cellulaire (IC) et la matière sèche totale (MST) (Fig. 49). Ces génotypes sont performants en production de grains. Ils se distinguent par une bonne représentation de l'axe. Ortiz-Monasterio (2001) mentionne que le rendement est lié à l'intégration de plusieurs composantes, dont le rendement lui-même qui est en fait partie intégrante.

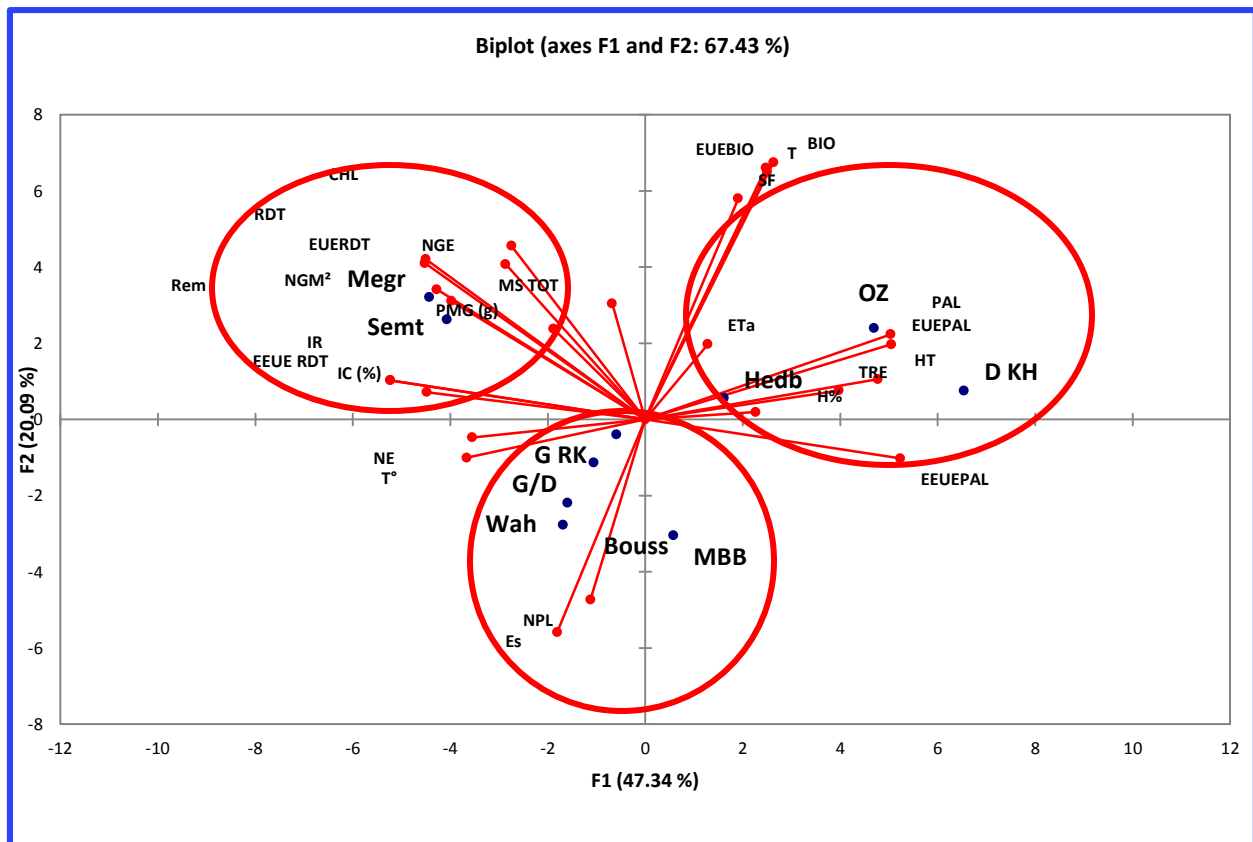


Figure 49. Structuration des génotypes et des variables à travers les deux axes.

Les résultats se justifient à travers la suggestion de Donaldson *et al.* (2001). En effet, les auteurs considèrent que les cultivars modernes produisent moins de biomasse aérienne que les anciens à tige longue.

Sur l'axe 2 et positivement, se positionnent Megress et Sémito (Fig.49). Le groupe se démarque dans l'ordre par l'efficacité effective d'utilisation de l'eau pour produire du grain (EEUERDT), la chlorophylle (CHL), le rendement en grain (RDT), l'efficacité d'utilisation de l'eau pour le rendement en grain (EUERDT) et la fertilité de l'épi (NGE). Le reste des variables est moins déterminant (Fig.49).

Sur la partie négative de l'axe 2, s'insèrent MBB, Bousselem, Waha, Gta/dur et Guemgoum Rkhem. Ils se distinguent par l'évaporation de l'eau du sol (Es) et le nombre de plants à la levée (NPL) (Fig.49). Le résultat traduit que lorsque ces deux variables diminuent, en opposition, les autres (BIO, EUEBIO, T, ST, CHL, RDT, EUERDT et NGE) augmentent. En effet, une réduction de l'évaporation de l'eau du sol, assurant ainsi sa préservation au profit de la plante améliore le rendement et ses composantes. En revanche, l'efficacité d'utilisation de l'eau améliore la productivité de la culture. D'autre part, la réduction du NPL permet à la plante une meilleure compensation pour les autres variables de productivité. Des suggestions similaires ont été mentionnées (Donaldson *et al.*, 2001; Hannachi et Fellahi, 2010).

9.2. Le regroupement des génotypes par l'analyse de classification hiérarchique

Vachon *et al.*, (2005) considèrent que l'analyse de classification connue sous le nom de « Cluster analysis » est une variété de techniques d'analyse. Elles permettent le regroupement des objets ou autres dans des groupes homogènes, sur la base de leur similarité. Cette méthode statistique permet d'effectuer des typologies empiriques. En effet, l'analyse typologique a été utilisée pour organiser les génotypes dans différents groupes. La procédure s'effectue en utilisant une mesure des niveaux de similarité et de la distance Euclidienne (Everitt, 1993 ; Eisen *et al.*, 1998).

Les résultats indiquent deux grands groupes de génotypes. Les deux groupes (G1, G2) se distinguent par l'ensemble des caractères physiologiques, morphologiques, de productivité et de l'efficacité d'utilisation de l'eau. La présentation des groupes en fonction des variables est illustrée en figure 50. Les résultats révèlent que la variation la plus importante est repérée principalement sur le rendement et de ses composantes et l'efficacité d'utilisation de l'eau par la

plante (Fig.50). La classification des groupes de génotypes par cluster est fondée sur la similarité, les résultats de l'analyse sont présentés en dendrogramme (Fig.51)

