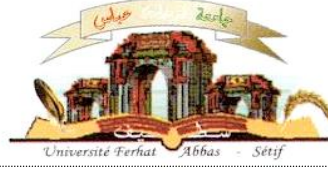


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة فرحات عباس، سطيف 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

N°...../SNV/2018

THÈSE

Présentée par

AISSAOUI Mohamed Ridha

Pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière: AGRONOMIE

Spécialité: PRODUCTION VÉGÉTALE

THÈME

**Etude de l'effet de l'irrigation d'appoint sur l'amélioration de la
production du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) dans la région de
Sétif**

Soutenue publiquement le **02/05/2019**

DEVANT LE JURY

Président	HAFSI	Miloud	Pr. UFA Sétif 1
Directeur	FENNI	Mohamed	Pr. UFA Sétif 1
Examineurs	HAZMOUNE	Tahar	Pr. Université de Skikda
	TANDJIR	Larbi	Pr. Université de Skikda
	LAIADI	Ziane	MCA Université de Biskra

Laboratoire de Valorisation des Ressources Biologiques Naturelles

REMERCIEMENTS

Louanges a ALLAH le tout puissant et le miséricordieux qui a orienté mon sens vers les bons choix et les bons réflexes pour que ce modeste travail aboutit à sa bonne fin.

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse le Professeur Fenni Mohamed, de l'université Ferhat ABBAS Sétif-1, qui m'a fait l'honneur de m'encadrer. J'ai pu apprécier les qualités d'un homme de science et de pédagogie mais aussi des qualités humaines qui m'ont permis de travailler en toute sérénité et confiance. Je lui suis particulièrement reconnaissant et redevable pour le temps et l'énergie qu'il m'a toujours accordé pour me transmettre des conseils, des orientations et surtout sagesse dont le moindre qu'en puisse dire et celle des grands maitres, je peux m'estimer très privilégié. Veuillez bien trouver ici l'expression profonde de ma grande et chaleureuse estime.

Je tiens aussi à présenter mes vifs remerciements à Monsieur le Professeur Hafsi Miloud de l'université Sétif-1 qui m'a fait l'honneur de présider le jury et à Messieurs ; Professeur Tandjir Larbi et Professeur Zahmoun Tahar de l'université de Skikda et au Docteur Laiadi Ziane de l'université de Biskra d'avoir pris sur leur temps pour lire, examiner et juger ce modeste travail.

Je tien également à remercier sincèrement toute l'équipe de l'ITGC Sétif ; Monsieur le directeur Sersoub Djamel, l'ingénieur chercheur Monsieur Harkati Bachir ainsi que le reste du personnel et ouvriers ; toute l'équipe de la ferme pilote Bouteraa Mahmoud à Oueldja ; Monsieur le directeur Bousahel Mourad ainsi que le reste du personnel et ouvriers de m'avoir accueilli et mis à ma disposition les moyens nécessaires et indispensable pour mener à bon terme mes essais consécutivement pendant la première et la deuxième année de mon étude. Je les remercie tous considérablement.

Mes remerciements les plus sincères sont aussi adressés à Monsieur le directeur du complexe des industries alimentaires Chouf-lekded–Sétif et à toute l'équipe du laboratoire d'analyse pour avoir mis à mes dispositions les moyens nécessaires afin de réaliser les analyses de qualité de ma thèse.

Je ne saurai oublier de remercier le CNCC avec tout son personnel pour l'aide précieuse et inconditionnelle et plus particulièrement celle du directeur Monsieur Hadj Sahraoui.

Je tiens à adresser des remerciements particuliers au Docteur Mouffek charaffeddine du département des Sciences Agronomiques, université Sétif-1, de m'avoir assisté pour les travaux d'analyse statistique j'ai bien appris de son savoir dans ce domaine. Merci du fond du cœur.

Par peur d'afficher une liste non exhaustive de tous ceux que le destin à mis sur mon chemin et qu'ils n'ont pas hésité à apporter leur touche, qu'elle soit, dans ce modeste travail ; je leur dis merci infiniment.

Mohamed Ridha

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION.....1

CHAPITRE I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Caractéristiques générales du blé tendre	5
1.1. Historique et génétique du blé tendre.....	5
1.1.1. Origine géographique.....	5
1.1.2. Origine génétique.....	5
1.2. Biologie et cycle végétatif du blé tendre.....	6
1.2.1. Morphologie du blé tendre.....	6
1.2.2. Cycle végétatif du blé.....	7
1.3. Importance économique de la culture du blé tendre.....	7
1.3.1. Production du blé dans le monde.....	7
1.3.2. Production du blé en Afrique.....	9
1.3.3. Production du blé en Algérie.....	10
1.4. Composition de la farine du blé.....	11
1.4.1. Amidon.....	11
1.4.2. Lipides.....	12
1.4.3. Protéines.....	12
1.5. Caractéristiques d'appréciation de la qualité de la farine du blé.....	13
1.5.1. Teneur en protéines totales.....	14
1.5.2. Teneur en gluten.....	15
1.5.3. Indice de sédimentation de Zéleny.....	16
1.5.4. Teneur en matières minérales.....	17
1.5.5. Teneur en eau.....	17
1.5.6. Temps de chute d'Hagberg (Indice de chute).....	18
2. Stress hydrique et production du blé tendre	18
2.1. Notion de Stress.....	18
2.2. Impact du stress hydrique sur la production du blé.....	19
2.3. Sensibilité différentielle du blé au stress hydrique.....	22
2.4. Mécanismes d'adaptation du blé à la sécheresse.....	24
2.5. Réponses morphologiques au stress hydrique chez le blé.....	25
2.5.1. Surface foliaire.....	25
2.5.2. Croissance racinaire.....	26
2.6. Réponses physiologiques au stress hydrique chez le blé.....	27
2.6.1. Activité photosynthétique.....	28
2.6.2. Teneur en chlorophylle.....	29
2.6.3. Teneur relative en eau.....	30

2.6.4. Potentiel de turgescence.....	31
2.6.5. Fermeture des stomates.....	32
2.6.6. Ajustement osmotique.....	32
3. Irrigation d'appoint.....	33
3.1. Concept de l'irrigation d'appoint.....	33
3.2. Rendement en grain du blé sous irrigation d'appoint.....	34

CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

1. Expérimentations au champ.....	38
1.1. Sites d'essais et dispositif expérimental.....	38
1.2. Matériel végétal.....	39
1.3. Itinéraire technique.....	40
1.4. Régimes d'eau.....	40
1.5. Gestion des irrigations.....	41
1.6. Mesures et notations des caractéristiques agronomiques.....	42
1.6.1. Nombre de plantes levées.....	42
1.6.2. Nombre de talles herbacées.....	42
1.6.3. Nombre des épis.....	42
1.6.4. Nombre et poids de grains par épi.....	43
1.6.5. Rendement grains et poids de 1000 grains.....	43
1.6.6. Biomasse aérienne et indice de récolte.....	43
1.6.7. Hauteur de la végétation.....	43
1.7. Mesure des caractéristiques d'appréciation au champ.....	43
1.7.1. Teneur en chlorophylle totale.....	43
1.7.2. Surface foliaire.....	44
1.7.3. Teneur relative en eau.....	44
2. Analyse des caractéristiques de qualité meunière.....	44
2.1.1. Protéines totale et indice de sédimentation de Zéleny.....	44
2.1.2. Teneur en gluten humide.....	45
2.1.3. Temps de chute d'Hagberg.....	45
3. Analyse statistique des données.....	46

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Précipitations et températures.....	48
1.1. Précipitations et températures durant la campagne 2013/2014.....	48
1.2. Précipitations et températures durant la campagne 2014/2015.....	48
2. Suivi de l'état hydrique du sol	50
2.1. Suivi de l'état hydrique du sol durant la campagne 2013/2014.....	50
2.2. Suivi de l'état hydrique du sol durant la campagne 2014/2015.....	52
3. Caractéristiques agronomiques et d'appréciation au champ.....	54
3.1. Nombre de Plants par unité de surface 2013/2014.....	54
3.1.1. Nombre de Plantes par unité de surface 2013/2014.....	54
3.1.2. Nombre de plantes par unité de surface 2014/2015.....	55
3.2. Nombre de talles par unité de surface.....	56

3.2.1.	<i>Nombre de talles par unité de surface 2013/2014.....</i>	<i>56</i>
3.2.2.	<i>Nombre de talles par unité de surface 2014/2015.....</i>	<i>57</i>
3.3.	<i>Nombre d'épi par unité de surface.....</i>	<i>59</i>
3.3.1.	<i>Nombre d'épi par unité de surface 2013/2014.....</i>	<i>59</i>
3.3.2.	<i>Nombre d'épi par unité de surface 2014/2015.....</i>	<i>60</i>
3.4.	<i>Nombre de grains par épi.....</i>	<i>61</i>
3.4.1.	<i>Nombre de grains par épi 2013/2014.....</i>	<i>61</i>
3.4.2.	<i>Nombre de grains par épi 2014/2015.....</i>	<i>62</i>
3.5.	<i>Nombre de grains par unité de surface.....</i>	<i>65</i>
3.5.1.	<i>Nombre de grains par unité de surface 2013/2014.....</i>	<i>65</i>
3.5.2.	<i>Nombre de grains par unité de surface 2014/2015.....</i>	<i>66</i>
3.6.	<i>Poids de grains par épi.....</i>	<i>68</i>
3.6.1.	<i>Poids de grains par épi 2013/2014.....</i>	<i>68</i>
3.6.2.	<i>Poids de grains par épi 2014/2015.....</i>	<i>69</i>
3.7.	<i>Poids de mille grains.....</i>	<i>71</i>
3.7.1.	<i>Poids de mille grains 2013/2014.....</i>	<i>71</i>
3.7.2.	<i>Poids de mille grains 2014/2015.....</i>	<i>72</i>
3.8.	<i>Rendement grains par unité de surface.....</i>	<i>75</i>
3.8.1.	<i>Rendement grains par unité de surface 2013/2014.....</i>	<i>75</i>
3.8.2.	<i>Rendement Grains par unité de surface 2014/2015.....</i>	<i>76</i>
3.9.	<i>Biomasse aérienne par unité de surface.....</i>	<i>81</i>
3.9.1.	<i>Biomasse aérienne par unité de surface 2013/2014.....</i>	<i>81</i>
3.9.2.	<i>Biomasse aérienne par unité de surface 2014/2015.....</i>	<i>82</i>
3.10.	<i>Indice de Récolté.....</i>	<i>84</i>
3.10.1.	<i>Indice de Récolté 2013/2014.....</i>	<i>84</i>
3.10.2.	<i>Indice de récolte 2014/2015.....</i>	<i>86</i>
3.11.	<i>Hauteur de la végétation.....</i>	<i>88</i>
3.11.1.	<i>Hauteur de la végétation 2013/2014.....</i>	<i>88</i>
3.11.2.	<i>Hauteur de la végétation 2014/2015.....</i>	<i>89</i>
3.12.	<i>Surface foliaire de la feuille étendard.....</i>	<i>91</i>
3.12.1.	<i>Surface foliaire de la feuille étendard 2013/2014.....</i>	<i>91</i>
3.12.2.	<i>Surface foliaire de la feuille étendard 2014/2015.....</i>	<i>92</i>
3.13.	<i>Teneur relative en eau.....</i>	<i>95</i>
3.13.1.	<i>Teneur relative en eau 2013/2014.....</i>	<i>95</i>
3.13.2.	<i>Teneur relative en eau 2014/2015.....</i>	<i>97</i>
3.14.	<i>Teneur en chlorophylle de la feuille étendard.....</i>	<i>99</i>
3.14.1.	<i>Teneur en chlorophylle de la feuille étendard 2013/14.....</i>	<i>99</i>
3.14.2.	<i>Teneur en chlorophylle de la feuille étendard 2014/15.....</i>	<i>100</i>
3.15.	<i>Corrélation entre le rendement et les paramètres au champ.....</i>	<i>103</i>
3.15.1.	<i>Corrélation entre le rendement et les paramètres au champ 2013/2014.....</i>	<i>103</i>
3.15.2.	<i>Corrélation entre le rendement et les paramètres au champ 2014/2015.....</i>	<i>105</i>

4. Paramètres de qualité meunière	108
4.1. Teneur en protéines du grain.....	108
4.1.1. Teneur en protéines du grain 2013/2014.....	108
4.1.2. Teneur en protéines du grain 2014/2015.....	109
4.2. Teneur en eau du grain.....	112
4.2.1. Teneur en eau du grain 2013/2014.....	112
4.2.2. Teneur en eau du grain 2014/2015.....	113
4.3. Indice de sédimentation de Zéleny.....	115
4.3.1. Indice de sédimentation de Zéleny 2013/2014.....	115
4.3.2. Indice de sédimentation de Zéleny 2014/2015.....	116
4.3.3. Teneur en cendres du grain.....	119
4.3.4. Teneur en cendres du grain 2013/2014.....	119
4.3.5. Teneur en cendres du grain 2014/2015.....	120
4.4. Teneur en gluten humide du grain.....	122
4.4.1. Teneur en gluten humide du grain 2013/2014.....	122
4.4.2. Teneur en gluten humide du grain 2014/2015.....	123
4.5. Indice de chute d'Hagberg.....	125
4.5.1. Indice de chute d'Hagberg 2013/2014.....	125
4.5.2. Indice de chute d'Hagberg 2014/2015.....	126
4.6. Corrélation entre le rendement en grain et la qualité meunière.....	128
4.6.1. Corrélation entre le rendement en grain et la qualité meunière 2013/2014.....	128
4.6.2. Corrélation entre le rendement en grain et la qualité meunière 2014/2015.....	130
CONCLUSION	131
REFERENCES	134
ANNEXES	153

LISTE DES ABREVIATIONS

ABA : Acide abscissique
ACSAD: Arab Center for the Studies of Arid zones and Dry lands (Centre arabe pour les études des zones sèches et des terres arides)
BM : Biomasse aérienne
CGIAR: Consultative Group for International Agricultural Research
CIMMYT: International Maize and Wheat Improvement Center
CNCCSP : Centre National de Contrôle et de Certification de Semences et de Plants
ERAD : Entreprise Régionale des Industries Alimentaires et Dérivés
EUE : Efficience d'utilisation de l'eau
FAO : Organisation des Nations unies pour l'agriculture et l'alimentation
GH : Teneur en gluten humide
HMW-GS : Sous-groupe de masse moléculaire élevée
HP: Hauteur de la végétation
ICARDA: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas
ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures
ICC : Indice de teneur en chlorophylle (CCI : Chlorophyll Content Index)
IR : Indice de récolte
LSD : Least significant difference (la différence la moins significative)
Mt : Millions de tonnes
NC : Nombre de chute d'*Hagberg*
NE/m² : Nombre d'épi par unité de surface
NG/E : Nombre grains par épi
NG/m² : Nombre de grains par unité de surface
NP/m² : Nombre de plants par unité de surface
NT/m² : Nombre de talles par unité de surface
OAIC : Office Algérien Interprofessionnel des Céréales
ONFAA : Observatoire Nationale des Filières Agricoles et Agroalimentaires
ONM : Office National de Météorologie
ONS : Office National des Statistiques
OUA : Organisation de l'Union Africaine
PG/E : Poids de grains par épi
PMG : Poids de mille grains
PT : Protéines totales
Rdt Gr : Rendement en grains par unité de surface
RGA : Recensement général de l'agriculture
ROS : Espèces réactives d'oxygène
SAU : Superficie agricole utile
SF : Surface foliaire
SI : Supplemental Irrigation (Irrigation d'appoint)
SPIR : Spectroscopie de réflectance proche infrarouge
SRA : Station de la Recherche Agronomique
TCh : Teneur en chlorophylle
TRE : Teneur relative en eau
USD : United States Dollar

LISTE DES FIGURES

Figure1. Distribution des précipitations et des températures en 2013/2014.....	48
Figure 2. Distribution des précipitations et des températures en 2014/2015.....	49
Figure 3. Variation de la teneur en eau pondérale (θ_m) du sol en fonction des apports pluviaux et d'irrigation durant la campagne agricole 2013/2014.....	50
Figure 4. Variation de la teneur en eau volumique du sol (θ_v) en fonction des apports pluviaux et d'irrigation durant la campagne agricole 2013/2014.....	51
Figure 5. Variation de l'humidité pondérale (θ_m) du sol en fonction des apports pluviaux et d'irrigation durant la campagne agricole 2014/2015.....	52
Figure 6. Variation de la teneur en eau volumique du sol (θ_v) en fonction des apports pluviaux et d'irrigation durant la campagne agricole 2014/2015.....	53
Figure 7. Nombre de plantes par unité de surface 2013/2014.....	54
Figure 8. Nombre de plantes par unité de surface 2014/2015.....	55
Figure 9. Nombre de talles par unité de surface 2013/2014.....	57
Figure 10. Nombre de talles par unité de surface 2014/2015.....	58
Figure 11. Nombre d'épi par unité de surface 2013/2014.....	59
Figure 12: Nombre d'épi par unité de surface 2014/2015.....	60
Figure 13. Nombre de grains par épi 2013/2014.....	62
Figure 14. Nombre de grains par épi 2014/2015.....	63
Figure 15. Nombre de grains par unité de surface 2013/2014.....	66
Figure 16. Nombre de grains par unité de surface 2014/2015.....	67
Figure17. Poids de grains /épi 2013/2014.....	69
Figure 18. Poids de grains /épi année 2014/2015.....	70
Figure19 : Poids de mille grains 2013/2014.....	72
Figure 20. Poids de mille grains 2014/2015.....	73
Figure 21. Rendement en grains par unité de surface 2013/2014.....	76
Figure 22. Rendement en grains par unité de surface 2014/2015.....	78
Figure23. Biomasse aérienne par unité de surface 2013/2014.....	82
Figure 24. Biomasse aérienne par unité de surface 2014/2015.....	83

Figure 25 : Indice de récolté 2013/2014.....	85
Figure 26. Indice de récolte 2014/2015.....	86
Figure 27. Hauteur de la végétation 2013/2014.....	88
Figure 28. Hauteur de la végétation 2014/2015.....	90
Figure 29. Surface foliaire de la feuille étandard 2013/2014.....	92
Figure 30. Surface foliaire de la feuille étandard 2014/2015.....	94
Figure 31. Teneur relative en eau 2013/2014.....	96
Figure 32. Teneur relative en eau 2014/2015.....	97
Figure 33. Teneur en chlorophylle de la feuille étandard 2013/2014.....	99
Figure 34. Teneur en chlorophylle de la feuille étandard 2014/2015.....	101
Figure 35. Teneur en protéines du grain 2013/2014.....	109
Figure 36. Teneur en protéines du grain 2014/2015.....	111
Figure 37. Teneur en eau du grain 2013/2014.....	113
Figure 38. Teneur en eau du grain 2014/2015.....	114
Figure 39. Indice de sédimentation <i>de Zeleny</i> 2013/2014.....	116
Figure 40. Indice de sédimentation <i>de Zeleny</i> 2014/2015.....	118
Figure 41. Teneur en cendres du grain 2013/2014.....	119
Figure 42. Teneur en cendres du grain 2014/2015.....	121
Figure 43. Teneur en gluten humide du grain 2013/2014.....	123
Figure 44. Teneur en gluten humide du grain 2014/2015.....	124
Figure 45. Indice de chute <i>d'Hagberg</i> 2013/2014.....	126
Figure 46. Indice de chute <i>d'Hagberg</i> 2014/2015.....	127

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Evolution du marché mondial du blé 2013-2017.....	8
Tableau 2. Evolution de la production du blé en Algérie (2010-2016).....	10
Tableau 3. Evolution des importations du blé en Algérie (2010-2016).....	11
Tableau 4. Pédigrée et source du matériel végétal.....	39
Tableau 5. Planning des irrigations d'appoint selon les stades repères cibles.....	41
Tableau 6. Squelette de l'analyse de la variance des données collectées.....	46
Tableau 7. Analyse de la variance du nombre de plantes par unité de surface 13/14	54
Tableau 8. Analyse de la variance du nombre de plantes par unité de surface 14/15	55
Tableau 9. Analyse de la variance du nombre de talles par unité de surface 13/14.....	56
Tableau 10. Analyse de la variance du nombre de talles par unité de surface 14/15	57
Tableau 11. Analyse de la variance du nombre d'épi par unité de surface 13/14.....	59
Tableau 12. Analyse de la variance du nombre d'épi par unité de surface 13/14.....	60
Tableau 13. Analyse de la variance nombre grains par épi 13/14.....	61
Tableau 14. Analyse de la variance du nombre de grains par épi 14/15.....	63
Tableau 15. Analyse de la variance du nombre de grains par unité de surface 13/14.....	65
Tableau 16. Analyse de la variance du nombre de grains par unité de surface 14/15.....	66
Tableau 17. Analyse de la variance du poids de grains par épi 13/14.....	68
Tableau 18. Analyse de la variance du poids de grains par épi 14/15.....	69
Tableau 19. Analyse de la variance du poids de mille grains 13/14.....	71
Tableau 20. Analyse de la variance du poids de mille grains 14/15.....	73
Tableau 21. Analyse de la variance du rendement grains par unité de surface 13/14.....	75
Tableau 22. Analyse de la variance du rendement grains par unité de surface 14/15.....	77
Tableau 23. Analyse de la variance de la biomasse aérienne 13/14.....	81
Tableau 24. Analyse de la variance de la biomasse aérienne 14/15.....	82
Tableau 25. Analyse de la variance de l'indice de récolte 13/14.....	85
Tableau 26. Analyse de la variance de l'indice de récolte 14/15.....	86
Tableau 27. Analyse de la variance de la hauteur de végétation 13/14.....	88
Tableau 28. Analyse de la variance de la hauteur de végétation 14/15.....	89
Tableau 29. Analyse de la variance de la surface foliaire 13/14.....	91
Tableau 30. Analyse de la variance de la surface foliaire 14/15.....	93
Tableau 31. Analyse de la variance de la teneur relative en eau 13/14.....	96
Tableau 32. Analyse de la variance de la teneur relative en eau 14/15.....	97
Tableau 33. Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle 13/14.....	99
Tableau 34. Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle 14/15.....	101
Tableau 35. Corrélation entre le rendement en grains et les paramètres au champ 13/14.....	103

Tableau 36. Corrélacion entre le rendement en grains et les paramètres au champ 14/15....	106
Tableau 37. Analyse de la variance de la teneur en protéines du grain 13/14.....	108
Tableau 38. Analyse de la variance de la teneur en protéines du grain14/15.....	110
Tableau 39. Analyse de la variance de la teneur en eau du grain 13/14.....	112
Tableau 40. Analyse de la variance de la teneur en eau du grain 14/15.....	114
Tableau 41. Analyse de la variance de l'indice de sédimentation de <i>Zéleny</i> 13/14.....	115
Tableau 42. Analyse de la variance de l'indice de sédimentation de <i>Zéleny</i> 14/15.....	117
Tableau 43. Analyse de la variance de la teneur en cendres du grain13/14.....	119
Tableau 44. Analyse de la variance de la teneur en cendres du grain14/15.....	120
Tableau 45. Analyse de la variance de la teneur en gluten humide du grain13/14.....	122
Tableau 46. Analyse de la variance de la teneur de gluten humide du grain14/15.....	124
Tableau 47. Analyse de la variance de l'indice de chute <i>d'Hagberg</i> 13/14.....	126
Tableau 48. Analyse de la variance de l'indice de chute <i>d'Hagberg</i> 14/15.....	127
Tableau 49. Corrélacion entre le rendement et les paramètres de qualité 2013/2014	129
Tableau 50 : Corrélacion entre le rendement et les paramètres de qualité 2014/2015.....	130

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الري الإضافي المجهز عند مراحل فسيولوجية محددة في تحسين الإنتاج الكمي و النوعي لمحصول القمح اللين (*Triticum aestivum* L.) تحت ظروف الإجهاد المائي في منطقة سطيف شبه الجافة. تم فحص مجموعتين من الأنماط الوراثية تحت كل من الظروف المطرية والمروية خلال الموسمين الزراعيين المتتاليين 2014/2013 و 2015/2014، يمثل المجموعة الأولى صنفان محليان محسنان ومزروعان على نطاق واسع بالمنطقة هما (HD1220) Hidhab و El-wifak و تتألف المجموعة الثانية من صنفين أدرجا حديثا هما Djemila (ACSAD 969) و Djanet (899 ACSAD) التي جهزتهما مؤسسة ACSAD. من خلال هذه الدراسة، تم إثبات أن تطبيق الري الإضافي سوف يساهم بشكل فعال في تحسين إنتاج القمح اللين في منطقة سطيف، حيث ساهم الري الإضافي فعليا في زيادة مردود الحبوب بشكل ملحوظ بنسبة 24% و 25% على التوالي خلال سنتين من التجارب مقارنة مع الظروف المطرية، خاصةً للنمطين الوراثيين المدخلين حديثا؛ Djemila (ACSAD 969) و Djanet (899 ACSAD). تحت ظروف الري المحدود، أدى تطبيق نظام الري بسقيتين (SI2)؛ الأولى عند نقطة الوصل المقابلة لمرحلة العقدة الأولى من الاستطالة (Z31)، والثانية في مرحلة الإزهار عند ظهور الأسدية على 50% من السنابل (Z65- Z69) إلى زيادة مردود الحبوب بشكل كبير بنسبة 14.60% و 11.10% على التوالي خلال موسمي التجارب، دون أن يكون مختلفا بشكل معنوي عن النظام الأكثر رياً SI5. ارتبطت هذه الزيادة بتحسين معظم الصفات الزراعية التي أظهرت ارتباطات معنوية وإيجابية مع مردود الحبوب، بما في ذلك مكوناته الرئيسية لكعدد الحبوب في السنبل، عدد الحبوب لوحدة المساحة ووزن الحبوب في السنبل. من ناحية أخرى، و تحت الظروف المطرية، حيث تم الحصول على مردود حبوب منخفض نسبياً لجميع الأنماط الوراثية التي تم اختبارها، فإن تقييم معظم خصائص معايير الجودة للدقيق الناتج عن هذه الطرز الوراثية، مثل محتوى البروتين، و مؤشر الترسيب لـ Zelény و محتوى الغلوتين الرطب كانت عند أعلى مستوياتها، خاصة لدى النمط الوراثي (HD1220) Hidhab، الذي أعطى أعلى نسبة من محتوى البروتين تراوحت ما بين 13.58% و 13.86% على التوالي لكلتا سنتي التجارب.

الكلمات المفتاحية: الري الإضافي، القمح اللين *Triticum aestivum* L. إدخال أنماط وراثية، تحسين الإنتاج، الصفات النوعية.

Résumé

La présente étude a pour objectifs l'évaluation de l'effet de l'irrigation d'appoint apportée à des stades physiologiques cibles bien précis, sous des conditions de stress hydrique dans la région semi-aride de Sétif, sur l'amélioration de la production du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) tant sur le plan quantitatif que qualitatif. Dans ce contexte deux ensembles de géotypes; le premier représenté par les deux variétés localement améliorées et largement cultivées Hidhab (HD1220) et El-wifak et le second constitué par deux variétés nouvellement introduites ; Djemila (ACSAD 969) et Djanet (ACSAD 899) fournies par l'institution ACSAD, ont été examinés sous des conditions pluviales et en irrigué au cours des deux campagnes agricoles consécutives 2013/2014 et 2014/2015. Sur la base de cette étude, il a été démontré que l'adoption de l'irrigation d'appoint contribuera effectivement à l'amélioration de la production du blé tendre dans la région de Sétif. En effet, l'irrigation d'appoint a contribué à augmenter significativement le rendement en grains de 24% et 25% consécutivement pour les deux années d'expérimentation, par rapport au régime pluvial principalement chez les deux géotypes nouvellement introduits ; Djemila (ACSAD 969) et Djanet (ACSAD 899). Sous conditions d'irrigation limitée, l'application d'un régime d'irrigation apporté en deux arrosages (SI2); le premier au point de jonction correspondant au stade montaison à 1nœud (Z31), et le second au stade floraison lorsque les anthères sont visibles sur 50% des épis (Z65-Z69) a significativement amélioré le rendement en grains de 14.60% et 11.10% consécutivement durant les deux années d'expérimentation, sans qu'il fût significativement différent du régime le plus arrosé SI5. Cette augmentation était liée à l'amélioration de la plupart des caractères agronomiques qui présentaient des corrélations significatives et positives avec le rendement en grains, notamment ses principales composantes à savoir ; le nombre de grains par épi, le nombre de grains par unité de surface et le poids de grains par épi. En revanche et sous conditions pluviales, où de relatives faibles rendements en grains ont été obtenus pour tous les géotypes testés, la plupart des caractéristiques d'appréciation de qualité des farines produites de ces géotypes, tels que la teneur en protéines, l'indice de sédimentation de Zéleny et la teneur en gluten humide ont été à des niveaux plus élevés en particulier chez le géotype Hidhab (HD1220) qui présentait des teneurs élevées en protéines de l'ordre de 13.58% et 13.86% respectivement pour les deux années d'expérimentation.

Mots clés : Irrigation d'appoint, *Triticum aestivum* L., introduction de géotypes, amélioration de production, traits de qualité.

Abstract

The present study has for objectives to evaluate the effect of supplemental irrigation applied at specific target physiological stages, under the semi-arid water stress conditions of Sétif region, on the improvement of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) production both quantitatively as well as qualitatively. In this context two sets of genotypes; the first one represented by two locally improved and widely cultivated varieties Hidhab (HD1220) and El-wifak and the second consisting of two recently introduced varieties; Djemila (ACSAD 969) and Djanet (ACSAD 899) provided by ACSAD institution, was examined under both rain-fed and irrigated conditions during two consecutive wheat cropping seasons 2013/2014 and 2014/2015. On the basis of this study, it was demonstrated that the adoption of supplemental irrigation will effectively contribute to improve the production of bread wheat in the region of Setif. In fact, the supplemental irrigation contributed to significantly increase the grain yield by 24% and 25% consecutively for the two years of experimentation compared to rainfed conditions, principally for the two newly introduced genotypes; Djemila (ACSAD 969) and Djanet (ACSAD 899). Under conditions of limited irrigation, the application of an irrigation regime brought in two watering (SI2); the first at jointing corresponding to the 1st node stage (Z31), and the second at flowering stage when the anthers are visible on 50% of the spikes (Z65-Z69) significantly improved the grain yield by 14.60% and 11.10% consecutively during the two years of experimentation, without it being significantly different from the most watered regime SI5. This increase was related to the improvement of most agronomic traits that had significant and positive correlations with grain yield, including its major components namely; the number of grains per spike, the number of grains per unit area and the weight of grains per spike. On the other hand, and under rain-fed conditions, where relative low grain yields were obtained for all the tested genotypes, most of quality appreciation characteristics of flours produced from these genotypes, such as the protein content, the Zelény sedimentation index and wet gluten content were at higher levels, particularly for Hidhab (HD1220) genotype, which presented the highest protein contents of 13.58% and 13.86% respectively for the two years of experimentation.

Key words: Supplemental irrigation, *Triticum aestivum* L., genotypes introduction, production improvement, quality traits.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est l'une des plus importantes cultures alimentaires cultivée à grande échelle dans le monde (Khamsi et Najaphy, 2012). Comparé à d'autres céréales, il fournit de la nourriture pour les humains avec plus de calories et de protéines dans le régime alimentaire quotidien ainsi qu'une considérable transaction commerciale dans le monde entier. Son aptitude et sa supériorité dans la fabrication du pain a été bien connue et documentée (Tayyar, 2010).

L'amélioration de la production du blé tendre a longtemps été le but primordial des phyto-généticiens à travers le monde plus spécialement dans les zones semi-arides. Dans ces zones, et face à des périodes de pénurie d'eau pendant les phases de croissance, le blé tendre est largement cultivé en tant que culture pluviale ou sous irrigation insuffisante, ainsi les rendements sont limités par la faible disponibilité de l'eau due à des précipitations restreintes, à une forte évapotranspiration, au stress thermique et à la courte durée de la période de remplissage des grains, entraînant des pertes considérables de rendement potentiels en grains, ce qui perturbe l'équilibre de l'offre et de la demande et finit par faire surgir des problèmes de sécurité alimentaire, plus spécialement dans les pays en voie de développement.

Selon Saleem et *al.* (2016b), l'évolution des variétés à haut potentiel à travers les efforts de recherche soutenus a permis d'augmenter la production de quelques pays dans la mesure de l'autosuffisance. Cependant, la nécessité d'accélérer davantage ces efforts pour l'amélioration génétique en fonction de l'augmentation croissante de la population mondiale est plus grande aujourd'hui que jamais auparavant. En effet, Sharma et *al.* (2015), ont rapportés que la demande de blé atteindra 850 millions de tonnes en 2050 par rapport à la production mondiale actuelle estimée à 758 millions de tonnes en 2017. D'après Saleem et *al.* (2016a), le scénario actuel exige des efforts concertés et systématiques non seulement pour soutenir mais aussi aller au-delà de l'autosuffisance pour répondre aux besoins futurs des pays ainsi qu'à la demande de la population mondiale. Le potentiel de rendement, la tolérance à la sécheresse et la stabilité sont des caractères quantitatifs complexes affectés par l'interaction génotype × environnement.

En Algérie, et d'après un rapport établi par l'observatoire national des filières agricoles et agroalimentaires (ONFAA) diffusé, en Juillet 2017, sur le lien :

<https://www.algerie-eco.com/2017/07/19/production-de-cereales-superficie-de-plus-de-35-millions-dha-emblavee/>, la superficie destinée pour les céréales fluctue autour de 3,5 millions d'hectares, dont 60% est cultivée sous un climat semi-aride dans des régions où les agriculteurs utilisent traditionnellement une quantité limitée d'intrants (semences et engrais). La même source (ONFAA, 2017) rapporte que le blé tendre, qui constitue la principale céréale destinée pour la fabrication du pain, un produit de première nécessité dans la diète quotidienne de l'Algérien, fût cultivé sur une superficie de 515 600 ha, soit 6.1% de la superficie agricole utile (SAU) de l'Algérie.

Dans ces régions à vocation principalement céréalière, les précipitations annuelles sont inférieures à 450 mm en moyenne et tombent en grande partie en hiver, ce qui résulte en un faible niveau de rendement réalisable. En effet, le rendement du blé varie de 0,7 à 1,7 tonne/ha et risque de devenir plus ultime à l'avenir en raison des précipitations devenant de plus en plus erratique et imprévisible.

Depuis que les réformes de la révolution agraire, adoptées au début des années 70 du siècle dernier pour promouvoir la production céréalière, n'ont pas pu répondre aux besoins d'une population en constante croissance, l'Algérie n'a cessé de déployer ses efforts pour subvenir à sa déficience en termes de production. De nos jours, l'état Algériens dépense plus de 2 milliard USD annuellement pour des volumes d'importation dépassant les 8 millions tonnes/an de blé destinées à la consommation humaines, dont principalement 5 millions tonnes en blé tendre.

Pour combler l'écart entre les besoins domestiques et la production nationale de céréales, l'Algérie doit quadrupler sa production locale soit en augmentant, virtuellement, la superficie emblavée jusqu'à 12 millions d'hectares, en réduisant la superficie de la jachère, ou en augmentant le rendement moyen de 0,7 à 2,8 t/ha (Merouche et *al.*, 2014), ce qui exige un énorme progrès technique.

Face à cette situation, Bouthiba et *al.* (2008) ont recommandé de combiner les génotypes locaux améliorés avec une gestion appropriée afin d'augmenter et de stabiliser le rendement en grains des cultures à un niveau appréciable, bien que Tayyar (2010), Rad et *al.* (2013) et Sakumona et *al.* (2014), soutiennent fermement l'introduction de nouvelles variétés dont le potentiel de production est fortement appréciable. Dans ce contexte, un nombre relativement restreint de variétés de blé tendre, locaux et récemment introduites, furent expérimentées en Algérie. Selon Annicchiarico et *al.* (2006), les génotypes locaux sont caractérisés par un potentiel de rendement faible mais relativement stable. En revanche, les variétés introduites

peuvent donner un rendement élevé mais seulement dans des conditions favorables d'approvisionnement en eau et en température.

En termes de ressources hydriques, la disponibilité d'un approvisionnement adéquat en eau aux stades appropriés de croissance est un facteur important qui influence la production du blé tendre dans les zones semi-arides, berceau de la céréaliculture en Algérie. Dans cet environnement, une fois l'eau du sol disponible, au semi en début de saison, a été épuisée, les précipitations tombées au printemps détermineront le rendement réalisable en l'absence de l'irrigation (Merouche et *al.*, 2014).

Bien que le stress hydrique peut se produire à tout moment pendant le cycle végétatif, il a été bien établi que la sécheresse est le principal facteur limitant le rendement du blé et que des pertes allant de 10 à 80% du rendement potentiel dépendent de l'apport pluviométrique au cours de l'année (Nachit et *al.*, 1998). Ainsi les effets sur le développement de la culture, la croissance et le rendement en grains dépendent du moment et de l'intensité du stress hydrique (Debaeke et *al.*, 1996 ; Oweis et *al.*, 2000). A ce phénomène, viennent s'ajouter les caractères physiologiques, biochimiques et biotechnologiques qui sont aussi d'une plus grande importance pour une compréhension plus profonde de la réponse complexe de la plante au stress hydrique ainsi qu'à son développement.

Pour surmonter les effets contraignants du stress hydrique et stabiliser la production du blé tendre à un niveau appréciable dans les régions semi-arides, l'irrigation complémentaire fut déjà proposée comme solution ultime au manque d'eau particulièrement au stade terminal du cycle de la culture en plus du choix variétal et du zéro travail du sol (Bouthiba et *al.*, 2008; Karrou, 2013).

Malheureusement, la pénurie des ressources en eau, suite à l'accroissement des deux secteurs industriel et ménager, aggravée par les changements climatiques ces dernières années, impose très fortement que l'utilisation de l'irrigation doit être beaucoup mieux optimisée et bien adaptée à une gestion plus appropriée de la culture.

Cet objectif n'est concevable qu'à travers, l'expérimentation de nouvelles stratégies d'irrigation plus rationnelles et moins gaspilleuses en eau et la sélection de géotypes moins exigeant en eau (économiques en eau), pouvant manifester une utilisation plus efficiente d'une eau limitée, d'un sol peu développé et sont aptes à supporter les effets du stress hydrique notamment en phase terminal de leur cycle.

Malgré que plusieurs études concernant les effets de stress hydrique se sont focalisées sur le rendement et les composants du rendement. (Oweis et *al.*, 2000 ; Ozturk and Aydin, 2004 ; Bouthiba et *al.*, 2008 ; Guendouz et *al.*, 2012 ; Khawani et *al.*, 2012 ; Khamsi et Najaphy, 2012 ; Wang et *al.*, 2013 ; Merouche et *al.*, 2014 ; Meng et *al.*, 2015 ; Saleem et *al.*, 2016a, 2016b) un manque général d'information sur les effets du stress hydrique sur la qualité meunière de la farine extraite du blé en raison des variations des conditions de croissance plus spécialement dans les zone semi-arides persiste. Encore que la plupart des recherches concernant cette thématique très importante pour l'industrie meunière, n'aient été réalisées que sous les climats tempérés des pays développés, des recherches supplémentaires devraient être menées pour étudier les caractéristiques de qualité meunière des génotypes de blé tendre combinés à des rendements élevés sous climat semi-aride méditerranéen telle que la région de Sétif à vocation principalement céréalière.

La présente étude a été réalisée durant les deux campagnes agricoles 2013/2014 et 2014/2015, sous les conditions semi-arides de la région de Sétif, impliquant l'étude de l'effet de l'irrigation d'appoint, autant qu'un apport en eau substitutif à la défaillance du régime pluvial pendant un ou plusieurs stades végétatifs, sur une gamme de génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Cette étude s'était fixé pour objectifs de ;

- Investiguer l'effet de l'irrigation d'appoint, en vertu du régime pluvial, sur l'amélioration de la production des génotypes du blé tendre testés à travers l'analyse de différentes caractéristiques d'évaluation choisies ;
- Evaluer l'intérêt pratique de l'irrigation d'appoint sur la culture de blé tendre en déterminant le stade ou les stades phénologiques où l'irrigation d'appoint a plus d'impact sur le rendement en grains et ses composantes.
- Evaluer la qualité de grains destinés pour l'industrie meunière à travers l'analyse des caractéristiques d'appréciation de la farine produite pour la fabrication du pain.
- Recommander des combinaisons pratiques, entre les génotypes testés et les divers régimes d'irrigation appliqués, permettant aux agriculteurs de la région de réussir un rendement en grains élevé avec une qualité meilleure du produit final.

CHAPITRE -I-
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Caractéristiques générales du blé tendre

1.1. Historique et génétique du blé tendre

Le mot céréale dérive de 'ceres', le nom de la déesse préromaine de la récolte et de l'agriculture. Les céréales peuvent être définies comme des grains ou des graines comestibles de la famille de l'herbe, *Gramineae* (McKevith, 2004).

La saga du blé accompagne celle de l'homme et de l'agriculture ; sa culture précède l'histoire et caractérise l'agriculture néolithique, née il y'a 9000 ans. La grande révolution aura été l'apparition de plantes auxquelles les épis et les grains restaient attachés, ce qui devait permettre de les récolter et de les cultiver ; la chance de l'humanité sera que ces graines sont comestibles, riches en énergie, faciles à conserver et à transporter (Feillet, 2000)

La saveur agréable, la longue durée de conservation et les caractéristiques uniques des produits du blé tendre comme les pâtes, les nouilles et principalement le pain, le rendent très attrayant parmi les autres céréales (Nelson, 1985).

1.1.1. Origine géographique

Le blé était originaire de la vallée de la Somalie, et des plaines Mésopotamiennes du Tigre et de l'Euphrate, dans la région connue sous le nom du Croissant Fertile (Smith et Wayne, 1995). L'ensemencement de graines provenant de graminées sauvages, la culture et la récolte répétées ont conduit à la domestication du blé. La sélection des formes mutantes avec des épis rigides qui restent intactes lors de la récolte, un nombre de grains plus important et une tendance pour les épillets à rester sur la tige jusqu'à la récolte était le déclenchement de l'agriculture moderne (Dubcovsky et *al.*, 1997).

Le blé tendre, (*Triticum aestivum* L.), a surgi, loin du croissant fertile, dans la région s'étendant de l'Arménie à la Transcaucasie dans les zones côtières du sud-ouest de la mer Caspienne en Iran (Duvorak et *al.*, 1998). Il comprend un nombre de sous-espèces ou d'autres taxons qui sont inter-fertiles et diffèrent les uns des autres par un seul ou plusieurs gènes majeurs (McKey, 1966).

1.1.2. Origine génétique

Le blé appartient à la tribu des *Triticeae* de la famille des *Poaceae*. Cette tribu est constituée de cinq genres; *Aegilops*, *Elymus*, *Hordeum*, *Secale* et *Triticum*, dont

les deux derniers forment la sous tribu des *Triticineae* (Waines et Barnhart, 1992). Quatre génomes de base, désignés par A, B, D et G, contribuent à la constitution du génome de toutes les espèces de *Triticum*. En effet, le nombre basique de chromosomes dans *Triticum* et les espèces apparentées est de $x=7$ (Haider, 2012).

Génétiquement, les espèces sauvages sont des diploïdes ($2n=2x=14$), tels que la désignation du génome AA (*Triticum monococcum*), DD (*Triticum tauschii*), ou des tétraploïdes ($2n=4x=28$) portant deux génomes tels que les génomes AABB (*Triticum turgidum*) ou AAGG (*Triticum timopheevi*) (Waines et Barnhart, 1992).

D'après Nevo et al. (2002), l'hybridation parmi les genres de *Triticeae* a donné lieu à des polyploïdes. Un bon exemple est présenté par l'hexaploïdes *Triticum aestivum*, le blé commun ou blé du pain qui est aujourd'hui le plus cultivé dans le monde. Désigné par Kihara en 1924 sous la forme AABBDD ($2n=6x=42$), cette dernière dérive des trois génomes homologues, A, B et D, dont chacun apporte sept paires de chromosomes au génome total de cette espèce (Haider, 2012).

D'après Van Slageren (1994), *Triticum aestivum* est née suite à un ou plusieurs événements d'hybridation indépendants rares entre une espèce tétraploïde sauvage ($2n=4x=28$, AABB) et une espèce diploïde ($2n=2x=14$, DD) du genre *Aegilops L.*, qui est très proche de *Triticum*, pour générer un triploïde initial stérile (ABD). Un doublage chromosomique ultérieur pourrait avoir conduit à la production de l'hexaploïde (Kihara, 1944 ; McFadden and Sears, 1944) qui a été pour des décennies un exemple de l'évolution d'une espèce de culture majeure par polyploïdisation (Peterson, 2006).

1.2. Biologie et cycle végétatif du blé tendre

1.2.1. Morphologie du blé tendre

Le blé tendre est une graminée annuelle qui fait partie de la classe botanique des *Monocotylédones*, et de la famille des *Poaceae*. C'est une espèce autogame dotée d'un appareil végétatif herbacée qui comprend un système racinaire fasciculée assez développé, une tige creuse appelée chaume dont les entre-nœuds ne se sont allongés qu'à la montaison, et porte des feuilles engainantes à nervure parallèles issues chacune d'un nœud (Ahmadi et al., 2002).

L'inflorescence est composé de 15 à 25 épillets constitués chacun de 3 à 4 fleurs hermaphrodites. Cette caractéristique fait que le blé est une plante autogame dont la fécondation a lieu à l'intérieur des glumelles avant que les étamines n'apparaissent à

l'extérieur assurant une conservation parfaite de la pureté variétale d'une génération à l'autre (Soltner, 2012).

Chaque fleur est portée par un court pédicelle et enfermée entre deux bractées appelées glumelles. La fleur hermaphrodite possède trois étamines se terminant chacune d'une anthère en X et le pistil qui comprend un seul ovaire et deux styles se terminant chacun par un stigmate plumeux (Ahmadi et *al.*, 2002).

Un fruit sec à la fois graine et fruit ; un caryopse nu, indéhiscant dont les parois sont soudées à celle de la graine. Le grain est composé en grande partie de l'albumen ou l'amande qui représente 83 à 85% de son poids. L'albumen est composé de 70% d'amidon et de 7% de gluten. Chez le blé tendre, l'albumen est farineux, et sa coupe facile présente un aspect blanc et mat (Soltner, 2012).

1.2.2. Cycle végétatif du blé

Dans le cycle végétatif du blé tendre, une série d'étapes séparées par des stades repères, permettent de diviser sa vie en deux périodes ; la période végétative s'étalant de la germination à l'ébauche de l'épi, durant laquelle la plante ne différencie que des feuilles et des racines, et la période reproductrice allant de l'ébauche de l'épi jusqu'à maturation du grain, durant laquelle l'apparition de l'épi et la formation du grain sont réalisées (Soltner, 2012). Divers échelles de notation des stades repères du blé sont établies, Celle de Zadocks et *al.* (1974) est la plus utilisée (Annexe 1).

1.3. Importance économique de la culture du blé tendre

1.3.1. Production du blé dans le monde

Le blé est la deuxième céréale la plus produite au monde, derrière le maïs et devant le riz. Le blé est une culture vivrière importante cultivée sur une grande superficie du monde entier dépassant les 270 millions d'hectare avec une production totale de 757.9 millions de tonnes en 2017 (FAOSTAT, 2018). Le développement de variétés/germoplasmes tolérants à la sécheresse et à rendement élevé est l'objectif majeur de tout programme de sélection ou même d'amélioration du blé (FAO, 2013). En effet, une petite augmentation de rendement par unité de surface donnerait un saut quantique à la production totale (Saleem et *al.*, 2016a).

Les données recueillies sur le site de l'organisation des Nations unies pour l'agriculture et l'alimentation (FAO) et diffusées sur le lien électronique suivant :

<https://www.planetoscope.com/cereales/191-production-mondiale-de-ble.html>.

révèlent que la production mondiale de blé connaît une amélioration continue depuis l'année 2013, mauvaise année pour les récoltes, où la production mondiale de blé a connu cette année-là une chute estimée à 657 millions de tonnes due à la sécheresse dans plusieurs pays producteurs de cette spéculation, principalement les États-Unis et l'Union Européenne. La baisse de la production a amené une baisse des stocks en 2013 qui aurait pu être préoccupante si elle avait duré plus longtemps. L'année 2016 était bonne pour les céréales, en effet, la production mondiale de blé pour 2016 atteignait les 759.6 millions de tonnes, supérieure de 3.5% à celle de 2015 estimée à 734.1 millions de tonnes (Tableau1). Les stocks mondiaux de blé atteignent un niveau important, estimés à 276.7 millions de tonnes en 2017, ils atteignent leur plus haut niveau depuis la campagne agricole 2001/02 (Tableau1).

Tableau 1. Evolution du marché mondial du blé 2013-2017

campagne agricole	2012/2013	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17
Production (Mt)	657.0	732.0	734.1	759.6	757.9
Disponibilités (Mt)	860.8	928.6	950.6	995.9	1015.5
Consommation (Mt)	682.8	712.5	709.2	734.5	737.7
Commerce (Mt)	143.4	156.8	166.7	176.5	173.6
Stocks de clôture (Mt)	183.0	216.5	236.3	257.6	276.7
Stocks/Utilisation	26.5	30.5	32.2	34.9	37.2

Source : <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/> consulté le 21/03/2018.

En 2017, la production mondiale de blé atteignait 757.9 millions de tonnes, cette récolte est en légère baisse à cause des rendements moins importants que prévu dans l'Union européenne et en Russie. La consommation totale de blé en permanente hausse, de 709.2 millions de tonnes en 2015 à 737.7 millions de tonnes en 2017 a fait que l'utilisation du blé pour l'alimentation animale a augmenté de 6.2%, de même pour les échanges mondiaux de blé qui sont évalués à 173.6 millions de tonnes.

En termes de production, la Chine est le premier producteur mondial, suivi de l'Inde, de la Russie, des États-Unis et de la France. Le plus gros exportateur mondial est désormais la Russie, qui devance largement l'Union Européenne, qui reste presque à égalité avec les États-Unis (FAOSTAT, 2018).

Une étude sur les perspectives de la production mondiale, menée par la FAO en 2016 et affiché sur le site : <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr/> portant

sur l'offre et la demande des céréales, prévoit qu'en 2026, comme au cours de la période de référence, l'Union européenne sera la principale région exportatrice de blé, et assurera près de 19 % des échanges mondiaux de blé. La Fédération de Russie devrait se placer au deuxième rang mondial des exportations de blé, représentant 15% des échanges, suivie par les États-Unis (14%), le Canada (12%) et l'Australie (11%). Toutefois, la part de ces cinq premiers exportateurs devrait enregistrer une baisse modérée, tandis que celles de l'Ukraine, de l'Argentine et du Kazakhstan augmentent peu à peu. Les importations de blé se distribuent plus largement entre un nombre élevé d'importateurs, dont les cinq principaux sont l'Égypte, l'Indonésie, l'Algérie, le Brésil et le Japon qui assumeront, les dix prochaines années, une part cumulée stable de 25 %.

1.3.2. Production du blé en Afrique

L'Afrique est confrontée à des défis très divers pour la production du blé. Tout d'abord, le blé est cultivé sur une superficie de 8.9 millions ha et produit environ 23.1 millions de tonnes à raison d'un rendement moyen de 26q/ha (FAOSTAT, 2016).

Il s'agit d'une culture de base majeure pour plusieurs pays et d'un produit importé dans toute l'Afrique. Dans l'ensemble des pays africains, la consommation de blé n'a cessé d'augmenter ces vingt dernières années suite à une croissance démographique flamboyante, à l'évolution des préférences alimentaires et à l'évolution socio-économique associée à l'urbanisation (CGIAR, 2017). Les pays africains sont les plus grands importateurs mondiaux de blé, avec plus de 43.83 millions de tonnes en 2016, dépensant environ 9.37 milliards USD, ces importations de blé représentent 60% de la consommation africaine (FAOSTAT, 2016).

Les pays de l'Afrique du Nord ont la consommation de blé la plus élevée par habitant et le blé fournit jusqu'à 50% de l'apport journalier en calories et en protéines (Belaid et *al.*, 2005). Face à l'importance grandissante du blé dans la sécurité alimentaire de ce continent, les chefs d'États de l'Union Africaine (OUA) ont adhéré à l'accord conclu entre ses ministres de l'agriculture en janvier 2013, consistant à ajouter le blé à la liste de cultures stratégiques pour l'Afrique (CGIAR, 2017).