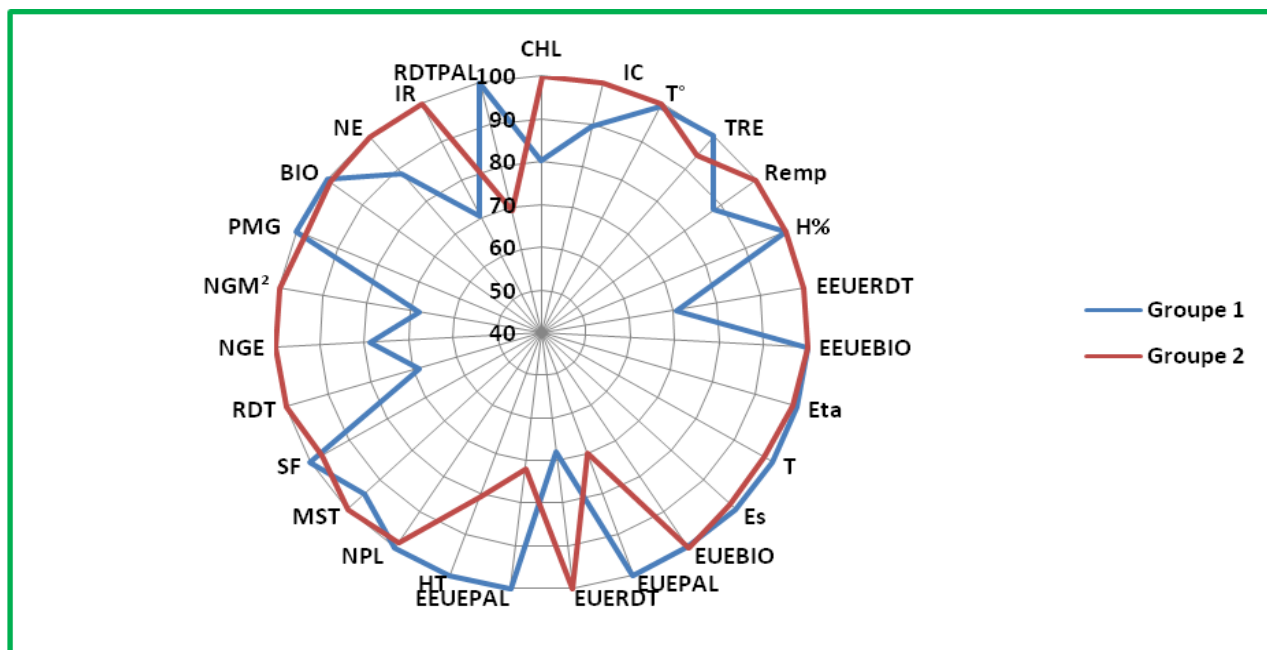


Figure 50 . Valeurs relatives moyennes des variables mesurées chez les deux groupes.

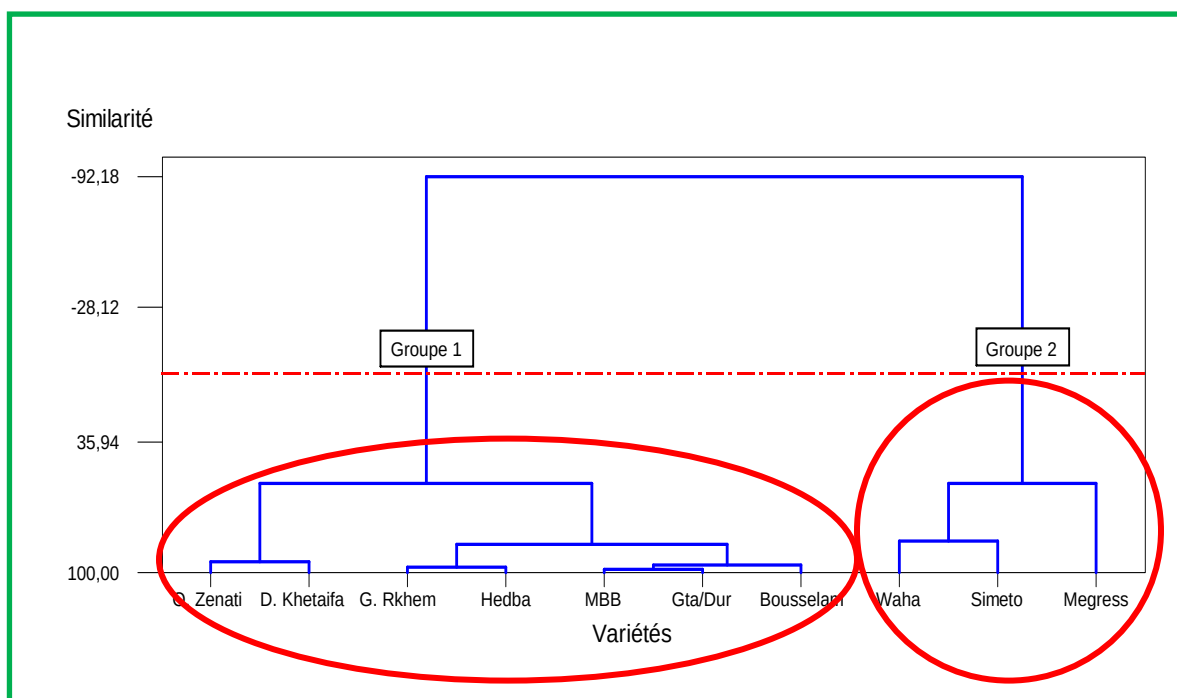


Figure 51. Dendrogramme de classification hiérarchique pour le groupage des variétés évaluées selon le degré de similitude basé sur les valeurs moyennes des variables mesurées.

Conclusion

Conclusion

L'approche d'évaluation de la réponse du comportement des dix génotypes testés à l'efficacité d'utilisation de l'eau est raisonnée en fonction des éléments liés au continuum sol plante atmosphère. C'est l'interférence des conditions du milieu environnant avec le matériel végétal qui dimensionne la valorisation de l'eau disponible au niveau des profondeurs du profil cultural exploité par les racines des génotypes. En effet, dans le raisonnement de l'efficacité d'utilisation de l'eau par la plante, ce sont les caractéristiques morphologiques, physiologiques et agronomiques en interaction avec les éléments du sol et du climat qui expriment la capacité productive du génotype. Le potentiel productif du génotype intègre tous les paramètres du continuum sol plante atmosphère. Comme l'eau est l'élément moteur de la productivité, leur résultante est exprimée par l'efficacité d'utilisation de l'eau.

La productivité du génotype s'établit au cours du cycle végétatif. Le stade épiaison est déterminant à travers la date à laquelle ont épié les génotypes pour distinguer le degré de précocité. Ainsi, les résultats révèlent qu'elle varie de 142 JAS pour la variété précoce à 149 JAS pour celle qui a pris relativement du retard. Dans l'ordre décroissant de précocité sont repérées les variétés: [Megress, Waha] > [Simeto, Gta/dur, Bousselam] > [Djenah Khetaifa] > [Hedba, Guemgoum Rkhem] > [MBB, Oued Zenati]. L'écart est de 1 JAS à 7 JAS entre les 5 groupes de variétés. Les résultats indiquent que Waha et Megress ont épié au 142 JAS et sont classées au premier rang de précocité. Elles sont suivies par Simeto, Gta/dur et Bousselam avec 144 JAS. Toutefois, les génotypes qui sont considérées à cycle long au cours de cette expérimentation sont Oued Zenati et Mohamed Ben Bachir et se distinguent par 149 JAS. Le degré de précocité se répercute sur les variables de productivité du génotype.

L'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire de la biomasse aérienne (EUBIO) au cours du cycle végétatif varie significativement d'un génotype à l'autre. Djenah Khetaifa est plus efficace en se démarquant par une valeur de $21.7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, prenant un écart relatif à son profit de 48.12% sur le cultivar local MBB qui apparaît moins efficace pour l'eau pour produire de la biomasse aérienne. Le résultat révèle que le plus efficace s'est distingué relativement par un cycle de précocité intermédiaire par rapport à MBB qui se caractérise par un cycle plus long. L'efficacité d'utilisation de l'eau pour produire de la paille (EUEPAL) est significativement liée au génotype. Elle varie de $7.3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ pour Megress à $16.13 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ pour Djenah Kkhetifa.

L'efficience d'utilisation de l'eau pour réaliser le rendement grain (EUERDT) prend les valeurs de 5.6 kg ha⁻¹ mm⁻¹ pour Djenah Khetaifa à 12.1 kg ha⁻¹ mm⁻¹ pour Megress, représentant un écart relatif de 116.1%.