Les rendements céréaliers en Afrique sont inférieurs à la moitié de la moyenne mondiale. La transformation agricole en Afrique sera encouragée par l'augmentation de la productivité des petits agriculteurs et le comblement des écarts de rendement en

apportant des intrants adaptés et en améliorant les technologies, telles que des variétés résistantes au stress et aux rendements élevés (Sakumona *et al.*, 2014).

1.3.3. Production du blé en Algérie

Selon le rapport établi par le ministère de l'agriculture avec l'assistance technique de l'Office National des Statistiques (ONS) et de la FAO en 2001, présentant un recensement général de l'agriculture (RGA) en Algérie, disponible sur le lien : www.fao.org/fileadmin/.../ess/.../ALG_ARAFRE_REP_2001.pdf. Les céréales sont les cultures les plus importantes pour l'agriculture Algérienne, puisqu'elles occupent annuellement une superficie de 3.997.429 ha représentant presque 48 % en moyenne de la superficie agricole utile (SAU) estimée à 8.458.680ha. Le même rapport mentionne que seulement 3% de la sole céréalière est irriguée soit l'équivalent de 120.396ha. Proche récemment, un nouveau rapport présenté par l'observatoire national des filières agricoles et agroalimentaires (ONFAA) en Juillet 2017, mentionne que le blé tendre est cultivé sur 515 600 ha, soit 6.1% de la superficie agricole utile (SAU) et produisant un rendement de 14.6q/ha.

Les données recueillies sur le site officiel de l'organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), apparues sur le lien électronique suivant : <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC> montrent qu'en matière de blé, et sur les sept dernières années, la campagne agricole 2013/2014 était la plus faible du point de vue superficie récoltée (1.651.311ha) et production nationale (2.436.197tonnes), en comparaison avec la campagne 2011/2012 qui a affiché des performances encourageantes du point de vue superficie récoltée (1.945.776ha) et production nationale (3.432.231tonne). La campagne agricole 2012/2013 a enregistré le rendement le plus important de l'ordre 19.1q/ha (Tableau.2).

Tableau 2. Evolution de la production du blé en Algérie (2010-2016)

Campagne agricole	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16
Superficie récoltée (ha)	1755728	1672431	1945776	1727242	1651311	1814722	1442846
Production (Tonne)	2605178	2910890	3432231	3299049	2436197	2656731	2440097
Rendement (hg/ha)	14838	17405	17639	19100	14753	14640	16912

Source : <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>, consulté le 21/03/2018.

Après la chute de rendement durant les deux campagnes agricole, 2013/14 et 2014/15, années durant lesquelles nous avons mené notre étude, les rendements

reviennent affleurer la barre des 17q/ha lors de la campagne de 2015/16 (Tableau.2). Face à cette situation, et en matière d'importation, comme c'est illustré dans le tableau3.

Tableau 3. Evolution des importations du blé en Algérie (2010-2016)

Campagne agricole	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16
Importation (tonne)	5057377	7454603	6347237	6304734	7417000	8504848	8225654
Valeur importation (1000USD)	1182266	2848496	212901	2120883	2373542	2400320	1790473

Source : <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/TP>, consulté le 21/03/2018

L'Algérie demeure toujours un présent importateur de blé tendre dans le monde. Durant les campagnes 2009/10 à 2015/16, l'état Algérien par le biais de l'office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC) avait achète auprès de ses fournisseurs étrangers des quantités de plus en plus importantes de blé tendre faisant flamboyer la facture des importations pour dépasser le montant de 2 milliard USD pendant la dernière quinquina. Une situation inquiétante qui demande de consacrer d'énormes efforts humains tant que techniques pour promouvoir la politique de l'autosuffisance en matière de production nationale et alléger la facture des importations.

1.4. Composition de la farine du blé

Selon Malik (2009), la farine du blé se compose principalement d'amidon (70-75%), d'eau (14%) et de protéines (10-12%). Les polysaccharides non amidonnés (2-3%), et les lipides (2%) sont des constituants mineurs de farine importants pour la production et la qualité du pain (Goesaert et *al.*, 2005).

1.4.1. Amidon

L'amidon est le polysaccharide de réserve le plus important de nombreuses céréales (Parker and Ring, 2001). Chez le blé, l'amidon est le composant le plus abondant dans l'endosperme du grain. Il se compose des polymères de glucose, de l'amylose et de l'amylopectine (Lineback et Rasper, 1988).

Les glucides peuvent être divisés en deux types principaux: disponibles et indisponibles. Les hydrates de carbone disponibles sont ceux qui sont digérés et absorbés par les humains, qui comprennent l'amidon (non résistant) et les sucres solubles. En revanche, les glucides non disponibles (fibres alimentaires) ne sont pas

digérés par la sécrétion endogène du tube digestif humain (Southgate, 1991). La fibre diététique est principalement composée d'amidon résistant (AR), de cellulose et d'autres polysaccharides complexes, tels que les arabinoxylans, les β -glucanes, les pectines et les arabinogalactans, ainsi que la lignine (Muralikrishna et Rao, 2007).

1.4.2. Lipides

Dans le grain de blé, les lipides sont présents en petites quantités (2%). Les acides gras essentiels (acides palmitique et linoléique), les vitamines liposolubles et les phytostérols sont des composants importants des lipides du grain de blé (Ruibal-Mendieta et al., 2004). Sur la base de la solubilité dans des conditions d'extraction spécifiques, les lipides sont classés comme des lipides d'amidon, à la fois libres et liés, et des lipides non amidonnés (LNA) qui sont principalement des triglycérides en plus d'autres lipides non polaires (NP) tel que le digalactosyl diglycérides (DGDG). Les lipides NP sont principalement présents dans la fraction LNA libre, tandis que les glycolipides et les phospholipides sont principalement associés aux protéines et présents dans la fraction LNA liée (Eliasson et Larsson, 1993; Hosoney, 1994).

Les lipides de la farine ont un effet positif sur le volume de la pâte et de la baguette pendant le processus de fabrication du pain. Le volume du pain est affecté négativement par les acides gras libres dans les lipides NP alors que les glycolipides dans les lipides polaires ont un impact positif sur le volume du pain (MacRitchie, 1983 ; McCormack et al., 1991). Le volume et la douceur du pain cuit et la structure (morphologie) des biscuits sont également influencés par les lipides (Pomeranz et al., 1991; Papantoniou et al., 2004).

1.4.3. Protéines

Le mot protéine signifie substance primaire, selon Mulder et Berzelius qui ont proposé le nom en 1838 (Tracey, 1967). En 1908, Osborne a classé les protéines de blé en fonction de leur solubilité et de leur fonctionnalité. Les protéines ont été divisées en trois types majeurs: simples, conjugués et dérivés. Il a conclu que les protéines présentes dans les tissus végétaux étaient simples et comprenaient quatre types majeurs: les albumines solubles dans l'eau et les tampons dilués, les globulines solubles dans les solutions salines, les prolamines solubles dans l'éthanol 70 à 90% et les glutélines solubles dans l'acide ou l'alcalin dilué (Malik, 2009).

Les protéines de grain du blé peuvent également être divisées en protéines structurales/métaboliques sans gluten, et de stockage contenant du gluten (Shewry,

2003). Les protéines structurales/métaboliques sont constituées d'albumine, de globuline et de protéines amphiphiles. Ces dernières ont de grands effets sur la dureté du grain et les propriétés rhéologiques de la pâte (Dubreil *et al.*, 1998).

Les protéines de stockage du blé sont communément connues sous le nom de prolamines en raison de leur teneur élevée en acides aminés, en proline et en glutamine (Shewry, 2003). Selon Schofield, (1994) et Branlard *et al.* (2001), Les gliadines et les gluténines sont des protéines de stockage importantes chez le blé. Ce sont les principaux composants du gluten, qui sont principalement responsables de la viscoélasticité de la pâte et des propriétés panifiables.

Shewry and Halford (2002) ont proposé un autre système de classification qui divise les prolamines en trois groupes ; prolamines riches en soufre, prolamines pauvres en soufre et celles à masse moléculaire élevée (HMW-GS). Les HMW-GS constituent moins de 10% de la protéine de farine totale; bien qu'elles puissent posséder les caractéristiques les plus importantes de la qualité du pain en raison de leur importance dans la formation du polymère de la gluténine (Shewry *et al.*, 1992). Selon Blumenthal *et al.* (1995) et Irmak *et al.* (2008) les génotypes dont les protéines ayant des sous-unités HMW-GS, particulièrement celles dotées d'allèles 1Dx5, 1Dy10, ont généralement montré moins de variabilité dans la composition des protéines de stockage durant la formation du grain en réponse à un stress thermique et / ou hydrique sévères.

1.5. Caractéristiques d'appréciation de la qualité de la farine du blé

Jusqu'à aujourd'hui, le blé tendre est considéré comme la culture privilégiée pour le pain et d'autres produits à base de farine en raison de ses performances de cuisson supérieures par rapport aux autres céréales comme l'orge et le seigle (Dewettinck *et al.*, 2008). En effet, la qualité du grain de blé est une combinaison de certaines caractéristiques physiques, chimiques et technologiques. Leur expression dépend de leur nature génétique ainsi que de l'influence de l'environnement (Johansson, 2002 ; Johansson *et al.*, 2004).

Bien que la disponibilité optimale de l'eau du sol améliore le rendement en grains et le poids des grains, elle dévalue, en revanche, la qualité technologiques de la farine en réduisant la teneur en protéines, la teneur en cendres, le volume de sédimentation et la teneur en gluten humide (Ozturk et Aydin, 2004 ; Ereku et *al.*, 2012). En plein accord sur ce point, Rao *et al.* (1993) et Malik (2009) ont rapporté

que le rendement en grains élevé et la bonne qualité du pain de blé sont des critères opposés et sont influencés par les conditions environnementales ainsi que par la variété, le sol, la fertilisation azotée et les interactions entre ces facteurs. De ce fait, le rendement en grains et les paramètres de qualité sont négativement corrélés (Debaeke et *al.*, 1996 ; Feil, 1997).

1.5.1. Teneur en protéines totales

La teneur en protéines du grain de blé est un facteur critique dans la fabrication du pain. En effet, une teneur élevée en protéines est toujours associée à une bonne qualité de pain (Tipple et *al.*, 1994 ; Marinciu et Saulescu, 2008). De nombreuses recherches ont affirmé que la teneur en protéines est génétiquement contrôlée (Stoddard, et Marshall, 1990 ; Johnson, 1985 ; Tayyar et Gül, 2008 ; Tayyar, 2010) et que les variations de l'absorption de l'azote causent des fluctuations remarquables dans la teneur en protéines des grains et dans d'autres effets considérables des propriétés de la pâte (Wrigley, 1994 ; Campbell et *al.*, 1997 ; Ozturk et Aydin, 2004).

Selon Feillet (2000), la teneur en protéines des grains varie entre 8 et 14% de la matière sèche, mais peut varier considérablement selon la variété, les conditions climatiques et la fertilité du sol ainsi que les interactions complexes entre ces facteurs (Tayyar, 2010). En effet, Johansson et Svensson (1999) ont confirmé que la variation saisonnière, les différences dans l'application des engrais et la variation des cultivars furent très importantes pour déterminer la teneur en protéines. Ainsi, les farines à forte teneur en protéines sont beaucoup plus convoitées car elles disposent d'un fort potentiel en volume de pain et une importante capacité d'absorption de l'eau (Feillet, 2000).

Préalablement discutées, les interactions génotype par environnement (G x E) et la corrélation négative entre le rendement en grains et la teneur en protéines des grains de blé ont été déjà acceptées (Tayyar, 2010). De même, la disponibilité limitée de l'eau et la répartition irrégulières des pluies pendant la période de croissance du blé peuvent entraîner une grande variabilité du rendement et de la teneur en protéines affectant la qualité du pain (Bonfil et *al.*, 2004). Ainsi, sous conditions optimales de croissance, l'amidon et les protéines s'accumulent simultanément dans le grain. En revanche, le stress hydrique et les hautes températures pendant la période de remplissage du grain empêchent l'accumulation d'amidon causant une forte

concentration (teneur) en protéines dans le grain (Sowers et *al.*, 1994 ; Altenbach et *al.*, 2003).

En effet, lorsque les épis de blé ne reçoivent pas de niveaux optimaux d'engrais azotés, la teneur en protéines peut être augmentée par la chaleur en raison des effets différentiels de la température sur les dépôts de protéines et d'amidon, ce qui peut ou non entraîner des différences dans la composition et la qualité des protéines de la farine produite (Finney et Fryer, 1958; Daniel et Triboi, 2000).

D'après Bahrman et *al.* (2004), pendant les stades pré-anthèse, le rendement et la teneur en protéines des grains, sont influencés par le génotype, l'environnement, la fertilisation azotée et d'autres aspects de croissance tels que la densité des épis, la croissance des racines, le nombre de talles et le nombre de fleurs par épi. L'ajout d'engrais azoté, en phase post-anthèse, peut augmenter directement la teneur en protéines des grains sans réduire le rendement, alors que la chaleur ou la sécheresse en post-anthèse peuvent augmenter la teneur en protéines du grain, mais réduisent le rendement en raison des effets de réchauffement sur la production d'amidon (Fowler, 2003).

1.5.2. Teneur en gluten

Le gluten est une fraction protéique élastique-plastique (caoutchouteuse) de la farine responsable des propriétés physiques de la pâte (Perten et *al.*, 1992). Le gluten comprend 80 à 85% de protéines et 5% de lipides; le reste est constitué de l'amidon et des glucides non amidonnés (Wieser, 2007). Les protéines de gluten sont présentes dans l'endosperme du grain de blé mature, où elles forment une matrice continue autour des granules d'amidon. Le gluten contient des centaines de protéines présentes sous forme de monomères (gliadines) ou, liés par des liaisons disulfure inter et intra-chaîne (forme oxydée par la cystéine), comme oligo-polymères de glétinunes (Wrigley et Bietz, 1988).

D'après Curic et *al.* (2001), la quantité et la qualité du gluten sont considérées comme les paramètres les plus importants de la qualité de la farine de blé, cet avis est bien soutenu par Shewry et Halford, (2002). Il a été généralement accepté que toute augmentation de la teneur en protéine de la farine entraînerait une augmentation de la teneur en gluten (Perten et *al.*, 1992).

Il est important aussi de noter que la teneur en protéines ou en gluten ne soient pas une mesure de la qualité du gluten. En effet, la qualité du gluten est caractérisé par

le degré d'extensibilité et d'élasticité de la pâte (Curic *et al.*, 2001). Les technologues considèrent le gluten comme la partie fonctionnelle de la pâte qui influence de nombreuses qualités du produit. Les propriétés physiques de la pâte préparée à partir de la farine de blé, attribuées principalement au gluten, peuvent être décrites par des mesures farinographiques et extensographiques utilisant le Brabender farinographe et extensographe (OMAS, 1988).

En général, la teneur élevée en gluten ressemble beaucoup à l'absorption d'eau de la farine. Il existe également des corrélations positives entre la teneur en protéines et la teneur en gluten. Si la teneur en gluten de la farine est de 20% et moins, celle-ci est acceptée comme une valeur faible, si elle dépasse la valeur de 27%, alors elle est élevée (Elgün *et al.*, 2002).

1.5.3. Indice de sédimentation de Zeleny

D'après Feillet (2000), le test de sédimentation mesure l'aptitude des protéines à gonfler en milieu lactique. Sa valeur serait reliée à la force boulangère des farines ; un indice élevé témoigne d'une bonne qualité. Sa valeur est influencée par la teneur en protéines et par la granulométrie des farines. L'indice de sédimentation reflète la quantité de protéines et le taux de développement de la pâte (Fowler et De La Roch, 1975 ; Borghi *et al.*, 1995).

Selon Feillet (2000), l'indice de sédimentation est égal à la hauteur du sédiment mesuré, en millimètre, après que la farine a été mise en suspension dans une solution d'acide lactique, agité et laissée au repos. Ce test est l'objet de la norme française NF v 03-704- (ISO 5529).

D'après Elgün *et al.* (2002), les lectures de sédimentation de la farine supérieures à 36.0ml sont considérées comme de très bonnes valeurs. En plus, il existe une corrélation positive entre la valeur de sédimentation et la cuisson (Feillet, 2000 ; Tayyar, 2010). En outre, les valeurs de sédimentation des variétés, en termes de caractérisation de la capacité de gonflement du gluten, comprises dans l'intervalle de 37.0- 65.0 ml sont incluses dans une très bonne catégorie. En général, si la teneur en gluten de la farine est très élevée, la valeur de sédimentation de cette farine doit être plus élevée aussi (Malik, 2009).

1.5.4. Teneur en matières minérales

D'après Feillet (2000), la connaissance de la teneur en matières minérales (ou teneur en cendres) permet aux meuniers de régler leurs moulins et de déterminer le taux d'extraction des farines ; elle est utilisée pour déterminer le degré de pureté réglementaire des farines. Lors d'un travail de pionnier, Fine (1972) a conclu que la teneur en cendres des grains a été influencée par la variété et les éléments nutritifs disponibles dans le sol mais non affecté par les conditions climatiques.

Les blés tendres contiennent environ 1.20-2.30% de cendres sur la base d'un grain entier, bien que les farines à teneur élevée en cendres sont indésirables (Fine 1972, Pittman et Tipples 1978). La mesure du taux de cendres est souvent utilisée pour désigner le type de farine et son utilisation ; les farines du premier passage proviennent du cœur de l'albumen, celles isolées en fin de mouture contiennent des proportions importantes de couche à aleurone et de péricarpe ; elles sont de ce fait beaucoup plus riches en matières minérales que les premières (Feillet, 2000).

1.5.5. Teneur en eau

D'après Feillet (2000), la teneur en eau du blé ou d'une farine est la quantité d'eau éliminée après maintien du produit dans une atmosphère où la pression de vapeur d'eau est égale à zéro pendant un temps suffisant pour atteindre un équilibre en poids.

Selon Tayyar (2010), l'humidité du grain de blé revêt une importance vitale pour le stockage, l'industrie de meunerie et le marché du blé (importation et exportation). En effet, l'humidité élevée du grain entraîne une activité microbienne plus élevée et une plus faible matière sèche qui n'est pas souhaitable dans le marché du blé.

Randall et Moss (1990) ont trouvé que la résistance maximale de la pâte, la qualité et le volume du pain ont considérablement diminué sous stress hydrique en post-anthèse. Ils ont conclu que la sécheresse a accéléré la sénescence et a augmenté le taux de perte d'eau des grains.

Altenbach et *al.* (2003) a rapporté que l'irrigation influe l'accumulation des protéines pendant le remplissage des grains, puisqu'elle peut diminuer la teneur en protéines de la farine par dilution d'azote avec les hydrates de carbone (Ozturk et Aydin, 2004). De ce fait, la teneur en humidité du grain de blé se rapporte

négativement à la polymérisation des protéines de stockage du grain (Johansson et *al.*, 2008).

1.5.6. Temps de chute d'Hagberg (Indice de chute)

L'indice de chute de Hagberg, décèle l'état enzymatique des grains, principalement la présence d' α -amylase traduisant les mauvaises conditions de récolte et de conservation, et le degré de germination sur pied, en phase pré-récolte, suite à une période pluvieuse précédant la récolte (Soltner, 2012). Il estime même le volume de cuisson attendu (Erekul, 2012).

Selon Feillet (2000), la méthode dite du temps de chute d'Hagberg ou 'indice de chute d'Hagberg' permet de déterminer indirectement la teneur en α -amylase d'une farine. La consistance est appréciée en mesurant le temps mis par un plongeur de géométrie parfaitement définie pour s'enfoncer d'une distance fixée à l'avance au sein de la suspension de farine.

Dans le même contexte, Feillet (2000) admet que la teneur en α -amylase est inversement proportionnelle au temps de chute du plongeur. En fait, l'indice de chute d'Hagberg ne dépend pas uniquement de la teneur en α -amylase de la farine. Il dépend également du degré d'endommagement des granules d'amidon ; plus celui-ci est important, plus l'amidon est rapidement hydrolysé et moins le temps de chute est élevé. Pour le blé tendre, Gooding et Davies (1997), ont apporté que l'intervalle optimal de cet indice se situe entre 220-250 secondes.

2. Stress hydrique et production du blé tendre

2.1. Notion de Stress

Un stress biologique n'est pas facile à définir, mais il implique des effets hostiles s'exerçant sur un organisme, en effet, Jones et Jones (1989) ont défini le stress biologique comme étant une force ou une influence qui tend à empêcher un système normal de fonctionner, il désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé.

Passioura (2007) considère que le stress a une signification relative avec un contrôle comme état de référence, il explique le stress comme une déviation du contrôle à une contrainte. En effet, les stress environnementaux naissent de la fluctuation des facteurs abiotiques (sécheresse, salinité, basse température, manque ou

excès de nutriments) qui affectent les conditions de croissance, le développement et le rendement des plantes. (Madhava Rao et *al.*, 2006).

Le stress hydrique est l'un des plus importants stress environnementaux qui affecte la productivité agricole autour du monde. C'est un phénomène dramatique dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations changent d'une année à une autre et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (Madhava Rao et *al.*, 2006). En effet, le stress hydrique apparaît lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible durant une certaine période. Cela s'applique également lorsqu'une qualité médiocre de l'eau (saline, saumâtre) en limite l'usage. Dans une telle situation, l'eau est bien plus qu'une ressource naturelle : elle devient un enjeu (Passioura, 2007).

Le stress hydrique a, en premier lieu, un impact sur la végétation. Face à une telle situation, la plante met en place des mécanismes d'adaptation pour rééquilibrer son statut hydrique. En fonction de l'intensité et de la durée du déficit hydrique, la croissance de la plante pourra en être affectée. Ces symptômes peuvent ainsi avoir des conséquences inconvenantes sur la croissance et le développement des céréales (Nezhadahmadi et *al.*, 2013). Le stress hydrique entraîne également une dégradation des ressources en eau douce. En termes de quantité (surexploitation des eaux souterraines, assèchement des ruisseaux et des rivières) et de qualité (pollution par les matières organiques, risques d'intrusions salines) (Madhava Rao et *al.*, 2006).

Il existe de nombreuses définitions du stress hydrique. En agriculture, il est défini comme un déficit marqué de précipitations qui réduisent significativement les productions agricoles sur une région de grande étendue (Oweis, 1994).

Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve en eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible à son système racinaire. (Passioura, 2007). La demande en eau de la plante est quant à elle déterminée par le niveau de transpiration ou évapotranspiration, ce qui inclut les pertes d'eau tant au niveau des feuilles qu'au niveau du sol (Laberche, 2004).

2.2. Impact du stress hydrique sur la production du blé

L'impact du stress hydrique sur la production du blé à travers les régions semi-arides du monde peut être discuté à plusieurs échelles.

Dans la plupart des pays en développement, le blé est cultivé sous des conditions pluviales ou d'irrigation restreintes où la culture affronte périodiquement des épisodes de pénurie d'eau pendant un ou plusieurs stades de sa croissance entraînant une diminution importante de son rendement en grains (Pokharel et Pandey, 2012). Sous de telles conditions, la perte de rendement perturbe l'équilibre de l'offre et de la demande, entraînant des problèmes de sécurité alimentaire (Hellin et *al.*, 2012).

D'autres contraintes tels que la diminution de l'absorption des nutriments, la floraison entravée, la réduction du nombre et de la taille des épis, le raccourcissement de la période de remplissage du grain et la réduction du nombre et du poids des grains sont également des caractéristiques associés au stress hydrique (Taiz et Zeiger, 2006 ; Hussain et *al.*, 2008 ; Saleem et *al.*, 2016a). Le scénario actuel exige des efforts systématiques pour améliorer la disponibilité alimentaire pour une population toujours croissante.

Le potentiel de rendement, la stabilité du rendement et la tolérance à la sécheresse sont des caractères quantitatifs complexes affectés par l'interaction génotype \times environnement. Un matériel végétal moins sensible aux changements climatiques, flexible et bien adapté à un environnement varié et qui pourraient mieux fonctionner sous disponibilité en eau limitée, peut aider à résoudre le problème du stress hydrique (Taiz et Zeiger, 2006; Hellin et *al.*, 2012).

Jalaluddin et *al.* (2009) rapportaient que la meilleure option pour améliorer le rendement des cultures sous stress hydrique est de développer des variétés de blé tolérantes à la sécheresse. Un élément important, à prendre en considération, est l'évaluation de la variabilité génétique des cultivars pour identifier un cultivar tolérant qui peut maintenir un rendement raisonnable sous stress hydrique.

En revanche, Basu et *al.* (2016) ont rapporté que l'adoption de génotypes tolérants la sécheresse pouvait engendrer une réduction du rendement dans des conditions non stressantes. En effet, le rendement potentiel des plantes cultivées devrait être examiné simultanément sous les conditions environnementales favorables et de stress, puisqu'il en existe, selon Guan et *al.* (2010), une corrélation positive entre le rendement potentiel sous les conditions normales que celles sous stress hydrique.

Devant un tel enjeu, combiner un rendement potentiel élevé sous conditions normales avec un bon rendement sous conditions de sécheresse serait l'approche idéale. De même, l'identification des mécanismes, des traits et des gènes régulant le

rendement sous conditions de sécheresse, et qui sont exempts de carence en rendement dans des conditions normales, devrait faire l'objet d'étude pour les sélectionneurs (Basu et *al.*, 2016).

Dans les régions semi arides des pays du Maghreb, les ressources en eau sont généralement limitées et la part de ces ressources pour l'agriculture diminue en raison de la croissance extravagante des secteurs de ménages et industriel (Oweis et *al.*, 2000). Un climat méditerranéen typique caractérise cette région, avec une hauteur de pluie tombée, principalement pendant l'hiver et faiblement pendant la période retardée du printemps. Cette saison de pluies est suivie d'un été chaud et sec. Ainsi, la quantité d'eau de pluie qui peut être cumulée est largement faible par rapport à la superficie cultivée (Belaid et *al.*, 2005)

Dans cette région, La production de cultures pluviales sous ce climat dépend fortement à la fois de la quantité et de la répartition des pluies qui sont généralement faibles et mal distribuées, de sorte que des périodes de déficit hydrique se produisent, presque chaque année, pendant la phase de remplissage du grain (Oweis et *al.*, 1992). En conséquence, le rendement des cultures et l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EUE) sont généralement faibles et variables. En effet, la production de 1kg de blé tendre (*T. aestivum* L.) sous conditions entièrement irriguées nécessite environ 1 à 2 m³ d'eau d'irrigation contre 1 à 3 m³ d'eau sous régime pluvial (Cooper et *al.*, 1987a, Perrier et Salkini, 1991).

En Algérie et selon Merouche et *al.* (2014), les céréales sont rarement cultivées sous irrigation complète, la pratique courante consiste à apporter de petites quantités à des stades critiques pour prévenir l'échec de la culture (mauvaises récoltes). Cependant, l'irrigation du blé pourrait avoir des limites dans les conditions semi-arides de l'Algérie fortement caractérisé par une insuffisante pluviométrie irrégulièrement répartie. De plus, ces régions sont souvent soumises à des risques climatiques tels que les faibles taux d'humidité de l'air (air sec), les vents chauds et les températures élevées qui génèrent l'avortement en masses des épillets et les taux élevés de dessèchement (échaudage), engendrant des pertes dépassant les 50% de la récolte (Belaid et *al.*, 2005 ; Bouthiba et *al.*, 2008 ; Merouche et *al.*, 2014). Dans ces situations, l'impact de l'irrigation pourrait être négligeable parmi les variétés moins tolérantes à la sécheresse.

2.3. Sensibilité différentielle du blé au stress hydrique

D'après Merouche et *al.* (2014), les séquences de sécheresse très contrastées sous régime pluvial ont rendu l'évaluation des effets du déficit hydrique sur la culture du blé bien possible. Ainsi, la tolérance du blé au stress dépend plus particulièrement du stade de développement de la plante (Nezhadahmadi et *al.*, 2013).

Chez le blé, la germination, le tallage et les stades de reproduction sont considérés comme les plus sensibles à la sécheresse (Passioura, 2007). Selon Afrooz et *al.* (2014), il existe d'énormes différences entre les différents génotypes de blé, qui sont généralement la base de performance du rendement. En effet, le rendement en grains peut être évalué en termes de trois composantes ; le nombre d'épis par unité de surface, nombre de grains par épi et le poids des grains (Soltner, 2012).

Le stress causé par la sécheresse peut provoquer la réduction des traits liés au rendement, notamment, le nombre d'épis par unité de surface (Assem et *al.*, 2006) et le nombre de grains par épi (Abayomi et Wright 1999), tandis que le poids de grains est fortement affecté par le stress hydrique pendant la période de remplissage du grain (Chmielewski et Kohn 2000 ; Afrooz et *al.* 2014). Golparvar et *al.* (2002), De Vita et *al.* (2007) et Khan et *al.* (2013) ont enregistré des résultats quasi-semblables pour ces traits dans diverses études sur l'amélioration génétique du rendement en grains des blés.

Innes et Blackwell (1981) ont reportés que des pertes importantes dans le rendement en grains sont causées par le manque d'eau selon le stade de développement auquel le stress hydrique s'était produit. En effet, les séquences de stress hydrique survenant à plusieurs stades avant l'anthèse peuvent réduire le nombre d'épi et le nombre de grains par épi. Tandis qu'un stress hydrique survenait tardivement pendant le cycle de développement du blé entraînerait, en outre, une réduction du nombre de grains par épi et du poids de grains (Innes et Blackwell 1981 ; Kobata et *al.*, 1992 ; Sieling et *al.*, 1994)

Selon El Hafid et *al.* (1998b), le stress hydrique au stade tallage stoppe l'émission de talles et réduit la croissance des talles déjà formées. Au même stade, un stress hydrique sévère diminue la longueur et le volume des racines séminales, principalement dans les couches plus profondes du sol, réduisant ainsi l'eau disponible pour le blé pendant la deuxième partie de son cycle de croissance (Soltner, 2012). Cela entraînera des chutes du rendement potentiel difficiles à compenser même sous

irrigation. En effet, l'aggravation de la sécheresse pendant le tallage entraîne une réduction conséquente de la fertilité de l'épi et/ou du poids individuel des grains, selon la précocité et l'intensité du stress hydrique. La régression des talles pendant le tallage peut également affecter grandement le nombre d'épi/m² (Debaeke et *al.*, 1996 ; Assem et *al.*, 2006).

Zhang et Oweis (1999) ont montré que les périodes de sensibilité maximale du blé dur à la sécheresse se situe entre le début montaison et le gonflement qui correspond à la formation des organes reproducteurs, puis de l'anthèse au remplissage-grain pâteux, d'où l'importance d'assurer une bonne alimentation en eau pendant ces deux périodes.

Liao et *al.* (2008) ont confirmé qu'il était important de maintenir une teneur en eau élevée dans le sol pendant les deux stades de croissance montaison et remplissage-grain laiteux pour les rendements de blé les plus élevés. En effet, c'est au stade remplissage-grain laiteux, particulièrement considéré comme la période critique des besoins en eau du blé, que la croissance de la plante fût exubérante et que les besoins en eau aient atteint leur maximum.

Dans une étude menée sur l'expression génique des réponses au stress hydrique Shi et *al.*, (2010) ont confirmé que la réponse au stade début montaison, au premier nœud détectable (Z31 de l'échelle Zadocks) fût la plus active. En effet, ce stade repère représente le point de jonction entre les stades de croissance végétative et la floraison et qu'il est d'importance cruciale pour le développement et la reproduction du blé.

Wang et *al.* (2013) ont montré que les effets de la sécheresse, dès l'initiation de la montaison au remplissage du grain touchaient principalement les composantes du rendement. En effet, le stress hydrique en début montaison diminuait le nombre d'épis, alors qu'un stress hydrique à l'anthèse diminuait le nombre de grains par épi et le poids de 1000 grains.

Lorsque le stress avait apparu au début du remplissage (grain laiteux), le poids de 1000grains avait considérablement diminué. En effet, à ce stade le stress hydrique accélère la sénescence des feuilles chez le blé en stimulant la génération des espèces réactives d'oxygène (ROS) tels que les hydroxyles (OH[•]), superoxyde (O₂⁻), peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) et l'oxygène singulet (¹O₂) (Yang et *al.*, 2003a, b, Singh et *al.*, 2012). Ce phénomène cause une dégradation des protéines cellulaires et une diminution de la photosynthèse, ce qui peut accélérer la remobilisation des réserves

de carbone et, par conséquent, raccourcir la durée du remplissage des grains (Yang et *al.*, 2004 ; Saeedipour et Moradi, 2011). Ce qui affecterait directement le rendement en grains.

De son côté, Merouche et *al.* (2014) ont rapporté que la sécheresse, survenant au cours des deux semaines précédant l'épiaison, pourrait réduire le nombre de grains par épillet, alors que le manque d'eau en fin de saison réduisait le poids individuel des grains (Kobata et *al.*, 1992).

2.4. Mécanismes d'adaptation du blé à la sécheresse

La sécheresse est le facteur environnemental le plus répandu et le plus limitant de la productivité des cultures à travers le monde (Bray, 1997). Les réponses des plantes à la sécheresse sont complexes et différents mécanismes sont adoptés par les plantes lorsqu'elles sont confrontées à la sécheresse (Izanloo et *al.*, 2008). La résistance à la sécheresse est un terme aussi large appliqué aux espèces végétales dotées de caractéristiques adaptatives leur permettant d'échapper, d'éviter ou de tolérer le stress hydrique (Levitt, 1980 ; Tardieu, 2005).

L'échappement à la sécheresse est la capacité d'une espèce végétale à compléter son cycle de vie avant le début de la sécheresse. Ainsi, les plantes ne connaissent pas de stress, car elles sont en mesure de moduler leur croissance végétative et reproductive en fonction de la disponibilité en eau (Tardieu, 2005).

L'évitement de la sécheresse est la capacité d'une espèce végétale à maintenir une teneur en eau tissulaire relativement plus élevée malgré une teneur en eau réduite dans le sol (Levitt, 1980). Ceci est réalisé grâce à une variété de traits adaptatifs impliquant la minimisation de la perte d'eau en réduisant le taux de transpiration, la conductance stomatique et la surface foliaire (espèces économes en eau), et l'optimisation de l'absorption d'eau par le maintien d'une bonne absorption d'eau grâce à la croissance racinaire (espèces dépendantes en eau) (Tardieu, 2005).

La tolérance à la sécheresse est la capacité des espèces végétales à supporter une teneur en eau tissulaire faible pendant le stress hydrique grâce à des caractères adaptatifs. Ces traits adaptatifs impliquent le maintien de la turgescence tissulaire par ajustement osmotique, l'élasticité cellulaire et l'augmentation de la résistance protoplasmique (Basu et *al.*, 2016).

Dans la nature, un autre mécanisme qui n'est généralement pas pertinent pour l'agriculture est la résistance à la sécheresse extrême (stress sévère). Ce mécanisme

s'aperçoit chez les plantes reviviscentes qui possèdent de forts mécanismes d'évitement de la sécheresse. Les plantes reviviscentes peuvent être exposées à une sécheresse sévère pour des mois, se prolongeant jusqu'à des années, les obligeant à optimiser leur croissance pour la survie, mais pas pour la production de grains, à long terme (Gaff, 1987 ; Porembski, 2000). Malheureusement, ces mécanismes de résistance à la sécheresse qui permettent aux plantes de survivre plus longtemps conduisent à un rendement de subsistance, beaucoup plus faible que celui des conditions normales (Basu et *al.*, 2016).

2.5. Réponses morphologiques au stress hydrique chez le blé

D'après Dencic et *al.* (2000), le blé dispose d'une attention particulière en phase de stress hydrique en raison de ses traits morphologiques, comprenant principalement la feuille (forme, expansion, surface, taille, sénescence, pubescence, ciriosité et tolérance de la cuticule) et la racine (poids sec, densité et longueur). Shi et *al.* (2010) ont rapporté que la sécheresse peut affecter les stades végétatifs et reproductifs. Par conséquent, comprendre les réponses des plantes à la sécheresse à chaque stade du cycle de développement est crucial pour progresser dans le génie génétique et la sélection.

2.5.1. Surface foliaire

D'après Rouphael et *al.* (2010), la surface foliaire est une importante caractéristique pour les études de croissance, d'interception de l'énergie lumineuse, d'efficacité photosynthétique, de transpiration, d'évaporation et de réponse à la fertilisation et à la disponibilité de l'eau. En effet, la surface foliaire est largement utilisée dans les modèles de prévision de la croissance et du développement de la plante.

Boyeldieu (1980) a soulevé l'importance de la surface foliaire dans le rendement en grains en rapportant que les meilleurs rendements chez le blé étaient obtenus avec des indices foliaires de 8 à 10, à condition que le couvert végétal ne verse pas. Il a même mentionné le rôle des deux premières feuilles en l'approvisionnement des grains en assimilats pendant les stades post-anthèse.

Nachit et *al.* (1992) ont conclu, lors d'une analyse de l'interaction génotype × environnement sur blé dur, que la réponse de la plante la plus percevable, vis-à-vis le stress hydrique, fût la réduction de la surface foliaire, à travers, une diminution de la

taille et du nombre des feuilles en plus de l'enroulement foliaire De même, Passioura (1996) a rapporté que l'allongement (extension) de la feuille peut également être limité sous stress hydrique afin d'obtenir un équilibre entre l'eau absorbée par les racines et le statut hydrique des tissus de la plante. Ce raisonnement a été bien soutenu par Lonbani et Arzani (2011) qui ont affirmé que la longueur et la surface de la feuille drapeau du blé ont diminué alors que sa largeur n'a significativement pas changé sous stress hydrique.

Dans une étude comparative sur la tolérance de l'orge à la sécheresse en milieux contrôlés, Rizza *et al.* (2004) ont constaté que la maturité précoce des grains, la taille faible de la plante et la surface foliaire réduite peuvent être liées à la tolérance à la sécheresse. En effet, le stress hydrique, accélère la sénescence des feuilles et peut augmenter la remobilisation des réserves de carbone des tissus foliaires aux grains, ce qui entraîne un accroissement du taux de remplissage des grains (Yang *et al.*, 2004). Cela pourrait expliquer pourquoi le taux de remplissage des grain des culture conduites sous régime pluvial était supérieur à celui des cultures irriguées (Wang *et al.*, 2013).

Selon Rucker *et al.* (1995), la sécheresse peut réduire la surface des feuilles et, par conséquent, diminuer la photosynthèse. Ce phénomène affecte, non seulement le nombre des feuilles par plante et leur taille, mais aussi leur longévité (Shao *et al.*, 2008). A ce point, Hopkins (2008) fait introduire le concept de l'ajustement de la surface foliaire durant les périodes de stress hydrique prolongées où les plantes adultes y répondent par une sénescence précoce et une abscission des feuilles les plus âgées, tant que les bourgeons demeurent viables et pourront produire de nouvelles feuilles dès la fin du stress.

2.5.2. Croissance racinaire

La racine est un organe important capable de se déplacer pour extraire l'eau. C'est le premier organe à être induit par le stress hydrique (Shimazaki *et al.*, 2005). Sous condition de stress hydrique, les racines continuent de croître pour atteindre l'eau, par contre, les organes aériens ralentissent leur développement. Cette différente réponse de croissance des pousses et des racines vis-à-vis la sécheresse est une adaptation aux conditions arides (Sharp et Davis, 1989 ; Spollen *et al.*, 1993).

Sous des conditions de sécheresse, le rapport racine/pousse augmente pour faciliter l'absorption de l'eau (Morgan, 1984 ; Nicholas, 1998 ; Hopkins, 2008) cela

est lié à la teneur en acide abscissique (ABA) des racines et des pousses (Rane et Maheshwari, 2001). En effet, les racines sont moins sensibles au stress hydrique que les parties aériennes. Il semble que l'ajustement osmotique soit suffisant pour maintenir l'absorption de l'eau et la croissance des racines à des valeurs de potentiel hydrique inférieures à celle que les feuilles peuvent en supporter (Hopkins, 2008).

Noctor *et al.*, (1998) ont trouvé que le taux de croissance des racines de blé a été diminuée sous conditions de sécheresse modérées et sévères, Alors qu'il ne l'était pas nettement en période de sécheresse courte et légère (Rao *et al.*, 1993). De même, Liu *et al.* (2004) ont constaté que le taux de respiration des racines et la disponibilité de l'eau de rétention pour le blé sensible à la sécheresse avaient significativement augmenté sous un déficit en eau sévère et non pas sous un déficit modéré.

Au Nord de la Syrie, Izzi *et al.* (2008) ont expérimenté la croissance du système racinaire chez le blé tendre, ils ont indiqué que la croissance principale des racines s'est produite précocement pendant la saison pluvieuse fraîche et tardivement en fin saison d'irrigation coïncidant avec le remplissage des grains.

Au nord de la chine, Li *et al.* (2010) ont démontré que l'irrigation de blé tendre au stade début montaison a entraîné nette augmentation de la distribution verticale de la densité racinaire au-delà de 30cm de la profondeur du sol. Ils ont aussi constaté que pour la même dose d'irrigation de 120mm, la disponibilité de l'eau apportée en une seule irrigation était plus favorable à la pénétration des racines en comparaison avec des fréquences de 2 et 3 irrigations.

2.6. Réponses physiologiques au stress hydrique chez le blé

les caractères physiologiques sont importants pour la compréhension globale de la réponse complexe des plantes au stress hydrique et, par conséquent, leur utilisation pour l'amélioration variétale (Arjenaki *et al.*, 2012 ; Rad *et al.*, 2013 ; Gupta and Thind, 2015 ; Saleem *et al.*, 2016b). En effet, un génotype qui est physiologiquement actif dans des conditions de sécheresse devrait être utilisé dans les programmes de sélection pour développer des variétés à haut rendement et tolérantes à la sécheresse (Saleem *et al.*, 2017).

Les études physiologiques aident à établir les techniques précises de dépistage nécessaires pour identifier les caractères liés à la production des plantes (Izanloo *et al.*, 2008). Par conséquent, la compréhension des réponses physiologiques des cultures en période de sécheresse et le contrôle génétique complexe sous-jacent des

différents mécanismes de tolérance à la sécheresse sont essentiels pour améliorer le dépistage de la tolérance à la sécheresse (Izanloo et *al.*, 2008). A ceci, Saleem et *al.* (2016b), rapportent qu'au lieu de se focaliser directement sur le rendement en grains, il serait préférable d'améliorer le rendement en améliorant les caractéristiques physiologiques des composants, ce qui contribuerait en fin de compte à améliorer le rendement en grains. Cela suggère que l'amélioration du rendement peut être obtenue en sélectionnant des génotypes physiologiquement stables et efficaces pour les zones sujettes aux stress.

Des études récentes confirment que la sélection de caractères physiologiques pourrait améliorer le rendement en grains du blé sous des conditions de sécheresse et que ces paramètres sont des critères de sélection raisonnablement fiables (Rad et *al.*, 2013, Saleem et *al.*, 2016a ; Saleem et *al.*, 2016b ; Saleem et *al.*, 2017).

D'après Bray (2002), les réponses physiologiques aux conditions de sécheresse sont nombreuses et comprennent divers aspects physiologique tels que la fermeture des stomates, la diminution de l'activité photosynthétique, l'altération de l'intégrité de la paroi cellulaire. A ceux-là s'ajoute la perte de turgescence et l'ajustement de l'osmose, la réduction du potentiel hydrique des feuilles, la diminution de la conductance des stomates au CO₂, la réduction de la concentration du CO₂ interne et la réduction du taux de croissance (Nezhadahmadi et *al.*, 2013). De plus, Bahar et *al.* (2011), sur blé tendre, et Bogale et *al.* (2011), sur blé dur, ont également suggéré l'utilisation de la durée de la plante verte, la dépression de la température de la canopée, la stabilité thermo-membranaire, la teneur en chlorophylle des feuilles, ainsi que la posture et l'enroulement des feuilles comme des critères pertinents de sélection variétale sous conditions de stress hydrique.

2.6.1. Activité photosynthétique

La photosynthèse de la feuille drapeau est la source la plus importante des rendements en grains de l'agriculture pluviale et/ou des terres arides en raison de l'extrême sensibilité de la phase reproductrice et de la sénescence précoce sous stress hydrique en phase terminale (Gupta et Thind, 2015). la photosynthèse 'nette' de la feuilles étendard du blé contribue de 30 à 50% en assimilats au remplissage des grains (Sylvester-Bradley et *al.*, 1990).

D'après Richards et *al.* (2009), le dessèchement des feuilles de blé sous stress hydrique inhibe la photosynthèse en endommageant l'appareil photosynthétique et en

réduisant la teneur en chlorophylle du feuillage. En revanche, l'excès d'eau permet aussi de réduire considérablement la teneur en chlorophylle totale dans les feuilles de blé (Pirzad et *al.*, 2011).

Mu et *al.* (2010) ont rapporté que les assimilats photosynthétiques contribuent à plus des trois quarts du rendement en grains final. Bien que Saeidi et *al.* (2012) ont mentionné que les contributions de la photosynthèse des épis, des feuilles et de la remobilisation des glucides de la tige au bilan du carbone des grains en développement étaient d'environ 43%, 25% et 32%, respectivement.

Fotovat et *al.* (2007) ont constaté que la sécheresse entraîne une baisse rapide de la photosynthèse de la feuille drapeau pendant l'anthèse, limitant la contribution des assimilats au remplissage des grains et accélère la sénescence des feuilles et de la plante entière provoquant, en conséquence, une rigoureuse réduction de l'efficacité photosynthétique de la culture (Yang et *al.*, 2003a).

Dans des conditions favorables en humidité du sol, 70-90% du rendement en grains du blé dépend de la photosynthèse réussie de la feuilles drapeau (Austin et *al.*, 1977; Bidinger et *al.*, 1977). En effet, la teneur en eau du sol équivalente à soixante-quinze pour cent (75%) de la capacité au champ est suffisante pour optimiser la photosynthèse et la remobilisation des assimilats en post-anthèse (Zhu et *al.*, 2010; Ehsan and Yahya, 2012). Cependant, il est difficile de maintenir une teneur en eau du sol constante pendant une saison de croissance, ou même pendant une phase de croissance, au champ (Wang et *al.*, 2013).

2.6.2. Teneur en chlorophylle

Selon Bahar et *al.* (2011), la durée de vie de la surface verte ou la stabilité de la chlorophylle est une caractéristique qui est utilisée en sélection pour la tolérance et l'adaptation du blé tendre au stress dû à la sécheresse. En effet, Arjenaki et *al.* (2012) ont rapporté que la diminution de la teneur en chlorophylle affectée par le déficit hydrique, suite à la sécheresse ou au stress thermique, aurait provoqué la production des espèces réactives d'oxygène (ROS) tels que O_2^- et H_2O_2 qui provoqueraient une peroxydation lipidique des membranes de chloroplastes causant une destruction de la chlorophylle (Mirnoff, 1993; Foyer *al.*, 1994).

La réduction ou non-changement dans la teneur en chlorophylle des plantes soumises à la sécheresse a été observée chez différentes espèces végétales et son intensité dépend de l'amplitude du stress et de sa durée. D'après Majumdar et *al.*

(1991), la teneur en chlorophylle des cultivars sensibles à la sécheresse et/ou à la contrainte thermique diminue considérablement sous conditions de stress hydrique, bien que Kulshreshtha et *al.*(1987) ont affirmé que le stress hydrique n'avait aucun effet sur la teneur en chlorophylle .

Selon Richards et *al.* (2009), les stress réduisent la teneur en chlorophylle du feuillage par suite de dessèchement. Ainsi les géotypes qui maintiennent un teneur en chlorophylle élevé sont plus tolérants que ceux qui réduisent fortement leur contenu en chlorophylle.

Ristic et *al.* (2007) mentionne la facilité avec laquelle la mesure de cette caractéristique est réalisée à l'aide du chlorophylle-mètre en un temps relativement très court. Quoique Barry et *al.* (1992), sur des feuilles de blé, et Schlemmer et *al.* (2005), sur des feuilles de maïs, ont affirmé que le stress hydrique n'avait pas d'effet significatif sur la teneur en chlorophylle des feuilles et ont conclu que la diminution de la teneur en chlorophylle due au changement de la couleur verte de la feuille en jaune, suite à la diminution de la pression de turgescence causée par le déficit hydrique entraînait une modification de la quantité de rayonnement rouge passant à travers la feuille ce qui modifiait la lecture de l'appareil de mesure et a fait augmenter la réflectance (facteur de réflexion) du rayonnement incident. En d'autres termes, la réflectance de la lumière à partir des feuilles a augmenté avec l'augmentation du stress hydrique. Il semble que ce mécanisme peut protéger le système photosynthétique contre le stress (Arjenaki et *al.*, 2012). Bien que Hamblin et *al.* (2014) rapportent qu'une faible teneur en chlorophylle est bénéfique pour la plante en condition contraignantes. En effet, une teneur réduite en chlorophylle peut également réduire la charge thermique au dessus de la canopée, réduisant ainsi les besoins en eau pour refroidir les feuilles. De plus, le nombre réduit de chloroplastes peut augmenter les nutriments disponibles pour une croissance et un développement optimaux.

2.6.3. Teneur relative en eau

Selon Arjenaki et *al.* (2012), La teneur relative en eau (TRE) est un critère utile pour prévoir l'état de l'eau tissulaire, exprimant ainsi le potentiel hydrique de la plante. En effet, la TRE à travers sa relation avec le volume cellulaire peut indiquer avec précision l'équilibre entre l'eau absorbée par la plante et celle consommée à travers la transpiration (Clark et McCaig 1982 ; Ritchie et *al.*, 1990).

Les recherches antérieures ont montré que la physiologie et la croissance du blé sont affectées par la teneur en eau du sol (Shao *et al.*, 2006; Saeedipour et Moradi, 2012), et que l'irrigation à 100% de la capacité au champ n'entraînent nécessairement pas des rendements en grains plus élevés (Wang *et al.*, 2013).

La teneur relative en eau fournit des informations utiles concernant le dépistage de la tolérance des génotype de blé à la sécheresse (Jalaludine *et al.*, 2009 ; Arjenaki *et al.*, 2012, Rad *et al.*, 2013 ; Saleemi *et al.*, 2016), de ce fait, les rendement en grains des cultivars de blé sensibles aux conditions déficientes en eau diminuent considérablement par rapport aux cultivars tolérants la sécheresse (Saeedipour, 2011).

Siddique *et al.* (2000) ont rapporté que les cultivars de blé avec moins de réduction en la teneur relative en eau pourraient mieux fonctionner sous certaines conditions de stress. De même, Schonfeld *et al.* (1988), Ashraf *et al.* (1994) et Mushtaq *et al.* (2011) ont montré que les cultivars de blé ayant une TRE élevée étaient plus tolérants au stress hydrique et produisaient une biomasse plus importante en maintenant leurs activités physiologiques et biochimiques optimales.

2.6.4. Potentiel de turgescence

Selon Saleem *et al.* (2016a), la plupart des activités physiologiques et morphologiques telles que l'élongation des feuilles, l'ouverture des stomates et les activités photosynthétiques sont directement affectées par le potentiel de turgescence sous conditions de stress hydrique.

A l'échelle de la plante, le potentiel de turgescence assure l'assimilation des solutés présents dans le sol et leur migration vers les parties aériennes de la plante, tout en assurant une régulation thermique des tissus exposés aux rayons du soleil (Hopkins, 2008). Toutes ses fonctions ne vont pas être affectées de la même manière lorsque le statut hydrique de la plante sera déficitaire. Les volumes d'eau qui leur sont associés sont également très variables ; de l'ordre de 450 litres d'eau par mètre carré pour la transpiration sur la durée du cycle, contre à peine 20 litres contenus dans un mètre-carré de blé tendre au début remplissage (Bouthier *et al.*, 2012).

Selon Hopkins (2008), chez les plantes herbacées non lignifiées, la pression de turgescence est seule responsable du maintien du port dressé. En effet, le premier signe visible d'un déficit hydrique est le flétrissement de la feuille dû à une perte de turgescence des cellules foliaires.