La structuration des génotypes est définie selon la méthode Cluster. Elle tient compte de l'intégration des variables physiologiques, morphologiques et agronomiques. Les résultats indiquent deux grands groupes de génotypes. Le groupe1 intègre:

[Oued Zenati, Djenah Khetaifa; Guemgoum Rkhem, Hedba; MBB, Gta/dur, Bousselam]. Par contre au sein du second groupe figurent [Waha, Simeto et Megress]. Le premier se distingue principalement par: [TRE, SF, NPL, HT, PMG, BIO, RDTPAL, EUEPAL, EEUEPAL]. Le second groupe se caractérise par: [Chl, IC, T°, Remp, MST, NE, NGE, NGM², RDT, EEUERDT, EUERDT, IR]. L'interprétation décèle que principalement les génotypes sont regroupés en fonction du degré de précocité. Les plus tardifs ceux du groupe1 sont performants en production de paille et de biomasse aérienne et par une efficience d'utilisation de l'eau pour la production paille. Ils se caractérisent par la hauteur du chaume et la teneur relative en eau qui expliquent une valorisation de l'eau justifiant l'EUEPAL. Les génotypes du second groupe sont plus marqués par la production grain liée aux composantes principales, une efficience d'utilisation de l'eau pour réaliser du grain et un indice de récolte.

Les résultats obtenus sont très appréciables par la diversité des paramètres mesurés et des caractères des génotypes. Ils ont servi à expliquer le comportement différentiel des génotypes à l'égard de la production du génotype et à l'efficience d'utilisation de l'eau pour la biomasse aérienne, pour la paille et pour le rendement grain. Les résultats font partie d'un projet CNEPRU. Toutefois, pour mieux cerner l'interprétation de la réponse du génotype, il est recommandé d'intégrer d'autres variables et de multiplier les mesures au cours du cycle, suivie d'une extension sur plusieurs sites.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- 1-Abbassenne, F., Bouzerzour, H., et Hachemi, L. 1997.** Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride. *Annales Agronomiques*. Institut National Agronomique, El Harrach, **18**, 24-36.
- 2-AFNOR. 1981.** Détermination du pH. Association française de normalisation.NF ISO 103 90. In : AFNOR. *Qualité des sols*, Paris, 339-348.
- 3-Alderfasi, A.A. and Nielsen, D.C. 2001.** Use of crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in wheat. *Agric. Water Manage.* **47**, 69–75.
- 4-Ali Y, Atta BM, Akhter J, Monneveux P, Lateef Z. 2008.** Genetic variability, association and diversity studies in wheat (*Triticumaestivum* L.) germplasm. *Pak. J. Bot.*, **40** : 2087-2097.
- 5-Allali, D. et Ikhlef, N. 2013.** Les traits agronomiques chez des génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) conduits en milieu semi-aride. Mém. Ingén. Sci. Agro, Univ Ferhat ABBAS, Sétif, 45p.
- 6-Amokrane, A. 2001.** Evaluation et utilisation de trois sources de gemoplasme de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Magister, Institut d’Agronomie. Université Colonel El Hadj lakhdar. Batna, 80p.
- 7-Amokrane, A., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Djekoun, A. 2002.**Caractérisation des variétés locales, syriennes et européennes de blé dur évaluées en zone semi-aride d’altitude. *Sciences et Technologie*, Université Mentouri, Constantine, Numéro spécial D, 33-38.
- 8-Angus, J.F., van Herwaarden, A.F. 2001.** Increasing water use and water use efficiency in dryland wheat. *Agronomy Journal*, **93**, 290-298.
- 9-Araus JL, Brown HR, Febrero A, Bort J, Serret MD. 1993.** Ear photosynthesis, carbon isotope discrimination and the contribution of respiratory CO₂ to differences in grain mass in durum wheat. *Plant Cell and Environment*, **16**, 383-392.

10-Araus, J. L., Villegas, D., Aparicio, N., García Del Moral, L. F., El Hani, S., Rharrabti, Y., Ferrio, J. P., and Royo, C. 2003c. Environmental factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Sci.* **43**, 170–180.

11-Araus, J-L, Slafer G, Royo, C, Serret, M.D. 2008. Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Critical Reviews in Plant Sciences.* **27**, 377-412.

12-Asseng, S, Turner, N.C., Botwright, T., Condon, A.G. 2003. Evaluating the impact of a trait for increased specific leaf area on wheat yields using a crop simulation model. *Agronomy Journal*, **95**, 10-19.

Austin R.B.. (1999) Yield of wheat in the United Kingdom: Recent advances and prospects. *Crop Science*: **39**, 1604-1610.

13-Asada, H., Matsumoto, J., 2009. Effects of rainfall variation on rice production in the Ganges-Brahmaputra Basin. *Clim. Res.* **38**, 249-260.

14-Atwell, B. J., Kriedemann, P. E., Turnbull, C. G.N. 1999. Plants in Action, adaptation in Nature, Performance in Cultivation, *The Australian Society of Plant Physiologists South Yarra*, Victoria. 664p.

15-Angus, J.F., Herwaarden, A.F. 2001.Increasing water use and water use efficiency in dry land wheat. *Agronomy Journal.* **93**, 290-298.

16-Barrs, H.D. & Weatherley, P.E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, **15**, 413-428,

17- Bacon, M.A., Davies, W.J., Mingo, D. and Wilkinson, S. 2003. Root signals. *In: Roots: the hidden half* (Eds Y. Waisel, A. Eshel and U. Kafkafi) 3rd Edn, Marcel Dekker, Inc., USA, pp.460-471.

18-Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmhammed, A., Hassous, K.L. 2005. Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* .Desf.) cultivars under semi-arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy*, **4**, 360-365pp.

19-Bahlouli, F. et Bouzerzour, H. 2006. Comportement variétal de 10 génotypes contrastés de blé dur aux contraintes abiotiques sous climat semi-aride. *J. Algér. Régio. Ari.*, **5**, 51-60.

- 20-Bahlouli, F., Bouzerzour, H., Benmahammed, A. 2008.** Effets de la vitesse et de la durée du remplissage du grain ainsi que de l'accumulation des assimilats de la tige dans l'élaboration du rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans les conditions de culture des hautes plaines orientales d'Algérie. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, **12**(1), 31-39.
- 21-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
- 22-Baldy, C. 1974.** Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques et de leurs influences sur la production des principales zones céréalières. Document du projet céréale, 170p.
- 23-Baldy, C. 1986.** Comportement des blés dans les climats méditerranéens. *Ecol Mediterr*, XII (3-4), pp73-78.
- 24- Balkan, B., Balkan, S. and Ertan, F. 2011.** Optimization of parameters for α -Amylase production under solid state fermentation by *Tricho thecium roseum*. *Rom Biotechnol Lett.*, **16**(5), 6591-6600.
- 25-Belagrouz, A., 2013.** Analyse du comportement du blé tendre, Variété El wifak (*Triticum aestivum* L.) conduite en labour conventionnel, travail minimum et semis direct sur les hautes plaines sétifiennes. Mém. Magi. Sci. Agro, Univ. Ferhat ABBAS, Sétif, 87p.
- 26-Belhassen, E., This, D. et Monneveux P. 1995.** L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahier d'Agriculture*, **1**, 251-261.
- 27- Beltrano, J. and M. G. Ronco. 2008.** Improved tolerance of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) to drought stress and rewatering by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum*: Effect on growth and cell membrane stability. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, **20**, 29-37.
- 28-Belkherchouche, H., Fellah, S., Bouzerzour, H., Benmahammed, A., Chellal, N. 2009.** Vigueur de la croissance, translocation et rendement en grains du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi arides. *Courrier Savoir Technique & Scientifique*. **7**, 25-30
- 29-Ben Abdallah, N. and Ben Salem M. 1992.** Paramètres morpho-physiologiques de sélection pour la résistance à la sécheresse des céréales. A l'occasion des colloques

n°64 ; Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne : Diversité génétique et amélioration des variétés, (Montpellier, France, 15-17 décembre 1992). Eds. Ben Salem, M. et Monneveux, P. Ed. INRA, Paris 1993. 173-190pp.

30- Benhassine, H., Aloui, T., Gallali, T., Bouzid, T., El amri, S., Benhassen, R. 2008. Evaluation quantitatives et rôle de la matière organique dans les sols cultivés en zones sub-humides et semi-arides méditerranéennes de la Tunisie. *Agrosolution*, **19**, 1-14.

31 -Bennasseur, A. 2003. Référentiel pour la conduite technique de la culture du blé dur (*Triticum durum*).p 25.

32- Bannayan, M., Mansoori, H., Eyshi Rezaei, E. 2014. Estimating climate change, CO₂ and technology development effects on wheat yield in northeast Iran: *International journal of biometeorology*, Springer Berlin Heidelberg, pp395-405.

33-Benselmane, L., 2004. Contribution à l'étude de la cinétique d'accumulation et de la répartition de la matière sèche chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous climat méditerranéen. Mém. Magi. Sci. Biolg, Univ. Ferhat ABBAS, Sétif, 81p.

34 -Bennet, S.J., Saidi, N., Enneking, D. 1998. Modelling climatic similarities in Mediterranean areas : A potential tool for plant genetic resources and breeding programmes. *Agric. Ecosyst. Environ.* **70**, 129–143.

35- Bilgi, S.A. 2006. Physiological investigations in *Dicoccum* wheat genotypes. M.Sc. Thesis, Sciences Dharwad. July, 2006. pp. 1-76.

36-Bousba, R., Ykhlef, N. and Djekoun, A. 2009. Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *World journal of agricultural sciences*. **5(5)**: 609- 616

37- Blum, A. and Arkin, G.F. 1984. Sorghum root growth and water use as affected by water supply and growth duration. *Field Crops Research*, **9**,131-142.

38- Blum, A. 1993. Selection for sustained production in water deficit environments, *In*: D..Buxton III (Ed.). *International Crop Science I*, CSSA, Madison, WI, pp 343–347.

39- Blum, A., 2009 - Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*. **112**,119-123.

40-Bouthier, A. et Bonnefoy, M. 1993. Céréales : une pratique à adapter selon les sols et les espèces. *In* : Gérer l'irrigation en grandes cultures, ITCF, 6-14

41- Bos, M.G. 1985. Summary of ICID definitions of irrigation efficiency. *ICID Bull.* 34, 28-31

42- Boyer, J.S. 1996. Advances in drought tolerance in plants, *Adv. Agron.* **56**, 187-218.

43-Boukhoubza, N., Ghalem-Djender, Z. 2004. Evaluation des contraintes de la variabilité et de la faiblesse des rendements de céréales. *Céréaliculture* n°46, ITGC. pp. 59- 63.

44-Bouraine, S. 2006. Etude comparative de quelques lignées F₉ de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mém. Ingénieur, INA, Alger.74 p.

45-Bousba, R., Ykhlef, N. and Djekoun, A. 2009. Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in reponse to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *World Journal of Agricultural Sciences*. 5.5,pp. 605 -616.

46-Bouthier, A., Bonnifet, JP., Briand, A. 2004. Irrigation des céréales : une efficacité comparable sur blé tendre, blé dur et orge de printemps. *Perspectives agricoles* N° 300 : Avril p 42.

47- Bouzerzour, H. and A. Benmahammed. 1994. Environmental factors limiting barley grain yield in the high plateaux of eastern Algeria. *Rachis*, **12**, 11-14.

48-Bouzerzour, H. and M. Dekhili. 1995. Heritability, gain from selection and genetic correlation for yield of barley grown in two contrasting environments. *Field Crops Res.*, **41**,173-178.

49-Bouzerzour, H. 1998. Sélection pour le rendement, la précocité à l'épiaison et la biomasse aérienne chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) en zone semi-aride. Thèse de Doctorat d'Etat. Univ Constantine.

50-Briggs, L.J. and Shantz, H.L. 1913. The water requirements of plants. II. A review of literature. Bulletin, USDA, *Bureau of Plant Industry* No. 285.

51-Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M., Ruguet, F., Nicoullaud, B., Gate, P.J.L., Devienne-Barret, F., Antonioletti, R., Durr, C., Richard, G., Beaudoin, N., Recous, S., Tayot, X.,

Plenet,D., Cellier,P., Machet,J.M., Meynard,J.M., Dele'colle,R.1998.STATISTICS: A generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomy*,**18**, 311–346.

53-Brisson, N., Ruguet, F., Gate, P.J.L., Nicoullaud, B.,Tayot,X., Plenet,D., Jeuffroy, M.H., Bouthier,A., Ripoche,D., Mary,B.,Justes,E.,2002.STISTICS: A generic model for the Simulation of crops and their water and nitrogen balances. II. Model validation for wheat and maize. *Agronomy*, **22**, 69-92.

54-Brisson, N.; Gary, C.;Justes, E.;Roche,R.; Mary,B.; Ripoche,D.; Zimmer,D.; Sierra,J.; Bertuzzi,P.; Burger,P.; Bussie`re,F.; Cabidoche, Y.M.;Cellier, P.;Debaeke,P.; Gaudille`re, J.P.; He´nault, C.; Maraux, F.; Seguin, P.; Sinoquet, H. 2003. An over view of the crop model Stistics. *Eur. J. Agron.***18**, 309-332.

55-Bruand, A., Duval, O., Gaillard, H., Dathout, R. et Jamagne, M. 1996.Variabilité des propriétés de rétention en eau des sols : Importance de la densité apparente. *Etude et Gestion des Sols*, **3**, 1, 27-40.

56-Chaker A. et 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* N°**44**–1^{er} trimestre, 30-35.

57-Chen C., Payne A.W., Smiley, R.W. and Stoltz M.. 2003. Yield and water use efficiency of eight wheat cultivars planted on seven dates in Northeastern Oregon. *Agron. J.* **95**, 836 -843.

58-Chennafi, H., Bouzerzour, H., Aidaoui, A. et Saci A. 2005. L'optimisation des apports d'eau d'appoint sur des variétés contrastées de blé dur (*Triticum Durum* Desf.) en zone semi-aride In: Proceedings du 3^{ieme} Congrès Méditerranéen, Marrakech, p.54-59.

59-Chennafi, H., Aïdaoui, A., Bouzerzour, H. & Saci, A. 2006. Yield reponse of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *Asian J. Plant Sci.*, **5**, 854-860.

60-Chennafi, H., A. Saci, A. Chennafi & M.A. Laib. 2008. Amélioration de l'agriculture pluviale en environnement semi-aride. In : Proceedings du séminaire national sur les contraintes à la production du blé dur en Algérie. Université Chlef, le 29 et 30 novembre 2008,62-68.

61-Chennafi, H., Saci, A., Harkati, N., Adjabi, A., Mébarkia A. 2011. L'optimisation du rendement de la culture du blé sous l'effet du précédent cultural et l'outil de labour en environnement semi-aride. In : Bouzerzour H., Irekti H. & Vadon B. Quatrièmes rencontres méditerranéennes du semis direct. Options méditerranéennes. Série A.: Séminaires Méditerranéens 96: 213:220. Ed. CIHEAM, Lavoisier. Paris, 251 p

62-Cherfia, R. Etude de la variabilité morpho-physiologique et moléculaire d'une collection de blé dur algérien (*Triticum durum* Desf.) 2010. Mémoire de Magister, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biologie et Ecologie. Université Mentouri, Constantine. 77pp.

63-CIC, 2007. International Grains Council: World Grains Statistics, pp 13-17.

64- CIC, 2014 : Conseil International des Céréales. Chiffres du 26/06/2014.

<http://www.agpb.com/documentation-et-publications/recoltes/160-monde-donnees-globales-et-par-pays-sur-le-marche-des-cereales>.