En phase de stress hydrique, le potentiel hydrique des cellules s'abaisse et la plante se trouve obligée de mettre en place des mécanismes d'adaptation pour rééquilibrer son statut hydrique en raison de la faible pression de turgescence (Bouthier et *al.*, 2012). En effet, le stress hydrique ralentit l'expansion des cellules ; une moindre turgescence contraint les cellules à réduire leur taille ce qui est traduit par une plus faible taille des feuilles. Cette réaction peut être considérée comme un moyen rapide pour réduire la surface évaporante (Jaleel et *al.*, 2007 ; Bouthier et *al.*, 2012).

2.6.5. Fermeture des stomates

L'ouverture et la fermeture des stomates répondent à l'humidité ambiante. La régulation stomatique permet à la plante de régler sa perte d'eau par transpiration des feuilles par rapport à la vitesse de son absorption par les racines (Hopkins, 2008). La fermeture des stomates, provoquée par une baisse de turgescence des cellules de garde et en réaction aux signaux hormonaux émis par les racines, tel que l'acide abscissique (ABA), limite les pertes d'eau de manière à les équilibrer avec l'absorption racinaire. Cependant, ceci a des conséquences directes sur le déroulement de la photosynthèse, en limitant l'afflux du CO₂ à l'intérieur des feuilles, engendrant par conséquent un ralentissement de la croissance (Bouthier et *al.*, 2012).

Lorsque les feuilles commencent à jaunir, l'appareil photosynthétique se décompose. Ainsi, la sénescence associée au déclin de la capacité photosynthétique des feuilles se trouve aggravée sous stress hydrique (Yang et *al.*, 2003a, b), alors que sous conditions de sécheresse légère, Lopes et Araus, (2006) ont rapporté que la fermeture stomatique est le facteur principal qui réduit la photosynthèse des feuilles de blé.

2.6.6. Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique est l'un des principaux mécanismes de maintien de la pression de turgescence dans la plupart des espèces végétales pour contrôler la perte d'eau, permettant à la plante, sous conditions de sécheresse, de poursuivre l'absorption de l'eau et de maintenir plus longtemps ses activités métaboliques (Gunasekera et Berkowicz, 1992 ; Izanloo et *al.*, 2008) et de récupérer plus rapidement après le stress hydrique (Izanloo et *al.*, 2008). Les plantes perdent le potentiel de turgescence en période de sécheresse jusqu'à un point limitant l'expansion cellulaire, c'est pourquoi les plantes restent érigées (rabougries) et leurs feuilles sont de taille plus petite que celles qui poussent sous conditions hydriques non stressantes (Farooq et *al.*, 2009).

L'ajustement osmotique permet à la plante d'accroître la pression osmotique présente dans ses cellules, ceci lui permet d'une part de réduire les pertes par transpiration et d'autre part d'accroître son pouvoir de succion vis-à-vis l'eau du sol (Bouthier *et al.*, 2012). L'ajustement osmotique se rapporte spécifiquement à une augmentation nette de la concentration de solutés provoqués par des processus métaboliques déclenchés par le stress hydrique. Cela fait diminuer le potentiel hydrique qui devient donc plus négatif, permettant ainsi de maintenir le mouvement d'eau vers les feuilles et par conséquent leur turgescence (Hopkins, 2008).

D'après Morgan (1980), les plantes ayant la capacité d'ajuster osmotiquement peuvent maintenir la turgescence lorsque le potentiel hydrique des feuilles se trouve réduit, sous un stress de sécheresse sévère. Dans une étude comparative sur la tolérance du blé tendre à la sécheresse en milieux contrôlés (irrigué et stressé), Jalaludin *et al.* (2009) ont enregistré des différences significatives parmi la variable milieu et celle du génotype pour la teneur relative en eau. En effet, la teneur relative en eau diminue sous condition de déficit hydrique, plus chez les génotypes sensibles (jusqu'à 26% de réduction) et moins chez les plus tolérants (5%) qui s'ajustaient plus rapidement au stress osmotique grâce à leur capacité d'accumuler des solutés compatibles tels que la proline ou les sucres solubles en présence de stress. Une capacité qui semblait moins développée ou inexistante chez les génotypes sensibles.

3. Irrigation d'appoint

3.1. Concept de l'irrigation d'appoint

Oweis *et al.* (2000) définirent l'irrigation d'appoint (Supplemental Irrigation: SI) en tant que l'application d'une quantité supplémentaire d'eau aux cultures pluviales lorsque les précipitations manquent à l'approvisionnement en humidité du sol nécessaire à la croissance normale de la plante. Cette pratique a montré un potentiel substantiel pour atténuer les effets importuns du régime pluvial et du fait améliorer et stabiliser les rendements des cultures. (Perrier et Salkini, 1987 ; 1991; Oweis, 1949 ; Oweis *et al.*, 1998; Zhang et Oweis, 1999).

En préconisant les applications d'eau d'irrigation aux stades de croissance sensible à la sécheresse, cette pratique vise à maximiser la productivité de l'eau et de stabiliser - plutôt que de maximiser- les rendements du blé (Khila *et al.*, 2013). Dans

ce contexte, Ghanbari-Maldarreh (2010) rapporte qu'à travers une comparaison avec une culture complètement irriguée, la perte de rendement due à l'irrigation d'appoint (déficitaire) est faible devant des économies plus importantes d'eau d'irrigation. Si cela est combiné avec un semis précoce et une fertilisation adéquate en azote, non seulement, un rendement élevé pourrait être atteint, mais jusqu'à 25% du rendement en grains pourrait être aussi augmenté suite à l'expansion de la superficie irriguée.

Au niveau de l'ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas), les études menées par Perrier et Salkini, (1991) suivies de Oweis (1994) ont montré que l'application de deux ou même trois irrigations (80-200mm) au blé tendre avait amélioré le rendement en grains de 36 à 450%, et permettait de produire des rendements en grains similaires ou même plus élevés que sous conditions complètement irriguées.

L'optimisation de l'irrigation d'appoint est une mesure importante pour l'économie d'eau. En effet, la dose optimale peut être déterminée par expérimentation, en appliquant une dose pratique d'eau d'irrigation, ce qui a été expérimenté dans plusieurs essais en Inde (Bandyopadhyay *et al.*, 2010), en Iran (Ghanbari-Maldarreh, 2010) et en Chine (Li *et al.*, 2010; Huo *et al.*, 2012). Dans d'autres essais, la dose de SI a été basée sur la demande climatique, par estimation de l'évapotranspiration réelle (ETr) (Li *et al.*, 2012), ou mesurée à l'aide d'un bac de diamètre conventionnel (Liu *et al.*, 2011), ou même calculée à l'aide de modèles mathématiques (Wang *et al.*, 2010).

La teneur en eau du sol disponible épuisée est généralement utilisée comme critère (seuil d'irrigation) pour initier la SI (Scheer *et al.*, 2012). Ainsi, la dose et le moment de l'irrigation sont tous deux déterminés par des seuils d'irrigation, qui sont influencés par les précipitations et la consommation en eau des cultures (Wang *et al.*, 2013).

3.2. Rendement en grain du blé sous irrigation d'appoint

Il est primordial de développer une stratégie d'irrigation la plus appropriée pour atteindre des rendements optimaux des cultures conduites sous des réserves d'eau limitées pour différentes régions écologiques (Zhang *et al.*, 2013).

A travers les premiers essais sur l'irrigation d'appoint, Perrier et Salkini (1987) ont rapporté que l'amélioration du rendement en grains du blé sous irrigation d'appoint a été d'environ 1 tonne par hectare au Pakistan. Parallèlement, en Iran, à Kerman-shah, Siadat (1987) a obtenu un rendement en grains de blé de 1748kg/ha en

appliquant deux irrigations d'appoint aux stades épiaison et remplissage-laiteux et que l'amélioration du rendement sous irrigation pour chacun des deux stades, séparément, fût 1500Kg/ha.

En Syrie, Oweis et *al.* (1999) ont enregistré une amélioration de 46% et 80% par rapport au rendement en grains de 26q/ha sous conditions pluvial pour des stratégies d'irrigation couvrant le $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ et les besoins totaux du blé dur estimés à 320mm .

En Turquie, Ilbeyi et *al.* (2006) ont également obtenu une amélioration de 65% du rendement en grains suite à l'application d'une irrigation précoce anticipant la saison sèche. Cela était lié à l'action combinée du déficit hydrique sur la croissance précoce des racines et des pousses et sur l'initiation des feuilles et des organes reproducteurs.

En Iran, Ghanbari-Maldarreh (2010) a obtenu une amélioration de 29%, soit 5670kg/ha, du rendement en grains par rapport au traitement pluvial (4032kg/ha), en appliquant trois irrigations d'appoint à chacun des trois stades épiaison, à l'anthèse et au remplissage-grain laiteux.

En Chine, l'un de grands consommateurs de blé tendre dans le monde, les travaux menés par Li and gang (2002) et Shangguan et *al.* (2002) ont fait progresser les technologies de récupération de l'eau de pluie pour fournir une ressource en eau suffisante pour l'irrigation d'appoint. D'après Wang et *al.* (2013), les premiers essais menés sur l'irrigation d'appoint étaient appliqués aux stades repères du développement du blé, ignorant souvent les apports des précipitations et la disponibilité de la réserve en eaux du sol, et suggérant divers recommandation pour la conduite de l'irrigation que nous présentons selon la chronologie suivante :

Xue et *al.* (2003) ont recommandé trois applications, la première au 1^{er} nœud de la montaison, la deuxième au gonflement et la dernière à l'anthèse, totalisant 300 mm d'eau d'irrigation.

De même, Zhang et *al.* (2004) ont recommandé trois applications, la première au début montaison, la deuxième au gonflement et la troisième au début remplissage-laiteux, cumulant 180 mm d'eau d'irrigation.

Zhang et *al.* (2007), ont expérimenté trois dose optimales d'irrigation de 60, 75et 90mm appliquées en deux reprises, la première au début tallage et la deuxième au l'épiaison. Ils avaient opté pour l'application de 60 mm.

Li et *al.* (2010) ont recommandé l'application de deux irrigations de 60mm chacune, la première au début montaison et la deuxième à l'épiaison, cumulant un volume total de 120mm.

Dong et *al.* (2011) ont recommandé deux applications, la première au début montaison et une deuxième à l'anthèse dont le cumul d'eau d'irrigation fut 150mm.

Dans les plaines arides du Nord de la Chine, Lv et *al.* (2011) ont expérimenté une dose pratique d'irrigation de 60mm sur cinq régimes d'irrigation marquant les stades repères de croissance du blé tendre. Ils ont opté pour une seule application au stade début montaison afin de rationaliser l'utilisation de l'eau en irrigation.

Zhang et *al.* (2013) ont recommandé l'application de deux irrigations, une première appliquée au début tallage et une deuxième en début montaison au premier nœud détectable, ce qui a produit plus de rendement en grains que SI appliquée à un stade précoce du développement du blé d'hiver.

Toutes ces recommandations avaient abouti à des rendements plus élevés, et par conséquent des niveaux d'efficience d'utilisation de l'eau (EUE) plus importante que celles des pratiques d'irrigation traditionnelles. Cependant, il était important de développer une stratégie d'irrigation basées sur des critères clés de gestion et de conduite de l'irrigation touchant les trois facteurs piliers de production, à savoir, le climat, le sol et la plante pour préconiser une irrigation d'assurance capable de maintenir un bon potentiel, en matière de rendements en grains, des géotypes cultivée.

Pour tenter à remédier à cette situation, Wang et *al.* (2013) ont conçu leur étude selon un système de production à trois composantes capitales à savoir la distribution des précipitations, la disponibilité de l'eau du sol et les besoins de la culture, qui ont été influencées par la conduite de la SI. Ainsi Ils ont affirmé qu'une teneur en eau du sol d'environ 75% de la capacité au champ était primordiale pour la survie des talles, l'initialisation de la montaison, le développement des fleurs (à partir de la mi-montaison jusqu'à ce que la ligule de la feuille drapeau soit juste visible), ainsi que pour le remplissage des grains en post-anthèse. Ils ont même constaté que lorsque la SI a été appliqué au stade terminal, aucune influence n'a été enregistrée sur le remplissage de grains, probablement en raison de l'inhibition de la remobilisation des assimilats par l'initialisation de la sénescence.

Meng et *al.* (2015), pour un rendement en grains maximal effleurant 90q/ha, ont recommandé des régimes d'irrigation qui diffèrent selon les stades critiques de

développement du blé et les conditions expérimentales. Ils avaient adopté une nouvelle stratégie d'irrigation dans laquelle la dose d'irrigation a été calculée sur la base de la teneur en eau cible (θ_t) tout en maintenant une humidité du sol avoisinant les 75% de la capacité au champ, aux deux stades début montaison et à l'anthèse pour deux variétés très performantes de blé tendre. Ils ont confirmé que l'irrigation au début montaison peut réduire significativement la consommation d'eau sans réduire les rendements en grains de blé, et par conséquent, augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

En Algérie, dans une étude sur la réponse de quelques cultivars de blé dur à l'irrigation d'appoint, Bouthiba et *al.* (2008) ont obtenu une amélioration du rendement en grains de 270% sous régime d'irrigation continu (270mm) appliqué tout au long du cycle de vie de la culture, l'amélioration de 107% sous irrigation pour les stades précédents l'épiaison (130 mm) et de 67% sous irrigation pour les stades post-épiaison (140mm), par rapport au rendement pluvial qui était de 13q/ha. Ils avaient recommandé d'adopter les cultivars Chen et Waha sous conditions de stress modéré, tandis que Vitron performait mieux sous irrigation complète.

Merouche et *al.* (2014) ont examiné la réponse de six variétés de blé dur à l'irrigation déficitaire dans la région de Khémis-Miliana (haut-Chellif), ils ont trouvé qu'en plus du régime de précipitation local, l'application d'une dose d'irrigation de 50mm au tallage a amélioré le rendement en grains de 52%. Ils ont autant démontré que l'application de 140mm d'irrigation entre le début tallage et le gonflement, aux trois variétés de blé dur Waha, Mexicali et Vitron, avait amélioré les rendements en grains de 22q/ha (sous régime pluvial) à 32q/ha, soit une augmentation de 46%, et que le nombre de grains/m² fût la composante du rendement la plus affectée par l'irrigation.

CHAPITRE -II-
MATERIELS ET METHODES

CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES

La présente étude a été réalisée durant les deux campagnes agricoles 2013/2014 et 2014/2015, sous les conditions semi-arides de la région de Sétif, impliquant l'étude de l'effet de l'irrigation d'appoint sur une gamme de quatre géotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) ; deux cultivars localement améliorés et largement cultivés dans la région de Sétif et deux autres géotypes sélectionnés par l'institution ACSAD (Centre Arabe pour les études des zones sèches et des terres arides) et nouvellement introduits en Algérie courant 2012 par le biais de l'ITGC.

1. Expérimentations au champ

1.1. Sites d'essais et dispositif expérimental

Au cours de la première année d'expérimentation 2013-2014, l'essai a été mené au niveau de la Station de la Recherche Agronomique relevant de l'Institut Technique des Grandes Cultures (SRA-ITGC) sis à 3Km au Sud-Ouest de la ville de Sétif. Les coordonnées géographiques de la station sont 36° 09' N et 5° 22' E, à une altitude de 966m du niveau de la mer.

La région appartient à l'étage bioclimatique semi-aride, caractérisée par un climat continental typiquement méditerranéen chaud et sec en été et froid et humide en hiver (Belaid, 2005). Les précipitations annuelles moyennes à la station, sur 20 ans de 1994 à 2014, ont été de 392 mm, dont environ 30% précipitent de Septembre à Novembre et le reste de Décembre à la fin du mois de Juin (ONM, 2014). Le sol du site expérimental est de texture argilo-limoneuse, qui se caractérise par un pH de 8.1 et un taux de 1.2% de matière organique (Annexe 3). Le précédent cultural fut une jachère travaillée.

Par défaut de moyens logistiques, principalement la disponibilité de la citerne d'eau pour l'accomplissement des irrigations à la fin Mai et au début Juin, coïncidant avec le stade de remplissage-grain laiteux, l'essai de la deuxième année 2014/2015 a été transféré au niveau de la ferme pilote 'Bouteraa Mahmoud' située dans la commune d'El-Oueldja distante de 36Km, à vol d'oiseau, au Sud-Est du chef-lieu de la wilaya de Sétif. Les coordonnées géographiques de ce site expérimental sont 36° 06' N et 5° 54' E, à une altitude de 905m.

Ce deuxième site appartient au même étage bioclimatique semi-aride et de même caractéristiques climatiques que le premier site. D'après les analyses du sol

effectuées par les services de la Société des Fertilisants d'Algérie – Fertial. SPA., de Annaba en début de la campagne agricole 2014/2015 et dont les résultats sont présentés dans l'annexe 3, le sol est d'une texture fine argileuse à limono-argileuse renfermant 44% d'argile dans sa couche superficielle de 0-20 cm, qui se caractérise par un pH de 7.4 et un taux de 2.1% de matière organique. C'est un sol à capacité de rétention modérée pour l'eau qui n'est pas sensible à la battance mais qui présente un risque potentiel d'asphyxie.

L'expérimentation a été conçue selon un dispositif factoriel en blocs complètement randomisés avec trois répétitions sur des parcelles élémentaires de 1.2 m² (1m × 1.2m). Répartis en trois blocs, les traitements concevaient la combinaison de quatre génotypes de blé tendre (G) et six régimes d'eau; cinq régimes d'irrigation d'appoint (SI) en plus du régime pluvial local, à raison de 24 parcelles élémentaires par bloc.

En tout, l'essai comportait 72 parcelles élémentaires dont chacune est de 1.00 m de long et 1.20 m de large (6 rangs de 1m de long et 0.17m écartement entre les rangs), espacées de 40cm.

1.2. Matériel végétal

Quatre génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) ont été sélectionnés comme matériel végétal, tel que mentionné dans le tableau 2. Hidhab (HD1220) et El-wifak, deux variétés améliorées couramment cultivées par les agriculteurs dans les hautes plaines de la région de Sétif, et deux variétés nouvellement introduites fournies par l'institution ACSAD (Centre arabe pour les études des zones sèches et des terres arides); Djemila (ACSAD 969) et Djanet (ACSAD 899), acquises par le biais du Centre National de Contrôle et de Certification de Semences et Plants (CNCCSP) sis à Sétif. Le cycle de développement des génotypes sélectionnés a été catégorisé selon l'échelle de notation des stades repères de blé de Zadocks (Zadocks et *al.*, 1974), détaillé dans l'Annexe1.

Tableau 4. Pédigrée et source du matériel végétal

Génotype	Pédigrée	Source du matériel
Hidhab (HD1220)	HD1220/3*Kal/Nac CM40454	CIMMYT ¹ (Mexique)
El-wifak	K134/4/Tob/Bman/Bb/3/Cal/5/Bucc	CIMMYT(Mexique)
Djemila(ACSAD 969)	Acsad 529// prl4S4/ VEE's ²	ACSAD ² (Syrie)
Djanet (ACSAD 899)	Acsad529/4/C182.24/C168.3/3/Cno*2/7C//CC/Tob-1s	ACSAD (Syrie)

¹CIMMYT: International Maize and Wheat Improvement Center;

²ACSAD: Arab Center for the Studies of Arid zones and Dry lands.

1.3. Itinéraire technique

Pour les deux saisons d'expérimentation, et selon le même itinéraire technique, les graines ont été semées à la première décade de décembre, sur un sol dont le précédent cultural fut une jachère travaillée, en respectant une densité de semis de 250 graines au mètre carré à raison de 42 graines par mètre linéaire.

Avant les semis, une fumure de fond au MAP (52% P), à raison de 80 kg/ha a été épandue, suivi d'une deuxième fertilisation à l'urée (46%N) de 80kg/ha apportée au stade tallage.

Le contrôle chimique des mauvaises herbes a été réalisé selon le type des adventices recensées, en première saison d'expérimentation grâce un herbicide contre adventice dicotylédones de post-levée; zoom, appliqué au stade 2-3 feuilles à raison de 150g/200l/ha (0.6l/ha). Durant la deuxième saison d'expérimentation, une combinaison de deux désherbants a été établie, Brumby 80EC, appliqué au stade 2-3 feuilles contre adventices graminées à raison de 0.34l/ha et Granstar 75DF contre les adventices dicotylédones à raison de 6g/ha.

1.4. Régimes d'eau

Six régimes d'eau, comprenant cinq niveaux d'irrigation d'appoint en plus du régime pluvial, ont été appliqués en combinaison avec les quatre géotypes, selon le schéma du dispositif expérimental conçu, aux différentes parcelles élémentaires différemment en termes de quantités d'eau et de stades repères du cycle de développement tout en se référant à l'échelle de Zadocks *et al.* (1974) pour la notation des stades repères cibles:

- SI0: Sans irrigation, impliquant le régime pluvial;
- SI1: Irrigué au stade montaison de l'extension de la tige au deuxième (2^{ème}) nœud détectable à l'apparition de la ligule de la feuille étendard sur 50% des tiges (Z32-Z39);
- SI2: Irrigué pendant deux stades ; montaison au premier (1^{er}) nœud détectable (Z31) et floraison lorsque les anthères sont visibles sur 50% des épis (Z65-Z69);
- SI3: Irrigué pendant trois stades; tallage (Z21-Z29), montaison du 2^{ème} nœud (Z32-Z39) et remplissage-grain laiteux (Z70-Z79).
- W4: Irrigué pendant quatre stades; tallage (Z21-Z29), montaison du 2^{ème} nœud (Z32-Z39), floraison (Z65-Z69) et remplissage-grain laiteux (Z70-Z79).

- W5: irriguée aux cinq stades repères cibles du cycle; (Z21-Z29), (Z31), (Z32-Z39), (Z65-Z69) et (Z70-Z79).

Tableau 5. Planning des irrigations d'appoint selon les stades repères cibles.

Stade de Régime de végétation d'irrigation	Tallage (Z21-Z29)	Montaison à 1 nœud (Z31)	Montaison à 2 nœuds (Z32-Z39)	Floraison (Z65-Z69)	Remplissage-grain laiteux (Z70-Z79)
SI0					
SI1			XXXXXXXXXX		
SI2		XXXXXXXXXX		XXXXXXXXXX	
SI3	XXXXXXXXXX		XXXXXXXXXX		XXXXXXXXXX
SI4	XXXXXXXXXX		XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
SI5	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX

1.5. Gestion des irrigations

L'état hydrique du sol, exprimée en teneur en eau pondérale a été suivie tout au long de l'expérimentation et surveillée par méthode gravimétrique, à l'aide d'une tarière, à des intervalles de 8 à 9 jours et après chaque irrigation selon le procédé décrit par Cuenca (1989).

Pour déterminer la teneur en eau du sol, des prélèvements d'échantillons ont été réalisés dans le sol sur trois profondeurs à un intervalle constant de 20 cm à partir de la surface du sol jusqu'à une profondeur de 60 cm. Au delà de cette profondeur la prospection du profil pédologique du premier site a révélé la présence d'une couche dure continue, probablement consolidée sous l'effet de la charge des machines de travail du sol, limitant considérablement la pénétration des racines et la circulation de l'eau et de l'air en dessous de cette profondeur. Sur le deuxième site, en plus de la première contrainte, nous avons constaté la présence d'une charge caillouteuse très abondante (Annexe3) rendant le prélèvement au-delà de la même profondeur quasi-inutile.

De ce fait, l'estimation des doses d'irrigation d'appoint (SI) apportées, selon les régimes d'irrigation sus-détaillés a été établie sur la base de la pondération de la teneur en eau du trois profondeurs du sol, 00-20, 20-40, 40-60cm, avant chaque irrigation, traduisant à la fois la contribution des précipitations à la recharge de la réserve en eau du sol et le mode d'épuisement de cette réserve par les plantes.

L'irrigation est déclenché pour les traitements cibles, simultanément, lorsque la profondeur d'enracinement du traitement entièrement irrigué serait à 75% (aurait perdu 25%) de la de sa réserve utile en eau ; définie comme la différence de entre

l'humidité pondérale à la capacité au champ et celle au point de flétrissement permanent. (Wang et al., 2013 ; Meng et al., 2015).

La dose de SI, qui représente les exigences en eau d'irrigation pour les plantes au stade repère cible, appliquée aux traitements concernés a été calculée pour recharger la profondeur racinaire à sa capacité au champ en utilisant l'équation suivante (Cuenca, 1989; Wang et al., 2013):

$$DI = 100\gamma_{bd} D_h (\theta_t - \theta_n)$$

D'où: DI (mm) est la dose d'irrigation SI couvrant les besoins en eau de la culture; γ_{bd} (gcm^{-3}) est la densité apparente du sol; D_h (cm) est la profondeur d'enracinement ; θ_n (mg d'eau par g sol sec) est la teneur en eau pondérale du sol avant l'irrigation. ; θ_t (mg d'eau par g sol sec) est la teneur en eau pondérale cible du sol après application de SI; θ_t a été calculée comme suit:

$$\theta_t = \theta_{max} \cdot \theta_{tr}/100$$

D'où : θ_{max} (mg eau par g sol sec) est la teneur en eau à la capacité au champ; θ_{tr} (%) est la teneur en eau relative cible du sol. Ainsi lors de chaque irrigation, l'eau est soigneusement appliquée le long des six rangs des micro-parcelles pour y assurer une couverture complète et une distribution uniformes.

1.6. Mesures et notations des caractéristiques agronomiques

Durant les deux années d'expérimentation, les données des caractéristiques agronomiques mesurables ont été déterminées et enregistrées en plein champ sur chacune des parcelles élémentaires, au fur et à mesure de la croissance et du développement de la plante.

1.6.1. Nombre de plants levés

Le nombre total de plantes installées a été compté à la levée sur la surface totale de chacune des parcelles élémentaires.

1.6.2. Nombre de talles herbacées

Le nombre de talles herbacées émises par plante a été compté au stade tallage sur deux rangs intermédiaires, choisis aléatoirement, sur chaque parcelle élémentaire puis rapporté à l'unité de surface (m^2).

1.6.3. Nombre des épis

Le nombre des épis produits a été déterminé par comptage du nombre d'épis de deux rangs intermédiaires, désignés arbitrairement, sur chaque parcelle élémentaire puis rapporté à l'unité de surface (m^2).

1.6.4. Nombre et poids de grains par épi

Le nombre et le poids de grains par épi a été déterminé au stade maturité par comptage et pesage des grains d'épis présents dans un bottillon de deux lignes intermédiaires prise aléatoirement sur la parcelle élémentaire. Le nombre de grains par épi retenu est ensuite multiplié par le nombre d'épi par unité de surface pour en déduire son équivalent en grains par unité de surface.