65-Clarke, J. M., Richards, R. A. and A. G. Condon. 1991. Effect of drought stress on residual transpiration and its relationship with water use of wheat. *J. Plant Sci.* **71**: 695-702.

66- Clement, M., Grandcourt, M., Prats, J. 1971. Les céréales. Coll-D'enseing. Agricoles. Ed.J.B.,Bailliére et fils, Fance, 351p.

67-Clement, J.M. 1981. Larousse Agricole. Pp.115-119.

68-CoStat, Version 6.400 Copiright (c) 1998-2008, CoHort Software, 2008 ; 798 light house Ave, PMB 320,Monterey, Ca,93940,USA .

69- Condon, A.G., Richards, R.A., Rebetzke, G.J. and Farquhar, G.D. 2002. Improving intrinsic water use efficiency and crop yield. *Crop Science.* **42**, 122-131.

70-Condon, A. G., Richards R. A., Rebetzke G. J. and Farquhar, G.D. 2004. Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany.* **55**, 2447-2460.

71 -CropStat, 2009. Logiciel de statistique, version 7.2.3., IRRI, Manilla.

- 72-Dakhell, A.J., INadji, V., Mahalazkshmi, J.M. and Peacock, 1993** – Morpho-physiological traits with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects of Applied Biology*. **34**, 297-307.
- 73-Deng, X., Shand, I. and Shinobu, I. 2004.** High efficiency use of limited supplement water by dryland spring wheat. *Trans. CSAE, diversification, food security and the interlinkages between the agricultural and the energy sector - Expert meeting*. 29 November-1 December, 2006. Geneva, Palais des Nations. 18, 84-91.
- 74- Deswarte F.E.I., 2006.** The fractionation of valuable wax products from wheat straw using CO₂. *Green chemistry*. Vol.8. pp39-42.
- 75-DeWit, C.T. 1958.** Transpiration and crop yields. *Verslag Landbouwkundige Onderzoekingen*. **64**, 1-88.
- 76-Diehl, R. 1975.** Agriculture générale. *Editions J.B.Baillière*. 396.
- 77-Donald, C.M. 1962.** In search of yield. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* **28**, 171–178.
- 78- Donald, C.M. 1968.** The breeding of crop ideotypes. *Euphytica*. **17**, 385–403.
- 79-Doucet, R. 2006.** Le climat et les sols agricoles. Ed. Berger, Eastman, Québec. xv, 443 pp.
- 80-Ehdaie, B. 1995.** Variation in Water-Use Efficiency and Its Components in Wheat: Pot and Field Experiments. *Crop Sci.* **35**, 1617-1626.
- 81-Elhani, S., V. Martos, Y. Rharrabti, C. Royo, L.F. et Garcia del Moral, 2007.** Contribution of main stem and tillers to durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grain yield and its components grown in Mediterranean environments. *Field Crops Research*. **103** , 25-35.
- 82-Eisen, M.B., Spellman, P.T., Brown, P.O., Botstein, D. 1998.** Cluster analysis and display of genome-wide expression patterns. *Proceedings of the National Academy of Science, USA*, 95, 14863-14868.
- 83-Everitt, B.S., 1993.** Cluster Analysis. Wiley, New York, NY. pp. 24-40.
- 84-Excel 2007,** Microsoft office Excel. 2007.
- 85-FAO. 1979.** Yield response to water by J. Doorenbos & A.H. Kassam. Irrigation and drainage. Paper No. 33. FAO, Rome.
- 86-FAO2013,**www.fao.org.

87-FAOSTAT. 2013. Statistical database of the food and agriculture organization of the United Nations.<http://www.fao.org>. (Consulté le 11/10/2014).

88-Fellahi, Z., A. Hannachi., H. Bouzerzour., A. Boutekrabt. 2013C. Study of interrelationships among yield and yield related attributes by using various statistical methods in bread wheat (*Triticum aestivum* L. emThell.). *International journal of Agronomy and Plant Production*. Vol., **4** (6), 1256-1266.

89-Fellahi, Z., A. Hannachi., H. Bouzerzour., A. Boutekrabt. 2013b Correlation between traits and Path Analysis Coefficient for Grain Yield and Other Quantitative Traits in Bread Wheat under Semi-Arid Conditions. *Journal of Agriculture and Sustainability*. **3** (1), 16-26.

90-French, R.J. and Shultz, J.E. 1984. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type environment. The relationship between yield, water use and climate. *Aust. J. Agric. Res.* **35**, 743-764

91-Geny, P., Waechter, P. et Yatchinovsky, A. 1992 – Environnement et développement rural. Guide de la gestion des ressources naturelles, BDPA-Sectagri, Ministère de la Coopération et du Développement, agence de Coopération culturelle et technique, Frison-Roche, Paris, 418 p.

92-Giunta, F., Motzo, R., Deidda, M. and 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* **33**, 399-409.

93-Google Earth.2014. Image©2014 Geoeye. Data Sio, Navy NAGEBEO©2014-Google©2014Tele Atlas.Date des images Satellite 14/05/2014. 36° 10'06.96 N°, 05° 21'55.13E°, élév 978 m, altitud1,66km.

94- Green, T.R., Yu, Q., Ma, L. and Wang, T. 2010. Crop Water Use Efficiency at Multiple Scales. *Agricultural Water Management*. **9**, 1099-1101

95-Gregory, P. J., Simmonds, L. P. and Pilbean, C. J. 2000. Soil type, climatic regime and the response of water use efficiency to crop management. *Agronomy Journal*, **92**, 814-820.

96- Gregory, P.J. 2004. Agronomic approaches to increasing water use efficiency. In: Water use efficiency in plant biology. Bacon M.A, Editor. Blackwell Publishing; Oxford, UK: pp. 142–167.

97-Hatfield, J.L., Sauer, T.J., Prueger, J.H., 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency: A review. *Agronomy J.* **93** (March/April (2), 271- 280.

- 98-Hannachi, A. et Fellahi, Z. 2010.** Effets des résidus et du travail du sol sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en milieu semi-aride. Mémoire d'Ingénieur, Département d'Agronomie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, UFAS. 80p.
- 99-Hartkamp, A.D., Hoogen boom, G., White, J.W., 2002.** Adaptation of the CROPGRO growth model to Velvet Bean (*Mucuna pruriens*). I. Model development. *Field Crops Res.* **78**,9-25.
- 100-Hikosaka, K., Ishikawa, K., Borjigidai, A., Muller, O. and Onoda, Y. 2006.** Temperature acclimation of photosynthesis: Mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *Journal of Experimental Botany.* **57**, 291-302.
- 101-Hopkins, W.G. 2003.** Physiologie végétale. Edition de Boeck Université, pp.288- 314
<http://capoul.toulouse.inra.fr/centre/centre/eau.htm>.
- 102-Innes, P. and Blackwell, R.D. 1981.** The effect of drought on the water use and yield of two spring wheat genotypes. *Journal of Agricultural Science.* **96**, 603-610.
- 103-ITGC. 1992.** La culture du blé sous pivot en zones sahariennes. ITGC. 23 p.
- 104-ITGC. 2001.** Stades et variétés de blé. Ministère de l'agriculture. Algérie. Document de vulgarisation, pp. 18-20.
- 105-Jäger, K., A. Fábíán, G. Eitel, L. Szabó, C. Deák, B. Barnabás and I. Papp. 2014.** A morpho-physiological approach differentiates bread wheat cultivars of contrasting tolerance under cyclic water stress. *Journal of Plant Physiology.* **171 (14)**, 1256-1266.
- 106-Jones, H.G. 1992.** Plants and Microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology. 2nd Edn, Cambridge University Press, UK.
- 107-Kemanian, A.R., Stoeckle, C.O. and Huggins, D.R., 2005.** Transpiration-use efficiency of barley. *Agric. Forest Meteorol.* **130**, 1-11.
- 108-Khayatnezhad, M, Gholamin, R., Jamaati-e-Somarin, S.H., Zabihie-Mahmoodabad, R. (2011).** The leaf chlorophyll content and stress resistance relationship considering in Corn cultivars (*Zea mays*). *Adv. Environ. Biol.*, **5(1)**, 118-122.

- 109-Khenchour, H. 2008.** Contribution à l'étude de la variation de la vigueur de croissance, la capacité de translocation des hydrates de carbone et le rendement chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.), sous conditions semi-arides. Mémoire de Magister, Département de Biologie, ISN, CU .OEB, 72 pp.
- 110-Kheyar, M. 2007.** Etude comparative de trois techniques de semis de blé : Effets sur les composantes du rendement. Thèse de Mag. Inst. Nat. Agro. 65pp.
- 111-Kirda, C., Kanber, R., Tulucu, K. 1999.** Yield response of maize, soybean, sugar beet, sunflower and wheat to deficit irrigation. In: Crop yield response to deficit irrigation. Kirda, C., Mounnet, P., Hera, C. Nielson, D.R. eds, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
- 112-Kirda, C. and R. Kanber. 1999.** Water, no longer a plentiful resource, should be used sparingly in irrigated agriculture.. In : C. Kirda, Mounnet, P., Hera, C. Nielson, D.R. (eds.) Crop yield response to deficit irrigation. Kluwer Academic. Publishers., Dordrecht, the Netherlands. p. 1–20
- 112- Kiliç, H. and T. Yağbasanlar. 2010.** The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) cultivars. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj. **38** (1), 164-170.
- 113 –Kirby, E.J.M. 1985.** Significant stages of ear development in winter wheat. In: Day W. et Atkin R.K. (Eds.). Wheat Growth and Modeling. Plenum Press, New York, pp 7-24.
- 114- Kirkegaard, J.A., Lilley, J.M., Howe, G.N., Graham, J.M. 2007.** Impact of subsoil water use on wheat yield. *Australian Journal of Agricultural Research*. **58**, 303-315.
- 115- Kirkegaard, J.A, Hunt, J.R. 2010.** Increasing productivity by matching farming system management and genotype in water-limited environments. *J Exp. Bot.* **61**, 4129-4143
- 116-Kirkham, M. B., Smith, E. L., Danasobhon, C. et Draket, T. I. 1980.** Resistance to water loss of winter wheat flag leaves. *Cer. Res. Commun.* **8**, 393 p.
- 117- Kramer, P.J. and Boyer, J.S. 1995.** Water Relations of Plants and Soils. 2nd Edn, Academic Press., San Diego, CA, 495pp.
- 118-Kribaa, M., Hallaire, V., Curmi, P., Lahmar, R.2002.** Effects of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of soil in semi-arid climate. *Soil & Tillage Research*. **60**, 43-53.

- 119-Krishnamurthy, L., Vadez, V., Jyotsna Devi, M., Serraj, R., Nigam, S.N., Sheshshayee, M.S., Chandra, S., Aruna. R. 2007.** Variation in transpiration efficiency and its related traits in a groundnut (*Arachis hypogaea* L.) mapping population, *Field Crops Res.* **103**, 231-247.
- 120-Laala, Z., Oulmi, A., Saraoui, T., Haddad, L., Nouar, H., Benmahammed, A. et Bouzerzour, H. 2009.** Effet de la sélection de la biomasse et des épis sur le rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous condition semi-arides. Département d'Agronomie, Fac. Sci. et Sci. Ing, Université El-Hadj Lakhdar, Batna, pp55-68.
- 121- Lafont, F., Burkhardt, J.K. and Simons. 1994.** Involvement of microtubule motors in baso-lateral and apical transport in kidney cells. *Nature.* **372**, 801-803.
- 122 -Latreche, F. 2011.** Le rendement et l'efficience d'utilisation de l'eau de la culture du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous les effets du précédent cultural et de l'outil de labour du sol en environnement semi-aride. Mém. Magi. Sci. Agro, Univ. Ferhat ABBAS, Sétif, 143p.
- 123- Leclerc, J.C. 1988.** Ecophysiologie végétale. Edition l'Université de Saint Etienne. 350p.
- 124 – Leilah, A.A., Al-Khateeb, S.A., 2005.** Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *Journal of Arid Environments.* **61**, 483-496.
- 125 -Li, L., Yu, Q. 2007.** Quantifying the effects of advection on canopy energy budgets and water use efficiency in an irrigated wheat field in the North China Plain, *Agric. Water Manage.* Doi: 10.1016/j. agwat. 2006.12.003.
- 126-Lopez-Castaneda, C., Richards, R.A., Farquhar, G.D. and Williamson, R.E. 1996.** Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigour between wheat and barley. *Crop Science.* **36**, 1257-1266.
- 127-Loss, S.P., Siddique, K.H.M. 1994.** Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Adv.Agron.* **52**, 229–276.

128-Machado, S., Terie, S., Rhinhart, K., Ramig, R.E. 2008. Tillage effects on water use and grain yield of winter wheat and green pea in rotation. *Agron. J.* **100**, 154-162.

129-MADR. Ministère de l'agriculture, 2006. Statistiques agricoles, superficies et productions. Direction des Statistiques Agricoles et des Enquêtes Economiques. *Séries B01*, 2006-. www.minagri.dz

130-Martin, S.R., Esposito, V., De Los Rios, P., Pastore, A. and Temussi, P.A. 2008. Cold denaturation of yeast frataxin offers the clue to understand the effect of alcohols on protein stability. *J. Am. Chem. Soc.* **130**(30): 9963-99670.

131-Mazouyer, M., 2002. Larousse agricole. pp: 270.

132-Mekhlouf, A., H. Bouzerzour, A. Benmahammed, A. HadjSahraoui, N. Harkati. 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*. **17**, 507-513.

133-Mellouli, H.J., Ben Naceur, M., El Felah, M., El Gharbi, M.S., Kaabia, M., Nahdi, H., Slafer, G.H. et Karrou, M. 2008. L'efficience d'utilisation de l'eau chez le blé et l'orge sous différentes régimes hydriques et fertilisation azotée dans des conditions sub-humides Tunisie. *Rev. INRA.Tu.* pp179-189.

134-Merah, O., Dele'ens, E., Monneveux, P. 2001. Relationships between carbon isotope discrimination, dry matter production and harvest index in *durum* wheat. *J. Plant Physiol.* **158**, 723–729.

135-Meynard, J.M. (1987). L'analyse de l'élaboration du rendement des céréales sur les essais de fertilisation. *Pers. Agroc.* **115**, 76-83.

136-Mingcai, Z. Liuheng, D., Tian, X. 2007. Uniconazole-induced resistance of soybean to water deficit stress in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system. *J. Plant Physiol.* **164**, 709-717.

137-Mohammad, W., Shah, S.M., Shehzadi, S.S., Shah, A. and Nawaz, H. 2006. Wheat and oat yields and water use efficiency as influenced by tillage under rain fed condition. *NIFA. Peshawar, Pakistan.* **45**(1),48-54.

138-Mohammad, W., Shah, S.M., Shehzadi, S. and Shah, S.A., 2012. Effect of tillage, rotation and crop residues on wheat crop productivity, fertilizer nitrogen and water use

efficiency and soil organic carbon status in dry area (rainfed) of north-west Pakistan. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. **12**, 715-727.

139-Moule, C. 1980. Les céréales. Ed. La maison rustique, pp57.

140-Mrabet R. 2001. Le semis direct : Une technologie avancée pour une Agriculture durable au Maroc. Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture MADREF-DERD. N° 76, 4p. <http://agriculture.ovh.org>.

141-Moindrot, C. 1959. L'eau et les plantes sous climat tempéré. Norois, Vol.24, numéro 14. pp353-365.