1.6.5. Rendement grains et poids de 1000 grains

Le rendement grains a été déterminé par pesage immédiat des grains issus du battage des épis récoltés par parcelle élémentaire. 500 grains furent comptés à partir de la moisson de chaque parcelle élémentaire et pesés pour en déduire le poids de 1000 grains.

1.6.6. Biomasse aérienne et indice de récolte

La biomasse aérienne a été déterminée au stade maturité par pesage de la botte de masse végétale aérienne provenant de la récolte de la parcelle élémentaire, puis rapportée à son rendement en grains pour en déduire l'indice de récolte.

1.6.7. Hauteur de la végétation

La hauteur des plantes a été mesurée en début de maturité sur des petites longueurs choisis aléatoirement parmi les rangs intermédiaires. La hauteur est mesurée du ras du sol au sommet de l'épi à l'aide d'une règle en bois graduée.

1.7. Mesure des caractéristiques d'appréciation au champ

1.7.1. Teneur en chlorophylle totale

Durant les deux années d'expérimentation, la teneur en chlorophylle totale a été déterminée en plein champ sur les soixante-douze parcelles élémentaires, en début floraison une semaine après l'anthèse, à l'aide d'un chlorophylle-mètre model Opti-Sciences, CCM-200 (Opti-Sciences, Inc., Hudson, NH, USA). Trois lectures ont été prises le long de la section médiane de la feuille étendard, de six plantes choisies au hasard dans les quatre lignes centrales de chaque parcelle élémentaire, dont les valeurs ont été exprimées en unités CCI (Chlorophyll Content Index), pour en déduire une valeur moyenne.

La lecture du CCM-200 est le rapport de transmission du rayonnement émis par une diode électroluminescente (LED) centrée sur une longueur d'onde de 931 nm à la transmission du rayonnement d'une diode centrée sur une longueur d'onde de 653

nm (manuel d'utilisation du CCM-200). Ce rapport est défini comme l'indice de teneur en chlorophylle (ICC).

$$CCI = \frac{\% \text{ transmission } 931nm}{\% \text{ transmission } 653nm}$$

1.7.2. Surface foliaire

La surface foliaire (SF) de la feuille étandard a été mesurée au champ sur un échantillon de trois feuilles prises au hasard au stade épiaison. La SF exprimée en cm² est déterminée, selon Spagnoletti-Zeuli et Qualset (1990), comme le produit de la longueur (L, cm) par la largeur moyenne (l, cm) multiplié par 0.7149

$$SF = L \times l \times 0.7149$$

1.7.3. Teneur relative en eau

La teneur relative en eau (TRE) a été déterminée au laboratoire de la faculté SNV selon la méthode d'Ekanayake et *al.* (1993). Après échantillonnage au champ les feuilles sont directement pesé pour avoir le poids frais (PF) puis immergées dans des tubes à essai contenant 10ml d'eau distillée à +4°C pendant 19h pour hydratation complète. Une seconde pesé est réalisée pour avoir le poids turgide (PT). Finalement, les échantillons seront séchés à l'étuve à 70°C pendant 48h pour obtenir le poids sec (PS). La TRE (%) est déterminée par une formule empirique courante comme suit:

$$TRE = \frac{PF - PS}{PT - PS} \times 100$$

2. Analyse des caractéristiques de qualité meunière

Les grains récoltés ont été soumis à des analyses chimiques et technologiques au niveau du laboratoire d'analyse technologiques de l'ERIAD Sétif, sis à Chouf-lekedad, afin d'apprécier leur potentiel en matière de qualité meunière. Tout d'abord, les échantillons de grains provenant des trois répétitions de chaque traitement ont été broyés à l'aide d'un broyeur à disque (Buhler mod.MLI-204), puis tamisés et épurés pour les réduire en farine.

2.1. Protéines totale et indice de sédimentation de Zéleny

Le dosages simultanés de la teneur en protéines totales (PT), l'indice de sédimentation de Zéleny (exprimé en unité de volume), la teneur en eau et de la teneur en matière minérales (ou en cendres) des échantillons de farine de blé a été déterminé

sur la base du poids sec par spectroscopie de réflectance proche infrarouge (SPIR), une méthode d'analyse rapide des grains et des farines non destructives et non polluantes, en se servant d'un appareil de mesure spécialement conçu et optimisé pour ce type d'analyse, le 'Percon Inframatic 8600 Flour Analyzer' (Perten Co., Huddinge, Suède).

Le principe de mesure de cet appareil repose sur le fait que les composants de l'échantillon analysé absorbent un rayonnement électromagnétique dans le domaine du proche infrarouge dans une plage limitée par les longueurs d'ondes 800 et 2500nm. L'atténuation du rayonnement transmis par composant absorbant est décrite selon la loi de Beer-Lambert (1852). Pour réaliser ce test simple et rapide, 55g de farine sont introduit dans un entonnoir pour échantillons pendant 30-50secondes. Les lectures de la teneur des protéines totales, l'indice de sédimentation de Zéleny, la teneur en eau et de la teneur en matière minérales seront ensuite affichées sur l'écran de l'appareil. D'après le catalogue d'utilisation de l'appareil de mesure, l'erreur résiduelle du dosage est d'environ 0.25% ms.

2.2. Teneur en gluten humide

La teneur en gluten humide (GH) a été déterminée après extraction par lixiviation d'un pâton sous mince filet d'eau salée, selon la méthode standard ICC137 (ICC, 1982). Le protocole expérimental consiste à placer 10g de farine dans une capsule (mini pétrin). Verser, à l'aide d'une pipette, 5.2ml d'une solution à 2% de NaCl, après pétrissage pendant 20-30sec, la pâte est lavée pendant 5min avec la solution à 2% de NaCl (50-60ml/min). Le lavage doit se faire au dessus d'un tamis pour conserver en masse le gluten qui tombe de la pâte. Le gluten isolé est essoré dans une centrifugeuse (6000tr/min pendant 1min), la pesé exprime la masse du gluten humide.

2.3. Temps de chute d'Hagberg

Les valeurs du temps de chute d'Hagberg (ou nombre de chute : NC) ont été déterminées selon la méthode standard ICC 107 (ICC, 1995) en utilisant un appareil de mesure le 'Falling Number 1400' (Perten Co., Huddinge, Suède) pour les tests blé/grain. Le principe consiste à mesurer la consistance d'une suspension de farine dans l'eau placée dans un tube viscométrique et plongée dans un bain-marie porté à l'ébullition. La consistance est appréciée en mesurant le temps mis par un plongeur de géométrie parfaitement définie pour s'enfoncer d'une distance fixée à l'avance au sein de la suspension de farine.

Le protocole expérimental consiste à placer un poids (x) en gramme de farine déterminé en référence au taux d'humidité de l'échantillon, selon un abaque d'ajustement, dans une éprouvette graduée. 25ml d'eau distillée est ajoutée à l'échantillon moulu dans l'éprouvette du temps de chute. Le blé moulu et le mélange d'eau sont brassés à fond pour faire une bouillie. L'éprouvette contenant la bouillie est immergée dans le bain d'eau bouillante de l'appareil servant à déterminer le temps de chute. La bouillie est brassée pendant 60 secondes à l'aide du brassoir que nous laissons ensuite tomber dans le blé moulu et la bouillie d'eau. Le temps total, mesuré en secondes, que prend le brassoir pour atteindre le fond de l'éprouvette, y compris le temps de brassage de 60 secondes, est le résultat de l'indice de chute, qui témoigne des dommages causés par la germination dans l'échantillon. La lecture du temps de chute est alors enregistrée.

3. Analyse statistique des données

Les données collectées, à partir des mesures des notations et des analyses des différentes caractéristiques évaluées de l'expérimentation de six (6) régimes d'eau testés sur quatre (4) génotypes de blé tendre, ont été analysées statistiquement à l'aide du logiciel SPSS (PASW Statistics Base version 23.0). Les différences entre les moyennes ont été comparées en utilisant le test de la différence la moins significative (LSD) au seuil $\alpha = 0,05$ (Ppds5%), tel que décrit par Steel et *al.* (1997) et représentées selon le squelette suivant (effets régime d'eau, génotype et interactions).

Tableau 6. Squelette de l'analyse de la variance des données collectées

Source	ddl	CME	F test
Traitements	(ab-1) = 23	M1	-----
Blocs	(r-1) = 2	M2	M2/ M6
Régime d'eau (I)	(a-1) = 5	M3	M3/ M6
Génotype (G)	(b-1) = 3	M4	M4/ M6
I×G	(a-1)(b-1) = 15	M5	M5/ M6
Erreur résiduelle	(r-1)(ab-1) = 46	M6	
Total	(abr-1) = 71		

Le model mathématique utilisé pour décrire notre dispositif expérimental à deux facteurs, à savoir régime d'eau et génotype, est le suivant :

$$Y_{ijk} = \mu + I_i + G_j + IG_{ij} + B_k + e_{ijk}$$

Où :

Y_{ijk} : observation à expliquer du traitement factoriel de niveau i du facteur I
et du niveau j du facteur G dans le bloc k ;

μ : moyenne générale de la population ;

I_i : effet du niveau i du facteur régime d'eau I ;

G_j : effet du niveau j du facteur génotype ;

B_k : effet du bloc k ;

IG_{ij} : effet de l'interaction entre le niveau i du facteur régime d'eau I et le
niveau j du facteur génotype G ;

e_{ijk} : résiduel pondéré propre à l'unité expérimentale.

CHAPITRE -III-
RESULTATS ET DISCUSSION

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Précipitations et températures

Durant les deux années d'expérimentation, 2013/2014 et 2014/2015, les cumuls pluviométriques enregistrés pendant la période allant du mois de Septembre à Juin étaient de 361.6mm et 336.9mm respectivement. Pour la même période, le cumul de températures moyennes était de 131°C, une valeur quasi-identiques pour les deux années d'étude, bien que la distribution mensuelle des ces deux paramètres climatiques était clairement différente (Annexe 2).

1.1 Précipitations et températures durant la campagne 2013/2014

En se référant à la figure 1, illustrant la représentation graphique de la distribution des deux éléments climatiques ; précipitations et températures, durant la campagne agricole 2013/2014, nous constatons que cette dernière se caractérise par une distribution pluviométrique irrégulière. En effet les mois de Septembre, Novembre, Février et Avril se spécifient d'un cumul pluviométrique mensuel inférieur à 30mm, alors que les deux mois de Mars et Mai se distinguent d'un cumul pluviométrique mensuel supérieur à 60mm. Les températures moyennes mensuelles durant les mois allant de Décembre jusqu'au Mars étaient inférieures à 10°C.

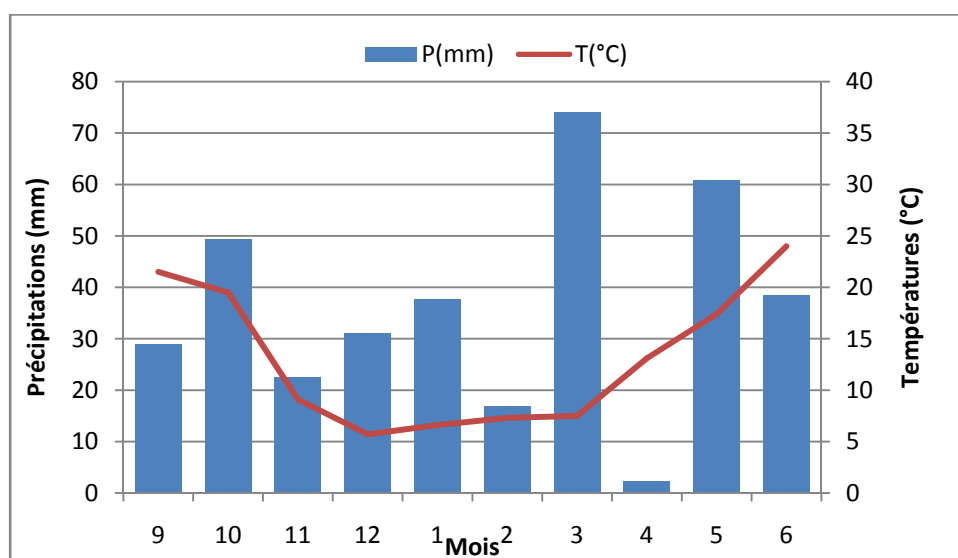


Figure1. Distribution des précipitations et des températures en 2013/2014.

1.2. Précipitations et températures durant la campagne 2014/2015

A travers la figure 2, présentant toujours la distribution des deux éléments climatiques susmentionnés, nous constatons que la campagne 2014/2015 se caractérise

par les mois de Septembre, d'Octobre, Novembre, Avril, Mai et Juin dont le cumul pluviométrique mensuel est inférieur à 30mm (Figure 2), tandis que les mois de Décembre, Janvier, Février et Mars enregistrent des cumuls pluviométriques mensuels supérieurs à 50mm. Notons aussi que les températures moyennes mensuelles durant les mois allant de Décembre jusqu'au Mars furent inférieures à 10°C.

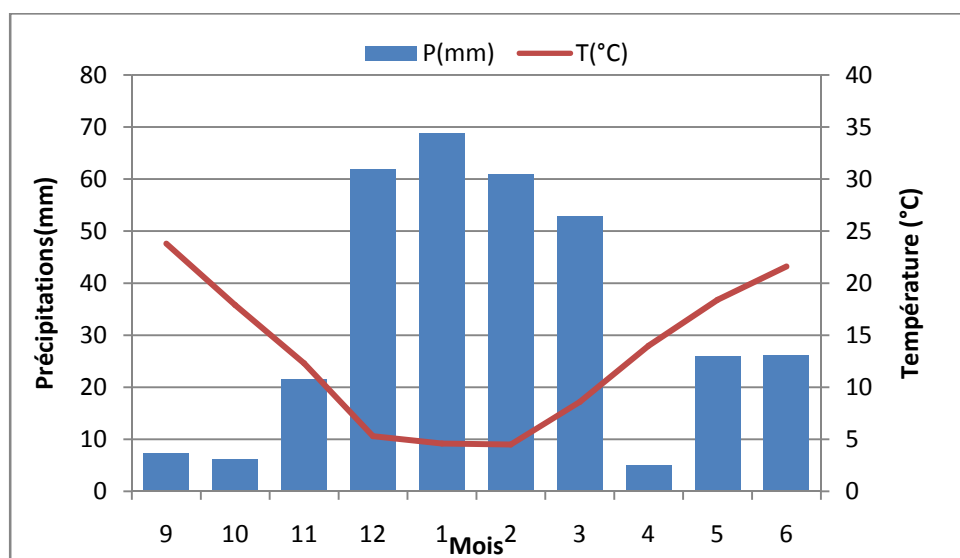


Figure 2. Distribution des précipitations et des températures en 2014/2015.

Ces résultats indiquent de la grande variabilité pluviométrique à laquelle est soumise la production du blé tendre dans la région de notre étude. Ainsi la réserve en eau du sol disponible pour le développement de la culture dans cette région est soumise aux deux variables à savoir la hauteur des précipitations (l'apport pluviométrique) et la répartition de ces précipitations tout au long du cycle végétatif de la culture.

A l'inverse du cumul pluviométrique mensuel, la température moyenne mensuelle présente une distribution bimodale, basse au cours des premiers stades végétatifs, levée, tallage et montaison, allant du mois de Décembre au mois de Mars où la température moyenne mensuelle est inférieure à 10°C (Figure 2), quoiqu'elle soit suffisante selon Soltner (2012) à la germination du blé tendre, puis s'élève progressivement au cours des stades de gonflement, floraison et remplissage des grains.

Cette ample variation de la température freine la croissance de la culture durant les mois les plus arrosés ou la réserve hydrique du sol est bien disponible et favorise la croissance ultérieurement au moment où la contrainte hydrique s'y installe.

Pendant la période de mise en place du nombre de grains par épi, les conditions de 2013/2014 étaient évidemment les plus favorables au rendement. Contrairement pour celles de 2014/2015 où la pluviométrie était extrêmement déficiente (<35 mm), à partir

d'Avril et jusqu'à Juin, ce qui a engendré un déficit hydrique considérable du sol rhizosphérique, imposant ainsi le recours à nombreuses irrigations afin de subvenir aux besoins en eau de la culture en place.

2. Suivi de l'état hydrique du sol

2.1. Etat hydrique du sol durant la campagne 2013/2014

Etant donné que la parcelle de notre expérimentation était de dimensions réduite (13m×22m), le suivi de l'humidité du sol, exprimée en teneur en eau pondérale, a été réalisé pour l'ensemble de l'expérimentation tout en focalisant sur sa variation à travers les trois profondeurs considérées, 0-20, 20-40 et 40-60cm.

La figure 3 illustre la variation de la teneur en eau pondérale (θ_m) du sol pour les trois profondeurs de mesure à des points de prélèvement, désignés arbitrairement sur la parcelle, tout au long du cycle végétatif des génotypes cultivés.

La plus faible valeur de la teneur en eau pondérale (θ_m) du sol des points de prélèvements représentés par la pondération des trois profondeurs a été de l'ordre de 10.83% équivalente à une teneur en eau volumique (θ_v) de 14.09 mm au prélèvement du 13/05/2014 date à laquelle nous avons constatés une nette diminution de l'humidité du sol fortement due aux faibles précipitations, enregistrées durant le mois précédent d'Avril, qui furent de 2.2mm (figure 1).

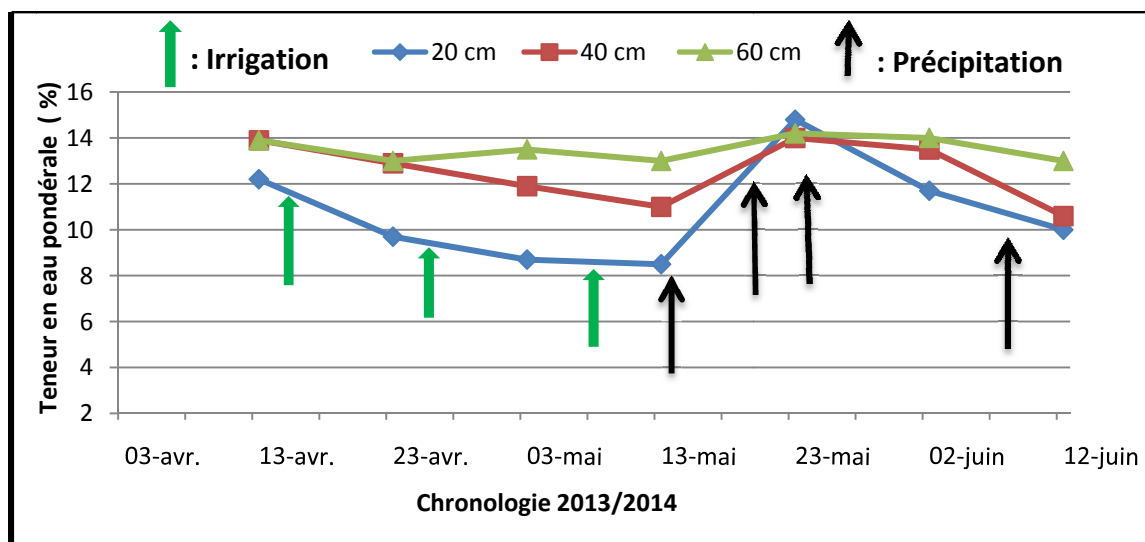


Figure 3. Variation de la teneur en eau pondérale (θ_m) du sol en fonction des apports de précipitations et d'irrigation durant la saison de croissance 2013/2014.

- 1 : Irrigation au stade début montaison correspondant à (Z31) effectuée le 14/04/1014.
- 2 : Irrigation au stade montaison correspondant à (Z32-Z39) effectuée le 24/04/1014.
- 3 : irrigation au stade floraison correspondant à (Z65-Z69) effectuée le 04/05/1014.

Une nette amélioration a été enregistrée après la chute d'un cumul de pluies de 60.8mm durant la deuxième quinzaine du mois de Mai, dont les plus importantes sont celles enregistrées le 24/05/2014 et le 27/05/2014 avec 20.8mm et 24.8mm respectivement, épargnant ainsi l'irrigation d'appoint programmée pour les traitements concernés au stade de remplissage-grain laiteux (Figures 3 et 4).

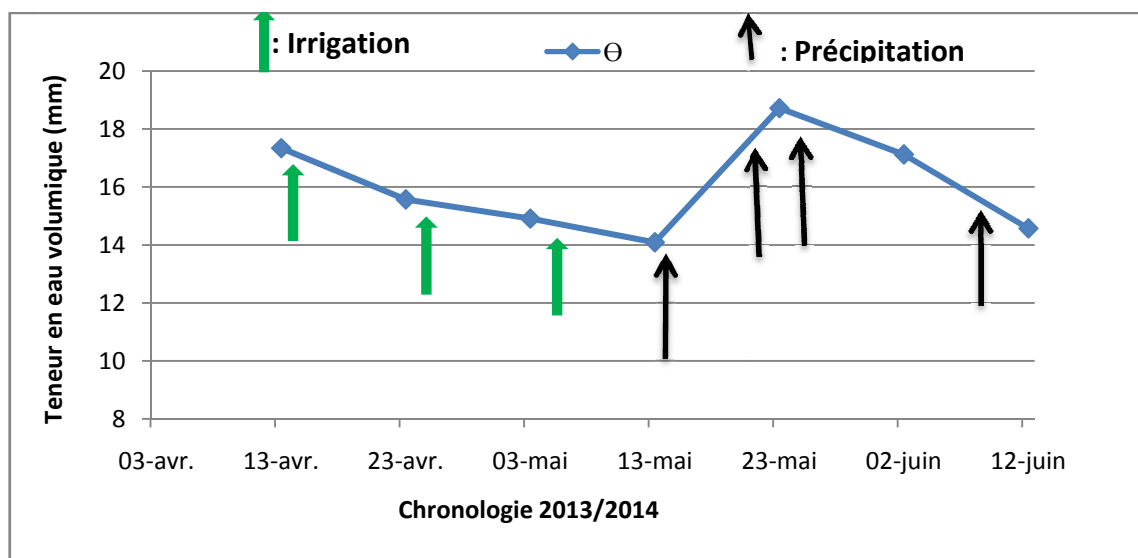


Figure 4. Variation de la teneur en eau volumique (θ_v) du sol en fonction des apports de précipitations et d'irrigation durant la saison de croissance 2013/2014.

Il est à noter que durant les premiers stades de développement, c'est-à-dire les deux stades ; levée et tallage-début montaison, les hauteurs de pluies enregistrées jusqu'au 13/04/2014 de l'ordre de 161mm avaient suffisamment satisfait les besoins en eau des génotypes cultivés, assurant le maintien d'un bilan hydrique positif du sol.

Notons aussi qu'au stade montaison-épiaison s'étalant du 13/04/2014 jusqu'au 26/04/2014, date du début épiaison, la hauteur de pluie tombée était de 0.8mm marquant un déficit flagrant en l'humidité du sol et nécessitant deux applications d'irrigation de 15mm chacune, une première apportée le 14/04/2014 au stade montaison au premier nœud détectable (Z31) et la deuxième le 24/04/2014 toujours au stade montaison (extension de la tige) du deuxième nœud détectable à l'apparition de la ligule de la feuille étandard sur 50% des tiges (Z32-Z39).

De la date du 26/04/2014, marquant le début du stade épiaison, jusqu'au 03/05/2014, jour de pleine floraison, une période durant laquelle nous n'avons enregistrés aucune précipitation (00mm). De ce fait, l'application d'une irrigation de 20mm à la date du 04/05/2014, correspondant au stade floraison lorsque les anthères sont visibles sur 50% des épis (Z65-Z69), s'est avérée nécessaire.

A partir du 13/05/2014, début du stade remplissage jusqu'à la fin Mai, nous avons enregistré un cumul de précipitation atteignant 60.8mm, épargnant ainsi l'application de toute irrigation et conservant un sol bien humidifié.

2.2. Etat hydrique du sol durant la campagne 2014/2015

Pour le même principe et les mêmes conditions d'expérimentation, à savoir les dimensions des parcelles élémentaires et les profondeurs de prélèvement, sus-décrites pour la campagne agricole précédente, le suivi de l'humidité du sol fut réalisé pour la deuxième campagne agricole 2014/2015.

La figure 5 (ci-dessous), illustre la variation de la teneur en eau pondérale (θ_m) du sol pour les trois profondeurs de mesure à des points de prélèvement choisis arbitrairement tout au long du cycle végétatif de la plante étudiée.

La plus faible valeur de la teneur en eau pondérale (θ_m) du sol, aux points de prélèvements représentés par la pondération des trois profondeurs, a été de l'ordre de 12.65% équivalente à une teneur en eau volumique (θ_v) de l'ordre de 14.17mm mesurée le 20/05/2015 date à laquelle nous avons apportés une irrigation de 40mm, cette irrigation a été suivie le soir même d'un événement orageux, ce qui a permis d'enregistrer une nette augmentation de l'humidité du sol (Figure5).

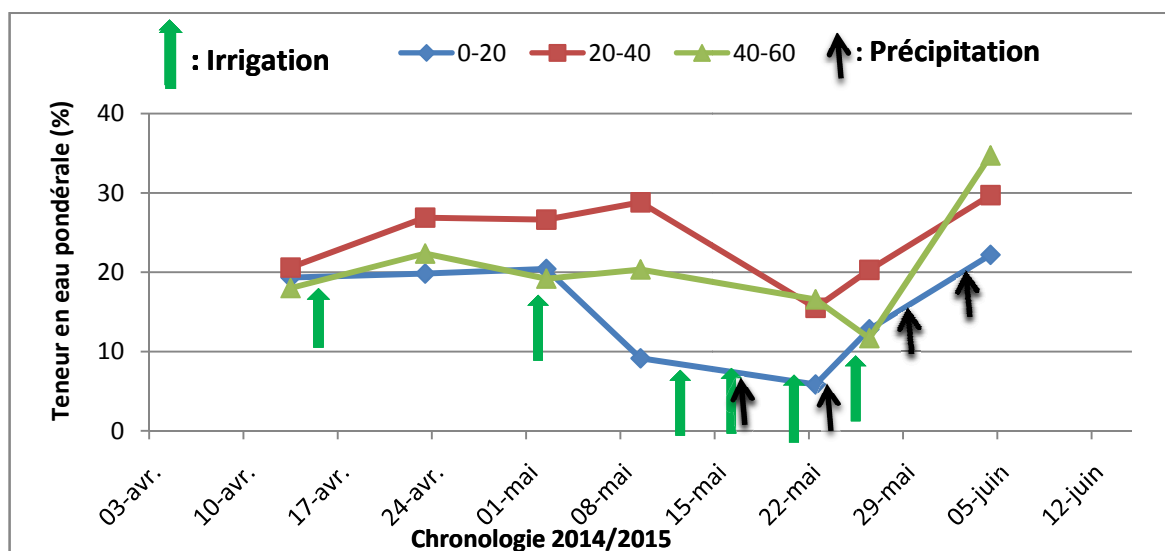


Figure 5. Variation de la teneur en eau pondérale (θ_m) du sol en fonction des apports de précipitations et d'irrigation durant la saison de croissance 2014/2015.