142-Nadjem, K. 2012. Contribution à l'étude des effets du semis direct sur l'efficience d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi-aride. *Mém. Magi. Sci. Agro*, Univ Ferhat ABBAS, Sétif, 108p.

143-Nielsen, D.C., Benjamin, J.G., Schneekloth, J.P. Corn water use and yield under dryland rotations and limited irrigation. Colorado State University, Newsletter. *Agron. J.* V. 22 Issue 3 p3-4.

144-Nielsen, D. and Vigil, M.F. 2010. Precipitation storage efficiency during fallow in wheat-fallow systems. *Agron J.* **102**, 537-543.

145-Office National de Météorologie.2014. Données Météo. Station ONM de Sétif, 20 p.

146-Ollier, C., Poirée, M. 1981. Irrigation, les réseaux d'irrigation théorie, technique et économie des arrosages. Ed. Eyrolles, Paris, 503 p.

147-ONS.2013. Office National des Statistiques.

148-ONSA, 2013. Office national des statistiques agricoles.doc, 12p

149-Ortiz-Monasterio, J.I. 2002. Nitrogen Management in Irrigated Spring Wheat..In : B..Curtis, S. Rajaram and H. Gomez Macpherson (eds.) p.433-452. Bread Wheat Improvement and Production. FAO Plant Production and Protection Séries No. 30, Rome, Italy. No. pp. 554.

150-Oweis, T., Zhang, H., Pala, M. 2000. Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agronomy Journal*. **92**,231–238.

151-Pansu, M., Sallih, Z. and Bottner, P., 1998. Modelling of soil nitrogen forms after organic amendments under controlled conditions. *Soil Biology & Biochemistr*. **30**: 19-29.

- 152 –Passioura, J.B. 1977.** Grain yield, harvest index and water use of wheat. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*. **43**, 117-120.
- 153-Passioura, J. 2004.** Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. In *proceedings of the 4th International Crop Science Congress "New directions for a diverse planet"* Brisbane, Australia. 12 pages, www.regional.org-au/au/cs.
- 154- Penmon, H.L. 1948.** Proceedings of the Royal Society Series A. **193**, 120-145.
- 155-Polley, W.H. 2002.** Implications of Atmospheric and Climatic Change for Crop Yield and Water Use Efficiency. *Crop Science*. **42**: 131-140.
- 156-Prasil, I.T., P. Vitamvas, G. Saalbach, V. Capkova, J. Opatrna, J. Ahmed. 2007.** WCS120 protein family and proteins soluble upon boiling in cold-acclimated winter wheat. *Journal of Plant Physiology*. **164**, 1197-1207.
- 157-Prats, J., Graldcourt, C. 1970.** Les céréales. Édition Baillière. 54-58 p.
- 158-Pretty, J.N., Morison, J.I.L., Hine, R.E., 2003.** Reducing food poverty by increasing agricultural sustainability in developing countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **95**, 217-234.
- 159-Rachedi, M.F. 2003.** Les céréales en Algérie : Problématique et option de réforme. *Céréaliculture*. N° **38**, pp 6-9.
- 160-Rebetzke, G.J., A.G. Condon, R.A. Richards and G.J. Farquhar. 2002.** Selection for reduced carbon-isotope discrimination increases aerial biomass and grain yield of rainfed bread wheat. *Crop Sci*. **42**, 739-745.
- 161-Richards, R.A., Rebetzke G.J., Condon A.G., VanHerwaar-den A.F. 2002.** Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci*. **42**. 111-121.
- 162-Rijsberman, F.R. 2004.** Water scarcity: Factorfiction? In: Fischer,T., Turner, N., Angus, J., McIntyre, L., Robertson, M., Borrell, M., Lloyd, D. (Eds.). *New Directions for a Diverse Planet: Proceedings for the 4th International Crop Science Congress*, Brisbane, Australia, 26 September–1October 2004. <[www.cropscience.org.au](http://www.cropsscience.org.au)>.

- 163-Royo, C., Michelena, A., Carrillo, J.M., Garcí'a, P., Juan-Aracil, J., Soler, C .1998.** Spanish *durum* wheat breeding program. In: Nachit, M.M., Baum, M., Porceddu, E., Monneveux, P., Picard, E. (Eds.), SEWANA (South Europe, West Asia and North Africa) *Durum* Research Network. Proceedings of the SEWANA. *Durum* Network Workshop, Syria, pp. 80–87.
- 164-Royo, C., Villegas, D., García del Moral, LF, Elhani, S, Aparicio, N., Rharrabti, Y., Araus, J.L. 2002.** Comparative performance of carbon isotope discrimination and canopy temperature depression as predictors of genotype differences in *durum* wheat yield in Spain. *Australian Journal of Agricultural Research*. **53**: 561-569.
- 165-Sajjad, M., Khan, S.H., Khan, A.S. 2012.** Patterns of trait associations in various wheat populations under different growth environments. *African Journal of Biotechnology*. **11**(22), 5970–5981
- 166-Sezen, M., Yazar, A. 2006.** Wheat yield response to line-source sprinkler irrigation in the arid Southeast Anatolia region of Turkey. *Agricultural Water Managemen*. **81**, 59-76.
- 167-Singh, S.P. and. Dwivedi, V.K. 2002.** Genetic divergence in wheat (*Triticum aestivum* L.). *New Agriculturist*, **13**(1-2), 5-7.
- 168-Slafer, G. A. and Andrade, F. H. 1990.** Genetic improvement effect on pre-anthesis phonological attributes related to wheat grain yield. *Field Crop Research*. **23**, 255-263.
- 169-Smadhi, D., Semiani, M., Mouhouche, B., and Zella, L. 2008.** Pluviométrie et céréaliculture : Cas des Hauts-Plateaux de l'Est Algérien. *Recherche agronomique* N° **21** .pp7-16.
- 170-Smith, M. 2000.** The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. *Agr..Forest Meteorol.***103**, 99–108.
- 171-Soltner, D. 1988.** Les grandes productions végétales. 16ème édition. *Coll. Sci.* pp16-21.
- 172-Soltner, D. 1998a.** Les grandes productions végétales : Céréales, plantes sarclées, prairies, Sainte-Gemme-sur-laire, *Sciences et Technologies Agricoles*, pp 20-35.
- 173-Soltner, D. 1990b.** Les grandes productions végétales : Céréales-plantes sarclées-prairies, 17^{ème} édition, pp : 9- 54.

- 174-Soltner, D. 2005c.** Les grandes productions végétales : Céréales-plantes sarclées-prairies, 20^{ème} édition, pp 8- 80.
- 175- Stanhill, G. 1986.** Water use efficiency. *Advances in Agronomy*. **39**, 53-85.
- 176-Steiner, J.L., Smith, R.C.G., Meyer, W.S., Adeney, J.A. 1985.** Water use, foliage temperature and yield of irrigated wheat in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, Vol. 36, pp. 1–11.
- 177-Stewart, B.A. 1985.** Water conservation technology in rainfed and dryland agriculture. *Proceedings of the conference 'Water and water policy in world food supplies'*. Texas A & M University, College Station, Texas, pp 335-359.
- 178-Stöckle, C.O., Donatelli, M., Nelson, R. 2003.** CropSyst. a cropping system simulation model..*Eur. J. Agron..* Second special issue “Proceedings of the 2nd International Symposium on Modelling Cropping Systems, Florence, Italy”. 18(3–4), 289–307.
- 179-Siddique, K.H.M., Tennant, D., Perry, M.W. & Beldford, R.K. 1990.** Water use and water use efficiency of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Aust. J. Agric. Res.* **41**, 431–447.
- 180-Tardieu, F., Cruiziat, P., Durand, J.L., Triboï, E., Zivy, M. 2006.** Perception de la sécheresse par la plante. Conséquences sur la productivité et sur la qualité des produits récoltés. Unité Expertise scientifique collective, INRA. *Sécheresse et agriculture*, Chapitre 1.1, 49- 67.
- 181-Tavakolliet Oweiss, 2004.** The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. *Agricultural water management*. 65, 225-236.
- 182-Tsai, J.W., Chen, Y., Kriegstein, A.R., Vallee, R.B. 2005.** LIS₁ RNA interference blocks neural stem cell division, morphogenesis and motility at multiple stages. *J. Cell Biol.* **170**, 935-945.
- 183-Turner, N. C. 1986 (b).** Crop water deficits: a decade of progress. *Advances in Agronomy*. **39**,1-51.
- 184-Turner, N.C. 2004.** Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. *Journal of Experimental Botany*.**55** (407): 2413-2425.

- 185-Tanner, C.B. and Sinclair, T.R. 1983.** Efficient water use in crop production: research or research ? In: Taylor, H.M., Jordan, W.R., Sinclair, T.R. (Eds.), Limitations to Efficient Water Use. In : *Crop Production. Am. Soc. Agro.*, pp. 1–27.
- 186-Tambussi, E. A., Bort, J., Araus, J. L. 2007.** Water use efficiency in C3 cereals under Mediterranean conditions: a review of physiological aspects. *Ann. Appl.Biol.***150**, pp 307–321.
- 187-Tavakolli, M., Oweis, T. 2004.** The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. *Agricultural Water Management.* **65**, 225-236
- 188-Triboi, E. 1990.** Modèle d’élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum* em. Thell.) *Agronomie*, 1 ,191-200.
- 189-VanIttersum, M.K., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Kropff, M.J., Bastiaans, L., Goudriaan, J. 2003.** On approaches and applications of the Wageningen crop models *Eur.J.Agron.*.Second Special Issue “Proceedings of the 2nd International Symposium on Modelling Cropping Systems, Florence, Italy”. 18(3–4) ,201–234
- 190-Waqar, A. J., Turrall, H. & Masih, I. 2004.** Water productivity of rice crop in irrigated areas. 4th International Crop Science Congress (ICSC). *Brisbane, Australia, 26 September – 1 October 2004.*
- 191-Walinga, I., Van Vark, W., Houba, V. J. G. & Van der Lee, J. J. 1989.** Plant analysis procedures. Dpt. Soil Sc. Plant Nutr.Wageningen Agricultural University. Syllabus, Part 7,197-200.
- 192-Wang,F.;Fraisie,C.W.;Kitchen,N.R.;Sudduth,K.A.; 2003.**Site-specific evaluation of The CROPGRO-soybean model on Missouri claypan soils. *Agric.Syst.*76,985–1005.
- 193-Wang, Z.; Li, S.; Vera, C.L.; Malhi, S.S.; 2005.** Effects of water deficit and supplemental irrigation on winter wheat growth, grain yield and quality, nutrient uptake, and residual mineral nitrogen in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **36**, 1405–1419p.
- 194-Wit, C.T. 1958.** Transpiration and crop yields. Verslagen van landbouwkundige onderzoeken, No. 64.6. Wageningen.

- 195- Woodward, F.I. 1993.** Plant responses to past concentrations of CO₂ . *Vegetatio*. **104**, 105-155.
- 196-Wright, G.C., Nageswara Rao, R.C., Farquhar, G.D. 1994.** Water-use efficiency and carbon isotope discrimination in peanut under water deficit conditions. *Crop Sci.* **34**, 92–97.
- 197-Yang, H.S., Dobermann, A., Lindquist, J.L., Walters, D.T., Arkebauer, T.J., Cassman, K.G. 2004.** Hybrid-maize-amaize simulation model that combinest wocrop modeling approaches. *Field Crops Res.***88**,131–154.
- 198-Ykhlef, N. 2001.** Photosynthèse, activité photochimique et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur. Mém. Ing. Sci. Agro. Univ de Constantine, 146p.
- 199-Yoro, G., Godo, G. 1990.** Les méthodes de mesure de la densité apparente. Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cah. Orstom, sér. Pédol.*,Vol. XXV, N° 4, 1989-1990,423-429.
- 200-Zaaboubi, S., 2007.** Effets comparatifs de deux outils aratoires (disques et dents) et de différents précédents culturaux sur les propriétés physiques d'un sol cultivé en céréales dans la région de Timgad. *Mémoire de magistère*, Université de Batna. 156p.
- 201-Zaghouane, O., Merabti, A., Zaghouane-Boufenar, F., Ait abdellah, F., Amrani, M. & Djender, Z., 2006.** Durum quality and progressing by rural woman in the region of high plateau in Algeria. ITGC / ICARDA.38 p.
- 202-Ziaei, A.N., Sepaskhah, A.R. 2003.** Model for simulation of winter wheat yield under dryland and irrigated conditions. *Agr. Water Manage.* **58**, 1–17.
- 203-Zhang, X., Chen, S., Liu, M., Pei, D. & Sun, H., 2005.** Improved Water Use Efficiency Associated with Cultivars and Agronomic Management in the North China Plain. *Agronomy Journal*. **97**: 783-790.

L'efficience d'utilisation de l'eau pluviale chez des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en environnement semi-aride

Résumé

L'expérimentation a été réalisée au niveau de la station expérimentale agricole de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC, Sétif) durant la campagne agricole 2013/2014. L'investigation a pour objectif de tester dix génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) pour leur comportement à l'efficience d'utilisation de l'eau pluviale. En effet, l'EUE est fonction de l'interférence des paramètres agropédoclimatiques. Les résultats obtenus révèlent que le génotype Megress se montre plus valorisant pour l'eau avec $12.1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Par contre Djenah Khetaifa avec $5.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ apparaît le moins efficient. L'EUE représente un outil explicatif déterminant de la performance de génotype.

Mots-clés:

Efficience d'utilisation de l'eau pluviale, comportement, génotype, performance

Rainwater use efficiency for durum wheat varieties (*Triticum durum* Desf.) under semi-arid environment

Abstract

The experiment was conducted at the Agricultural Experimental Station of the Technical Institute of field Crops (TIFC, Sétif) during the crop year 2013/2014. The objective of the investigation is to test ten genotypes of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) for their response for the rainwater use efficiency (RWUE). In fact, the RWUE is function of the interference agropédoclimatiques parameters. The results reveal that Megress is considered an efficient genotype with $12.1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. However, Djenah Khetaifa with $5.6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ appears the least efficient. The RWUE is a key explanatory tool of genotype performance.

Keywords

rainwater use efficiency, response, genotype, performance

فعالية استغلال مياه الأمطار لأصناف من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) في مناخ شبه جاف

ملخص

أجريت هذه التجربة في محطة التجارب الزراعية التابعة للمعهد التقني للمحاصيل الكبرى بسطيف خلال الموسم الزراعي 2013/2014. بهدف اختبار سلوكيات عشرة أصناف من القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) لفعالية استغلال مياه الأمطار. وتدخل فعالية استغلال المياه كمؤشر للعوامل الزراعية الترابية والمناخية. أشارت النتائج أن الصنف مغرس أكثر فعالية للمياه مع $12.1 \text{ كغ هكتار}^{-1} \text{ مم}^{-1}$. في المقابل، الصنف دجنه ختايفا يظهر بأقل فعالية للمياه بـ $5.6 \text{ كغ هكتار}^{-1} \text{ مم}^{-1}$. تمثل فعالية استغلال المياه الأداة التوضيحية لفعالية الصنف.

على عكس الصنف جناح الخطيفة الذي يظهر بأقل فعالية للمياه بـ $5.6 \text{ كغ هكتار}^{-1} \text{ مم}^{-1}$. تمثل فعالية استغلال المياه الأداة التوضيحية لفعالية الصنف.

الكلمات المفتاحية

فعالية استغلال مياه الأمطار، الاستجابة، النمط الوراثي، الفعالية.