- 1 : Irrigation au stade début montaison correspondant à (Z31) effectué le 15/04/2015.
- 2 : Irrigation au stade montaison correspondant à (Z32-Z39) effectué le 02/05/2015.
- 3 : Irrigation au stade floraison correspondant à (Z65-Z69) effectué le 11/05/2015.
- 4 : irrigation au stade floraison correspondant à (Z65-Z69) effectué le 16/05/2015.
- 5 : irrigation au stade remplissage correspondant à (Z70-Z79) effectué le 20/05/2015.
- 6 : irrigation au stade remplissage correspondant à (Z70-Z79) effectué le 26/05/2015.

A partir de la fin Mai, les pluies orageuses tombées au de-là de cette date ont effectivement contribuées à l'accroissement de l'humidité du sol (Figures 5, 6), quoique les plantes matures, au stade remplissage pâteux, avaient déjà pallié la dernière phase du cycle végétatif sensible au manque d'eau. En effet, ce stade de maturation marqué par l'accumulation de l'amidon est peu exigeant en humidité du sol (Soltner, 2012).

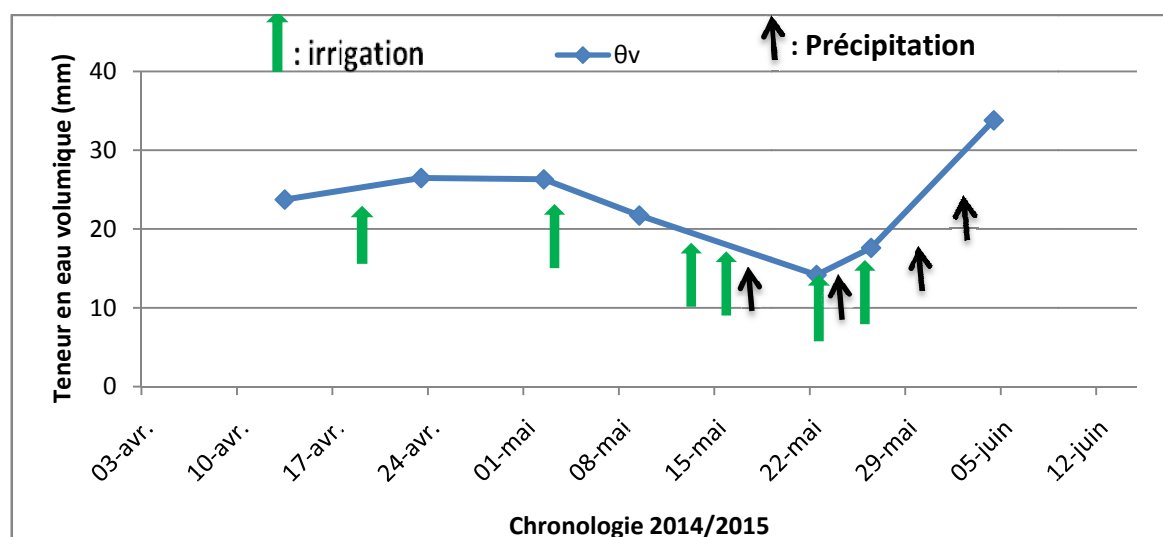


Figure 6. Variation de la teneur en eau volumique (θ_v) du sol en fonction des apports de précipitations et d'irrigation durant la saison de croissance 2014/2015.

Il est à signaler que les pluies enregistrées durant les premiers stades de développement jusqu'au début montaison à la date du 14/04/2015, fussent de l'ordre de 242mm et avaient suffisamment satisfait les besoins en eau des géotypes cultivés, maintenant un bilan hydrique positif du sol.

Au cours des deux stades phénologiques successifs montaison et épiaison, coïncidant avec la période la moins arrosée de la campagne, où la hauteur totale de pluie enregistrée était de 5.5mm pour le mois d'Avril et la première quinzaine de Mai (figure2), le sol était relativement desséché (figures 5 et 6) ce qui a nécessité l'application d'une première irrigation de 15mm apportée le 15/04/2015 au stade montaison à 1 nœud détectable (Z31) puis une deuxième irrigation de 20mm apportée le 02/05/2015, toujours au même stade d'extension de la tige (Z32-Z39).

Une troisième irrigation de 30mm a été appliquée, le 11/05/2015, juste en pré-anthèse suivie d'une quatrième irrigation de 30mm appliquée le 16/05/2015. Enfin deux irrigations, de 40mm chacune, ont été appliquées au stade remplissage-grain laiteux (Z70-Z79) le 20/05/2015 et le 26/05/2015 consécutivement. Totalisant ainsi un apport global de 145mm d'eau d'irrigation. En effet, Bouthier et *al.* (2012) estiment la consommation

globale d'eau sur les différentes périodes du cycle du blé tendre cultivé dans le semi aride nord du bassin méditerranéen, du stade 1cm à la maturité du grain, autour de 400-450mm.

3. Caractéristiques agronomiques et d'appréciation au champ

3.1. Nombre de Plantes par unité de surface

3.1.1. Nombre de Plantes par unité de surface 2013/2014

L'analyse de la variance du nombre de plantes au mètre carré (NP/m²), présentée dans le tableau 7, indique un effet génotype non significatif, d'autant qu'il en est pour l'effet régime d'irrigation (P>0.05).

Tableau 7. Analyse de la variance du nombre de plantes par unité de surface 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	3078,583	1539,292	1,575	0,218
Régime d'irrigation (I)	5	2203,292	440,658	0,451	0,810
Génotype (G)	3	537,375	179,125	0,183	0,907
I×G	15	12307,875	820,525	0,840	0,631
Résiduelle	46	44952,750	977,234		
Total	71	63079,875			

Pour tous traitements confondus, les valeurs moyennes du NP/m² varient de 191.67 unités pour la variété Djanet à 199.33 unités pour la variété Hidhab (Figure 7). L'ensemble oscille autour d'une moyenne générale de 195.21unités. Réussissant un taux de germination de 78% (195/250 graines), qui est fortement acceptable, relativement au scénario de sécheresse très contrasté enregistré au début du cycle de croissance.

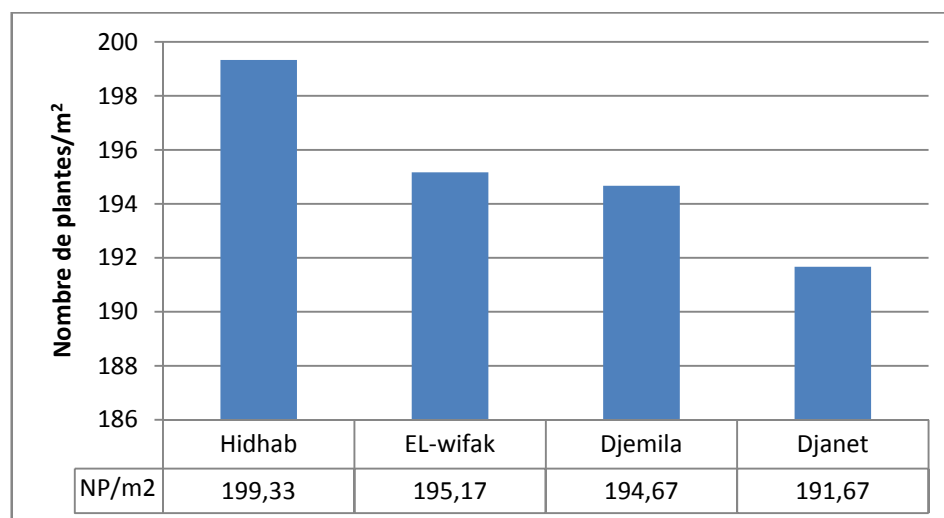


Figure 7. Nombre de plantes par unité de surface 2013/2014

Autrement expliqué et dans des conditions de germination ‘idéales’, excluant la capacité germinative réelle spécifique à chaque génotype, nous constatons que le déficit hydrique du sol de Septembre et Novembre a causé la perte de presque 20% des graines semis.

3.1.2. Nombre de plantes par unité de surface 2014/2015

De même, l’analyse de la variance du nombre de plantes au mètre carré (NP/m²), présentée dans le tableau 8, indique un effet génotype non significatif, d’autant qu’il en est pour l’effet régime d’irrigation (P>0.05).

Tableau 8. Analyse de la variance du nombre de plantes par unité de surface 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	3915,861	1957,931	4,595	0,015
Régime d’irrigation (I)	5	1491,944	298,389	0,700	0,626
Génotype (G)	3	621,944	207,315	0,487	0,693
I×G	15	2561,389	170,759	0,401	0,972
Résiduelle	46	19599,472	426,075		
Total	71	28190,611			

Pour l’ensemble des traitements, les valeurs moyennes du NP/m² varient de 163.45 unités pour la variété El-wifak à 169.89 unités pour la variété Hidhab (Figure 8). L’ensemble autour d’une moyenne générale de 166.87unités avec un déclin de 14.52% par rapport au résultat de l’année précédente 2013/2014. Ainsi le taux de germination de 66.80% (167/250 graines) est relativement acceptable.

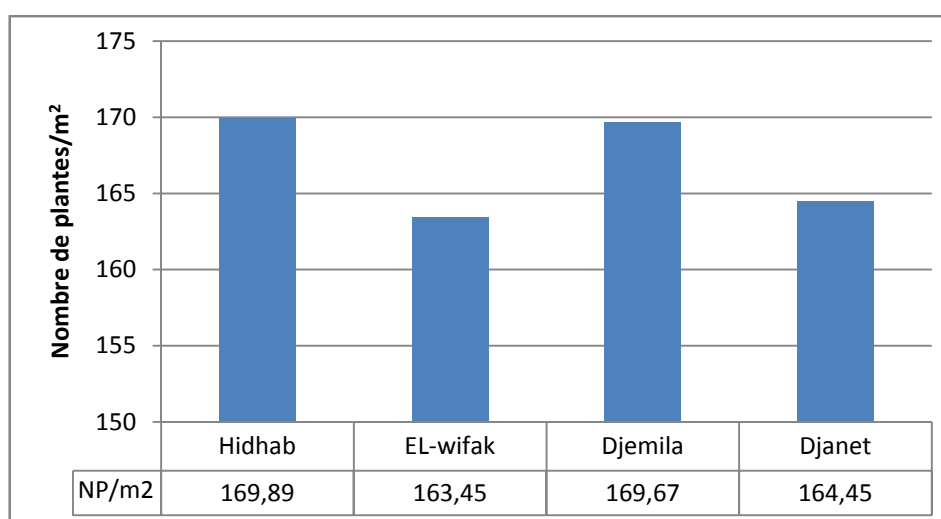


Figure 8. Nombre de plantes par unité de surface 2014/2015

Ce déclin est probablement dû aux conditions de mise en place de l'essai, en effet juste après le semi, une pluie de forte intensité (30mm) s'est abattue sur le site causant un ruissellement qui a non seulement détérioré la stabilité structurale du lit de semence mais a également provoqué la désagrégation (réduction de la cohésion entre les agrégats du sol sous l'effet des gouttelettes de pluie) et la consolidation de la couche superficielle des parcelles élémentaires les plus touchées. Sous de telles conditions, la texture du lit de semence à dominance argileuse (Annexe 3), caractérisée par sa forte cohésion et son importante rétention en eau, aurait causée l'asphyxie d'une partie des graines semées suite à la formation de croute de battance, ce qui a contribué à abaisser le taux de germination des graines semées (33% de perte) et, par conséquent, décroître les performances agronomiques qui s'ensuivront en comparaison avec la première année.

3.2. Nombre de talles par unité de surface

3.2.1. Nombre de talles par unité de surface 2013/2014

L'analyse de la variance du nombre de talles au mètre carré (NT/m²) indique un effet génotype hautement significatif (P=0.007) (Tableau 9). Ceci suppose la présence de différences génotypiques parmi les quatre variétés évaluées pour ce paramètre.

Tableau 9. Analyse de la variance du nombre de talles par unité de surface 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	42126,778	21063,389	2,202	0,122
Régime d'irrigation (I)	5	37792,944	7558,589	0,790	0,562
Génotype (G)	3	130884,167	43628,056	4,561	0,007
I×G	15	88010,833	5867,389	0,613	0,849
Résiduelle	46	439987,889	9564,954		
Total	71	738802,611			

Pour l'ensemble de tous les traitements, les valeurs moyennes du NT/m² varient de 556.00 unités pour la variété Djemila à 658.67unités pour la variété Hidhab (Figure 9), prenant la même tendance des résultats du premier paramètre sus-discuté. L'ensemble des valeurs balance autour d'une moyenne générale de 608.14unités.

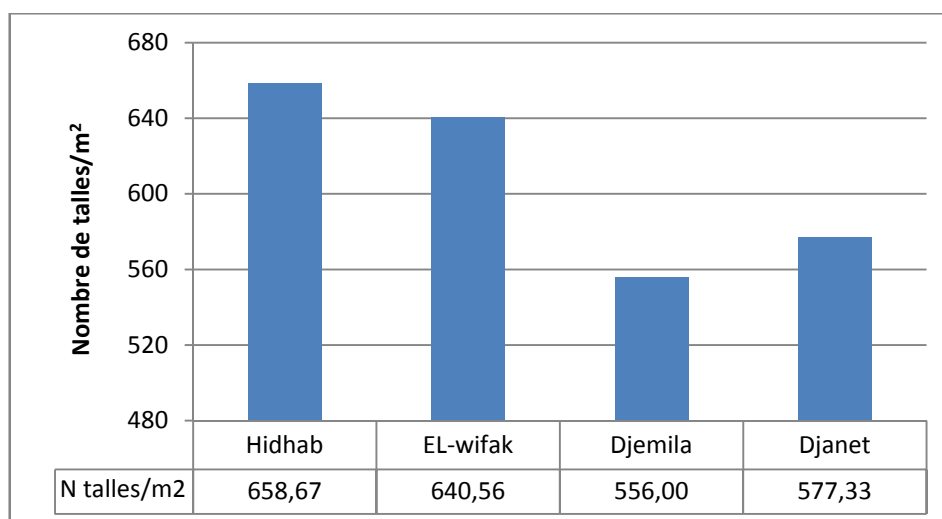


Figure 9. Nombre de talles par unité de surface 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 65.20 unités marquant la présence de deux groupes de génotypes aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué par le cultivar Hidhab dont la valeur moyenne est de 658.67unités. Le second groupe est représenté par la variété Djemila avec une valeur moyenne de 556.0 unités.

3.2.2. Nombre de talles par unité de surface 2014/2015

L'analyse de la variance du nombre de talles au mètre carré (NT/m²) indique un effet génotype hautement significatif (P=0.002), (Tableau10). Ce ci implique la présence de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées pour ce paramètre.

Tableau 10. Analyse de la variance du nombre de talles par unité de surface 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	106398,028	53199,014	6,780	0,003
Régime d'irrigation (I)	5	130540,444	26108,089	3,327	0,21
Génotype (G)	3	136078,278	45359,426	5,781	0,002
I×G	15	72504,556	4833,637	0,616	0,846
Résiduelle	46	360949,972	7846,739		
Total	71	806471,278			

Pour l'ensemble des traitements, les valeurs moyennes du NT/m² varient de 575.78unités pour la variété El-wifak à 963.34unités pour la variété Hidhab (Figure10), suivant la même tendance (continuité) des résultats obtenus pour le nombre de plantes par unité de surface. L'ensemble gravite autour d'une moyenne générale de 635.31unités

avec un rabattement de 9.44% par rapport à la moyenne de l'année précédente 2013/2014.

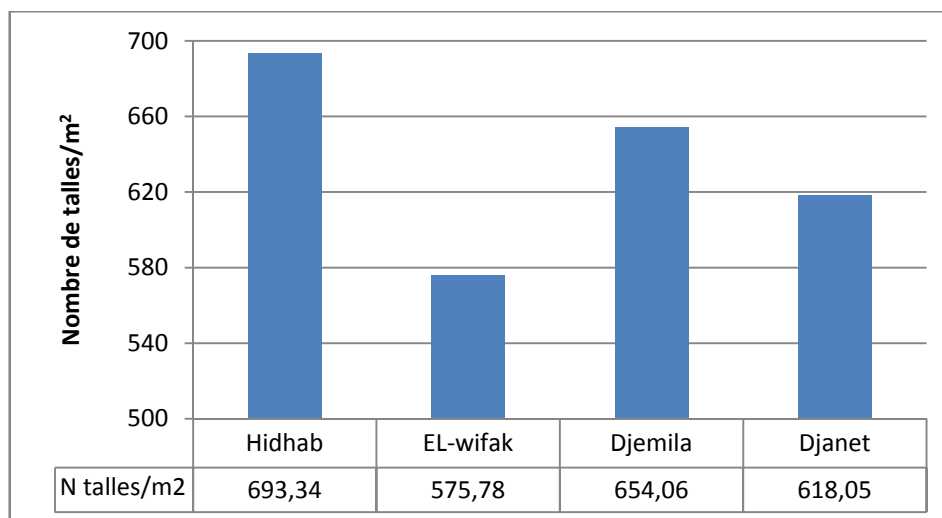


Figure 10. Nombre de talles par unité de surface 2014/2015

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 59.06 unités marquant la présence de deux groupes de variétés aux comportements complètement différents. Le premier groupe est constitué de la variété Hidhab dont la valeur moyenne est de 693.34 unités. Le second groupe est représenté par la variété EL-wifak avec une valeur moyenne de 575.78 unités.

Plus particulièrement en première année, la période de faible pluviosité survenue à partir de la mi-février 2014 (Figure1), caractérisée par une faible hauteur pluviométrique de 16.9mm et coïncidant avec le début tallage, a fait surgir l'effet génotype parmi les quatre variétés testées. Le cultivar Hidhab, dominant le nombre de plantes par unité de surface, s'est montré plus adapté aux conditions climatiques locales comparativement aux deux génotypes introduits avec un écart moyen de 18% de la variété Djemila. D'après Debaeke et *al.* (1996), cela peut également affecter largement le nombre d'épi par unité de surface. En effet, le stress hydrique au stade tallage stoppe l'émission de talles et réduit la croissance des talles déjà formées (El Hafid et *al.*, 1998b ; Soltner, 2012). En plus, l'épuisement rapide de la réserve hydrique du sol limite la longueur et le volume des racines secondaires, principalement dans les couches plus profondes du sol, réduisant ainsi leur accessibilité à l'eau disponible dans les couches plus profondes. Selon Bouthier et *al.* (2012), les racines peu profondes font accroître la sensibilité de la plante au déficit hydrique lors des stades de croissance ultérieurs et causent une réduction du rendement potentiel difficilement compensable même avec l'irrigation.

3.3. Nombre d'épi par unité de surface

3.3.1. Nombre d'épi par unité de surface 2013/2014

L'analyse de la variance du nombre d'épi au mètre carré (NE/m²) indique un effet génotype hautement significatif (P=0.001) tandis que l'effet régime d'irrigation est non significatif (Tableau11). Ceci implique la présence de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées pour ce paramètre.

Tableau 11. Analyse de la variance du nombre d'épi par unité de surface 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	2651,194	1325,597	0,491	0,615
Régime d'irrigation (I)	5	7358,736	1471,747	0,545	0,741
Génotype (G)	3	53004,375	17668,125	6,539	0,001
I×G	15	49354,875	3290,325	1,218	0,293
Résiduelle	46	124285,472	2701,858		
Total	71	236654,653			

Les valeurs moyennes du NE/m² varient de 266 unités pour la variété Djanet sous régime d'irrigation SII à 440 unités pour la variété Hidhab sous régime pluvial SIO (Figure11). L'ensemble fluctue autour d'une moyenne générale de 346.93 épi/m².

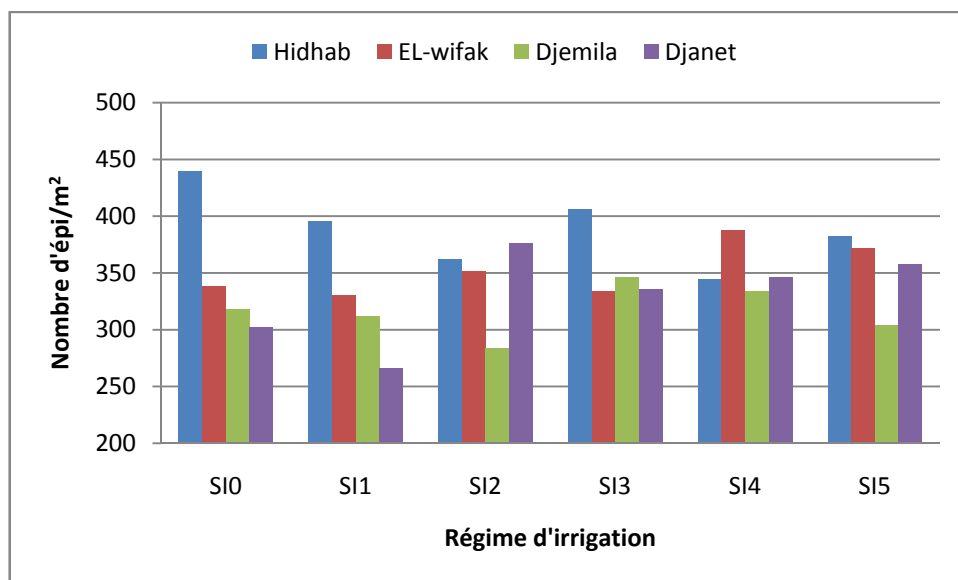


Figure 11. Nombre d'épi par unité de surface 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 34.65 unités. Les variétés testées forment trois groupes bien distincts dont les moyennes du NE/m² sont significatives. Le premier groupe est constitué par le cultivar Hidhab dont la valeur moyenne est de 388.3 unités. Le second groupe constitué de la variété El-Wifak

avec une valeur moyenne de 352.39 unités. Le troisième groupe formé de la variété Djemila avec une valeur moyenne de 316.33 unités.

3.3.2. Nombre d'épi par unité de surface 2014/2015

L'analyse de la variance du nombre d'épi au mètre carré (NE/m²), illustrée dans le tableau 12, n'indique aucune différences significatives pour l'effet génotype, non plus pour l'effet régime d'irrigation (P>0.05).

Tableau 12. Analyse de la variance du nombre d'épi par unité de surface 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	11141,559	5570,780	1,651	0,204
Régime d'irrigation (I)	5	6828,767	1365,753	0,405	0,843
Génotype (G)	3	2232,871	744,290	0,221	0,882
I×G	15	9719,016	647,934	0,192	0,999
Résiduelle	44	148454,274	3373,961		
Total	69	178776,986			

Les valeurs moyennes du NE/m² varient de 242.33 unités pour la variété Djemila sous SI1 à 304.33 unités pour la variété Djanet sous régime SI5 (Figure12). L'ensemble tourne autour d'une moyenne générale de 271.22 unités.

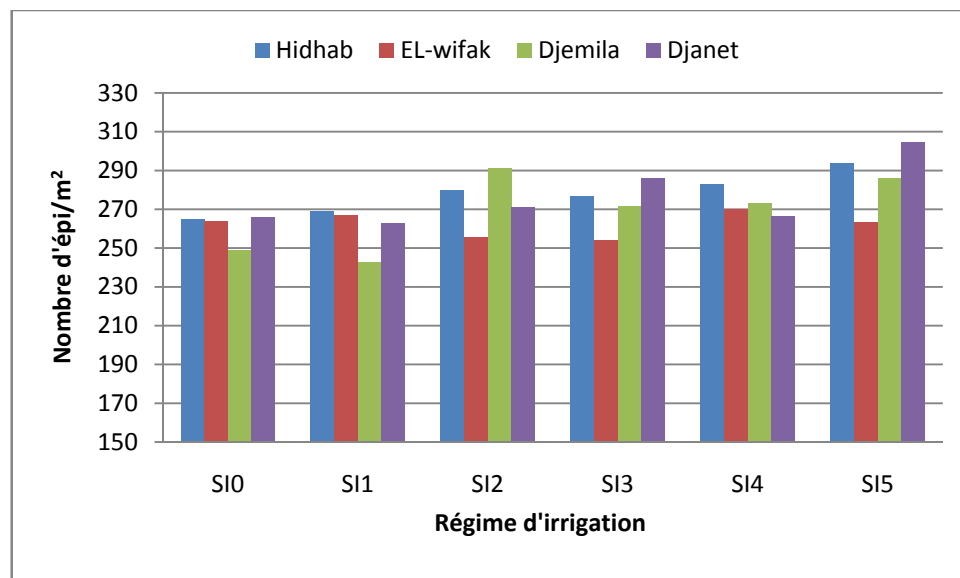


Figure 12: Nombre d'épi par unité de surface 2014/2015

Selon Soltner (2012), le nombre d'épi est conditionné par le nombre de talles-épi en croissance et par une bonne nutrition de la plante y compris la disponibilité en eau dans le sol, en effet Il est bien connu que le tallage-épi conditionne aussi le rendement et

que les événements de stress parvenus avant l'épiaison affectent directement le nombre et la taille des épis ce qui influencent le rendement grains par plante (Blum and Pnuel, 1990) ; Jalaluddine et *al.* (2009).

Durant la première année, où l'effet génotype était plus marquant, le génotype Hidhab qui a manifesté une bonne adaptabilité aux conditions pluviales a pu maintenir son avance par rapport aux autres génotypes et a marqué la plus forte moyenne en NE/m² (440unités), alors que les génotypes nouvellement introduits et par défaut de nombre réduit de talles par unité de surfaces (NT/m²) ont manifesté des valeurs plus faibles du même paramètre (NE/m²). Ce ci concordent avec les arguments avancées par Debaeke et *al.* (1996) et El Hafid et *al.* (1998) concernant l'effet du stress hydrique sur le nombre d'épi par unité de surface confirmant ainsi que la régression des talles pendant le début tallage peut également affecter grandement le nombre d'épi.

3.4. Nombre de grains par épi

3.4.1. Nombre de grains par épi 2013/2014

L'analyse de la variance du nombre de grains par épi (NG/E) indique un effet génotype significatif (P=0.027), bien que l'effet régime d'eau est hautement significatif (P=0.001), (Tableau13). Ceux-ci suggèrent la présence d'une part, de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part, de différences phénotypiques parmi les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 13. Analyse de la variance nombre grains par épi 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	6,333	3,167	0,080	0,923
Régime d'irrigation (I)	5	1014,000	202,800	5,147	0,001
Génotype (G)	3	394,778	131,593	3,340	0,027
I×G	15	176,556	11,770	0,299	0,993
Résiduelle	46	1812,333	39,399		
Total	71	3404,000			

Les valeurs moyennes du nombre de grains par épi varient de 39.67 unités pour la variété Hidhab sous régime pluvial (SI0) à 59.33 unités pour la variété Djanet sous régime SI5. L'ensemble oscille autour d'une moyenne générale de 49.50 unités (Figure13).

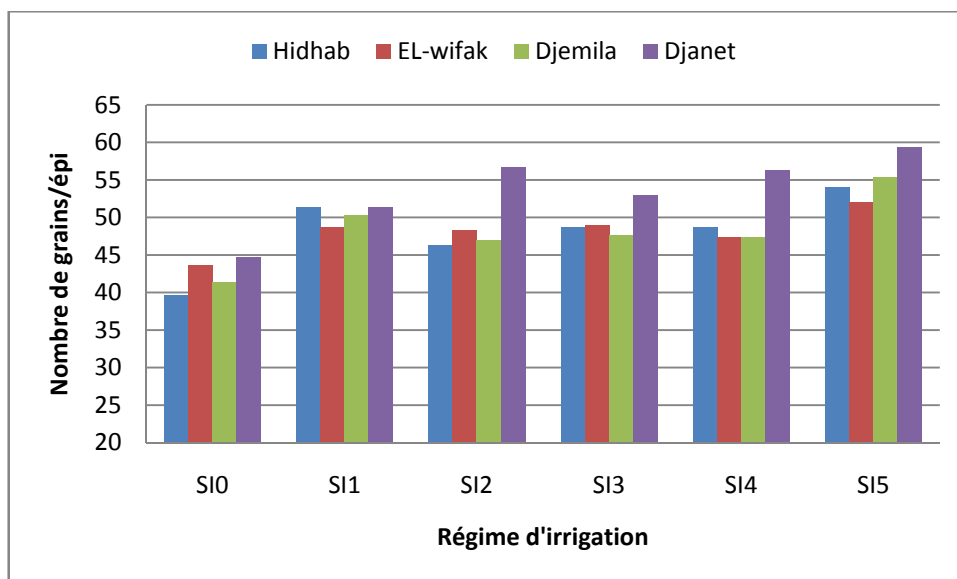


Figure 13. Nombre de grains par épi 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 5.13 unités déterminant la présence de trois groupes aux comportements différents. Le premier groupe est constitué par le régime d'irrigation SI5 avec une valeur moyenne de 55.17 unités. Le deuxième groupe est composé par les trois régimes d'irrigation SI1, SI2, SI3 et SI4 avec des valeurs moyennes respectives de 50.42, 49.58, 48.59 et 49.92 unités. Le troisième groupe par le régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 42.34 unités.

Parallèlement, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 4.19 unités indiquant la présence de deux groupes de variétés aux comportements différents. Le premier groupe est constitué du génotype Djanet avec une valeur moyenne de 53.56 unités et un deuxième groupe formé des trois génotypes Hidhab, EL-wifak et Djemila avec une valeur moyenne de l'ordre de 48.1 unités.

3.4.2. Nombre de grains par épi 2014/2015

L'analyse de la variance du nombre de grains par épi (NG/E), indique un effet régime d'irrigation significatif ($P=0.047$) alors que l'effet génotype est non significatif (Tableau 14). Ce ci suggère la présence de différences phénotypiques entre les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 14. Analyse de la variance du nombre de grains par épi 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	86,925	43,463	1,788	0,180
Régime d'irrigation (I)	5	300,073	60,015	2,469	0,047
Génotype (G)	3	64,295	21,432	0,882	0,458
I×G	15	223,167	14,878	0,612	0,849
Résiduelle	43	1045,408	24,312		
Total	68	1707,072			

Les valeurs moyennes du NG/E varient de 27.33 unités pour la variété Djanet sous régime pluvial (SI0) à 39.67 unités pour la même variété sous SI5 (Figure 14). La totalité balance autour d'une moyenne générale de 33.56 unités.

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 4.03 unités (Tableau10) déterminant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué par le régime d'irrigation SI5 avec une valeur moyenne de 37.0 unités. Le deuxième groupe est composé, en plus du régime pluvial (SI0), par les régimes d'irrigation SI1, SI2 et SI3 dont les valeurs moyennes variaient de 31.34 à 32.82 unités.

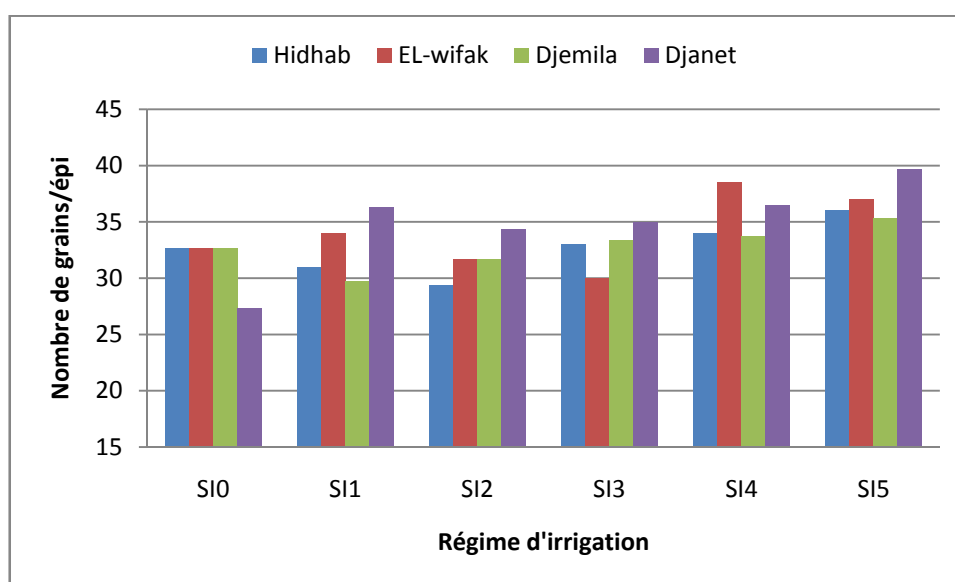


Figure 14. Nombre de grains par épi 2014/2015

Selon Jalaluddine et *al.* (2009), il est bien connu que le stress hydrique avant l'anthèse a une influence sur les caractéristiques de l'épi (le nombre et la taille), affectant le nombre de grains par épi ce qui influence le rendement en grains par plante. En effet,

le nombre de grains par épi s'est nettement amélioré avec l'application des irrigations aux deux stades montaison à 1 nœud (Z31) pour les deux régimes SI2 et SI5, et à 2 nœuds jusqu'à apparition de la ligule de la feuille étendard (Z32-Z39) pour les régimes SI1, SI3, SI4 et SI5 et bien ultérieurement au stade floraison (Z65-Z69) pour les deux régimes SI4 et SI5, faisant ainsi distinguer le régime SI5 qui s'est montré plus efficace pour la production de grains par épi avec un écart moyen de 30.30% et 18% par rapport au régime pluvial (SI0) consécutivement pour les deux années d'expérimentation.

Soulignons aussi que l'irrigation en phase pré-anthèse, uniquement pour le régime SI1, avait amélioré le nombre de grains par épi (NG/E) de 13% en moyenne pour toute l'expérimentation (19% pour la première année et 6% pour la deuxième année) et d'autant plus pour le reste des régimes d'irrigation en comparaison avec le régime pluvial. Cela concorde avec Saini et Aspinall (1982), Jalaludine et *al.* (2009) et Nguyen et *al.* (2010) qui ont constaté qu'en phase de l'anthèse, les cellules mères de pollen sont plus sensibles au stress hydrique pendant la méiose, et que l'apparition d'un déficit hydrique au cours de cette phase provoquerait la mort des jeunes fleurs (fleurons) ce qui réduit considérablement la formation de grains suite à la stérilité masculine. Cette réduction de la fertilité due au stress hydrique est l'une des causes de la réduction du rendement en grains par plante (Sakumona et *al.* 2014).

Signalons de même, que la variabilité de ce paramètre n'était pas significativement différente entre les quatre régimes SI1, SI2, SI3 et SI4, bien qu'elle fût distincte entre ce groupe et le régime pluvial SI0. Des résultats similaires ont été rapportés par Waraich et *al.* (2007), Gull et *al.* (2012) et Karamanos et *al.* (2012) qui ont signalé une diminution du nombre de grains par épi lorsque la disponibilité de l'eau a été réduite avec le stress hydrique, alors que Khamssi et Najaphy (2012), Savic et *al.* (2012) et Guendouz et *al.* (2012) n'avaient trouvé aucune différence.

Ajoutons aussi, qu'en stade floraison au début du mois de Mai, les températures maximales de l'air étaient supérieures à la température optimale, selon Bouthier et *al.* (2012), pour le blé (23°C). À priori cela a dû provoquer un stress thermique auquel les plantes, dont les graines semées en début Décembre, ont été soumises. Ce phénomène aurait pu avoir réduit le nombre de grains par épi, comme ça a été expliqué par French et Schultz (1979) et Stapper et Harris (1989) concernant les cultures semées tardivement.

Le génotype Djanet a manifesté une remarquable performance pour ce paramètre en réponse à l'application de l'irrigation d'appoint aux stades cibles puisqu'il part d'une plus faible moyenne de 27.33 unités sous régime pluvial (SI0), en allure progressivement

croissante, jusqu'à une moyenne maximale de 39.67unités sous le régime le plus favorablement irrigué (SI5), dévoilant probablement une bonne aptitude à conserver un potentiel hydrique élevé, par lequel il arrive à maintenir une forte turgescence tissulaire lui permettant de produire plus de grains même sous stress hydrique. Ce qui concorde avec Morgan et Condon (1986) qui ont trouvé une relation positive entre la formation des grains et le maintien de la turgescence et ils ont conclu que les génotypes à faible maintien de turgescence produisaient moins de grains.

3.5. Nombre de grains par unité de surface

3.5.1. Nombre de grains par unité de surface 2013/2014

L'analyse de la variance du nombre de grains au mètre carré (NG/m²) indique un effet génotype significatif (P=0.02) autant qu'il en est pour l'effet régime d'irrigation (P=0.03) (Tableau 15). Ceux ci impliquent la présence, d'une part de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part de différences significatives parmi les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 15. Analyse de la variance du nombre de grains par unité de surface 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	10661872,694	5330936,347	0,495	0,613
Régime d'irrigation (I)	5	147354685,736	29470937,147	2,736	0,030
Génotype (G)	3	116519042,375	38839680,792	3,606	0,020
I×G	15	165069045,875	11004603,058	1,022	0,431
Résiduelle	46	495473951,972	10771172,869		
Total	71	935078598,653			

Les valeurs moyennes du NG/m² varient de 13152 unités pour la variété Djemila sous régime pluvial (SI0) à 21494 unités pour la variété Djanet sous SI2 (Figure15). L'ensemble oscille autour d'une moyenne générale de 17144,18 grains/m².

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 2679.70 unités témoignant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements bien différents. Le premier groupe est constitué par le régime d'irrigation SI5 avec une valeur moyenne de 19429.50 unités et le deuxième groupe par le régime pluvial SI0 avec une valeur moyenne de 14697.50 unités.

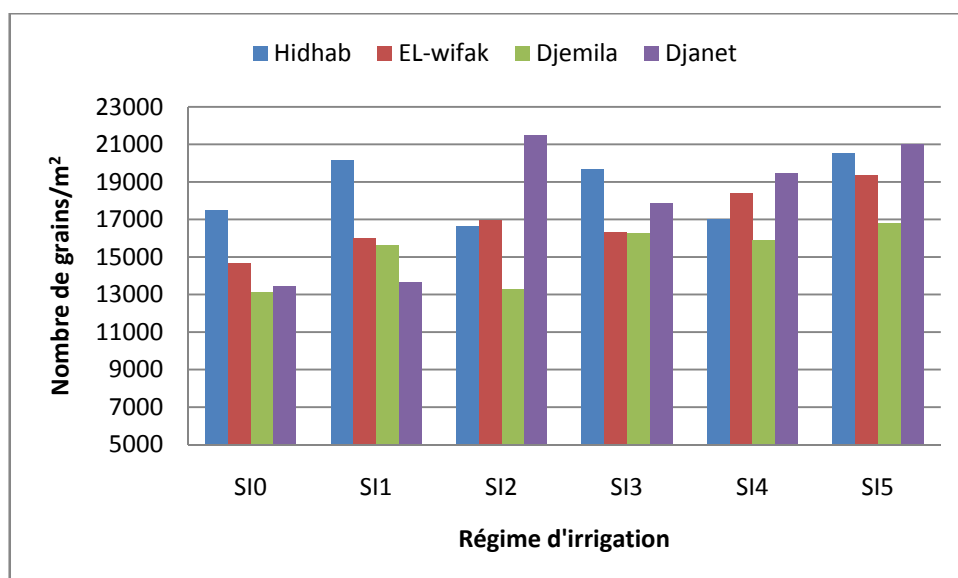


Figure 15. Nombre de grains par unité de surface 2013/2014

Conjointement, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 2187.96 unités indiquant la présence de deux groupes de variétés aux comportements différents. Le premier groupe est composé des deux variétés Djanet et Hidhab avec deux valeurs moyennes de 17838.33 et 18597.0 unités respectivement. Le deuxième groupe est constitué du cultivar Djemila dont la moyenne est de 15183.0 unités.

3.5.2. Nombre de grains par unité de surface 2014/2015

L'analyse de la variance du nombre de grains au mètre carré (NG/m²), présentée dans le tableau 16, indique un effet génotype non significatif, d'autant qu'il en est pour l'effet régime d'irrigation (P>0.05).

Tableau 16. Analyse de la variance du nombre de grains par unité de surface 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	43933887,034	21966943,517	4,432	,018
Régime d'irrigation (I)	5	45656251,033	9131250,207	1,842	0,125
Génotype (G)	3	8939710,833	2979903,611	0,601	0,618
I×G	15	26114836,813	1740989,121	0,351	0,984
Résiduelle	43	213137769,466	4956692,313		
Total	68	338185072,203			

Les valeurs moyennes du NG/m² varient de 7128 unités pour la variété Djemila sous régime d'irrigation SI1 à 11848.33 unités pour la variété Djanet en SI5 (Figure16). L'ensemble autour fluctue autour d'une moyenne générale de 9158.69 grains/m².

Toutefois, la comparaison entre les moyennes, en utilisant le test de Fisher, a révélé la présence de différences significatives entre les régimes d'irrigation pour la variable mesurée. Ainsi la plus petite différence significative au seuil de 5% (Ppds5%) est de 1817.82 unités témoignant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements complètement différents. Le premier groupe est constitué par le régime d'irrigation SI5 avec une valeur moyenne de 10575.17 unités. Le deuxième groupe est formé par les trois régimes SI0 (régime pluvial), SI1 et SI2 dont les valeurs moyennes sont 8210.42, 8472.75 et 8913.50 grains/m² respectivement.

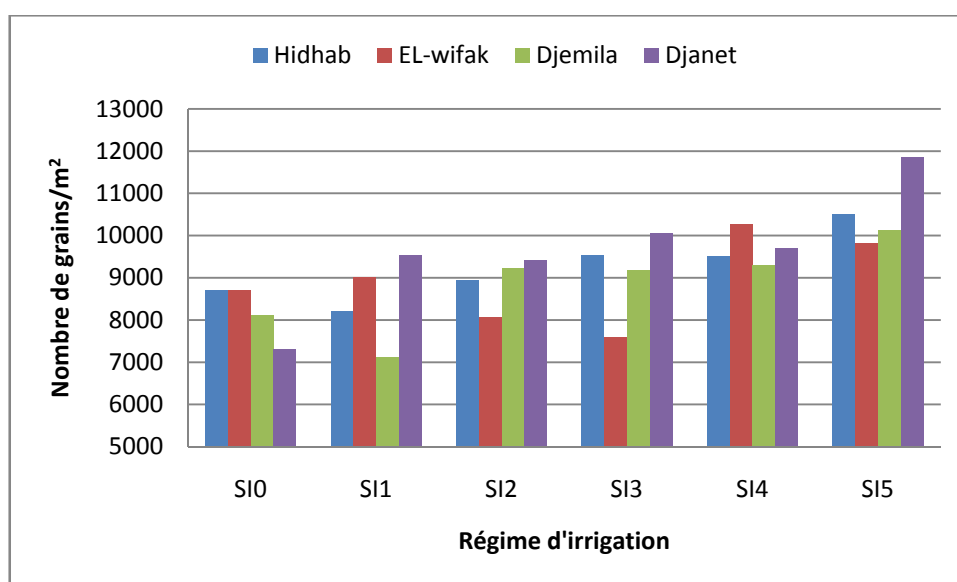


Figure 16. Nombre de grains par unité de surface 2014/2015

Au cours des deux années d'expérimentation, l'application du régime SI5 comprenant des irrigations aux trois stades repères Zadocks ; montaison à 1 nœud (Z31), montaison à 2 nœuds jusqu'à apparition de la ligule de la feuille étendard (Z32-39) et floraison (Z65-69) a contribué à l'amélioration de ce paramètre de 32% et 29% respectivement pour les deux années d'expérimentation en comparaison avec le régime pluvial SI0. Ceci aurait affecté, en conséquence, le rendement en grains. Ce résultat est bien appuyé par Ozturk et Aydin (2004), Brdar et *al.* (2006) et Bouthier et *al.* (2012) qui ont affirmé que les variations du rendement en grains dépendaient principalement du nombre de grains par unité de surface.

Principalement en première année d'expérimentation, le génotype Hidhab doté d'un considérable potentiel tallage-épiaison et bien perceptible à travers les deux paramètres déjà sus-discutés à savoir le NT/m² aussi bien que le NE/m², nous a permis d'enregistrer une valeur moyenne de 17486 unités sous conditions pluviales (SI0) locales.

De même, le génotype Djanet, a distinctement répondu à l'irrigation d'appoint à travers des valeurs moyenne de 21494 unités sous SI2 en première année et 11848 unités sous SI5 en deuxième année enregistrant des écarts moyens de l'ordre de 17% et 22% respectivement par rapport au génotype Djemila qui manifestait une fertilité d'épi relativement faible.

3.6. Poids de grains par épi

3.6.1. Poids de grains par épi 2013/2014

L'analyse de la variance du poids de grains/épi (PG/E), exprimée en unité de masse, indique un effet régime d'irrigation hautement significatif (P=0.005), alors que l'effet génotype est non significatif (Tableau 17). Ce résultat suggère la présence de différences phénotypiques parmi les six régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 17. Analyse de la variance du poids de grains par épi 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	0,410	0,205	1,692	0,195
Régime d'irrigation (I)	5	2,353	0,471	3,889	0,005
Génotype (G)	3	0,478	0,159	1,318	0,280
I×G	15	0,876	0,058	0,482	0,938
Résiduelle	46	5,566	0,121		
Total	71	9,682			

Les valeurs moyennes du poids de grain/épi varient d'une valeur minimale de 1.91g équitablement pour les trois variétés Hidhab, Djemila et Djanet sous régime pluvial (SI0) à une valeur maximale de 2.81g, moyenne de la variété Djanet, sous régime SI5 (Figure17). L'ensemble gravite autour d'une moyenne générale de 2.21g.

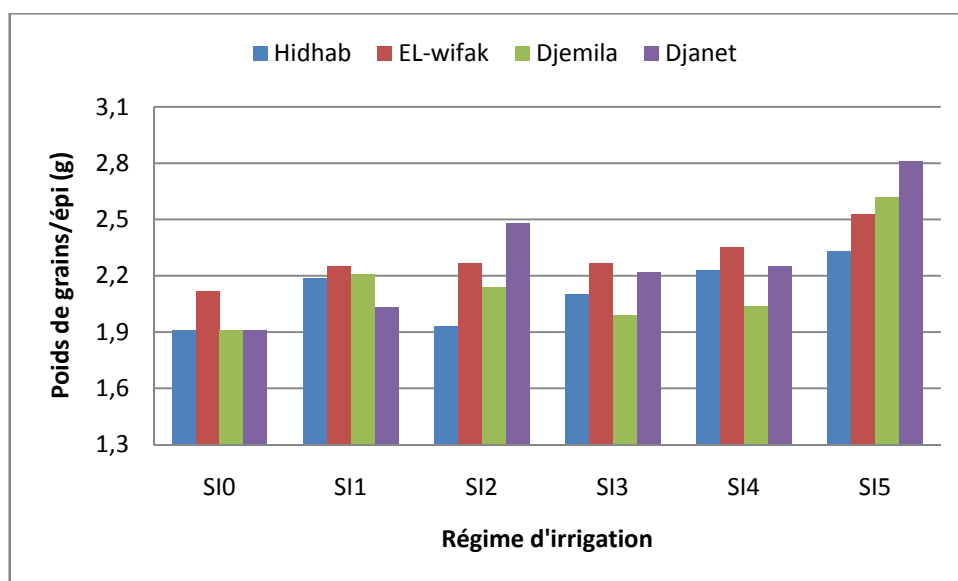


Figure17. Poids de grains /épi 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 0,284g marquant la présence de deux groupes de régimes d'irrigation qui, à travers leurs moyennes du poids de grains/épi, se comportent différemment. Le premier groupe est constitué du régime d'irrigation SI5 dont le poids des grains/épi est de 2.573g. Le second groupe est formé par les cinq régimes d'irrigation (y compris le régime pluvial) dont les moyennes déclinaient de 2.218g sous SI4 jusqu'à une valeur minimale de 1.963g sous régime pluvial (SI0).

3.6.2. Poids de grains par épi 2014/2015

L'analyse de la variance du poids de grains/épi indique un effet génotype très hautement significatif ($P < 0.001$) d'autant qu'il en est pour l'effet régime d'irrigation (Tableau 18). Ceux ci suggèrent l'existence, d'une part de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part de différences phénotypiques significatives parmi les régimes d'irrigation testés pour la production de gros grains.

Tableau18. Analyse de la variance du poids de grains par épi 14/15

Source de variation	Ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	0,928	0,464	4,196	0,021
Régime d'irrigation (I)	5	3,438	0,688	6,221	0,000
Génotype (G)	3	8,776	2,925	26,471	0,000
I×G	15	0,903	0,060	0,545	0,900
Résiduelle	45	4,973	0,111		
Total	70	18,657			

Les valeurs moyennes du poids de grain/épi varient d'une minimale de 0.88g pour la variété Hidhab sous régime pluvial (SI0) à une valeur maximale de 2.63g moyenne de la variété Djanet sous SI5 (Figure 18). L'ensemble tourne autour d'une moyenne générale de 1.867g.

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 0,222g marquant la présence de trois groupes de variétés, qui à travers leurs moyennes du poids de grains/épi significatives, se comportent différemment. Le premier groupe est constitué par la variété Djanet dont la moyenne du poids des grains/épi est de 2.329g. Le second groupe est formé par les deux variétés EL-wifak et djemila dont les valeurs moyennes sont, respectivement, de 1.925g et 1.868g. Finalement le troisième groupe représenté par la variété Hidhab dont la valeur moyenne est de 1.342g.

Parallèlement, La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 0.272g déterminant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué par le régime d'irrigation SI5 avec une valeur moyenne de 2.248g. Le deuxième groupe composé par les deux régimes SI1 et SI0 (régime pluvial) avec des valeurs moyennes de 1.654g et 1.631g respectivement.

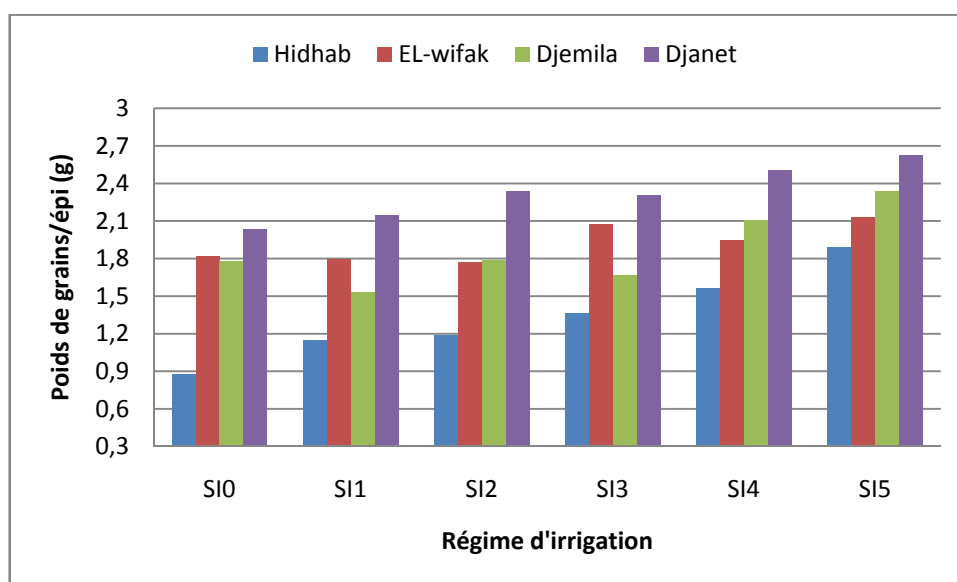


Figure 18. Poids de grains /épi 2014/2015

Le poids de grains/épi déterminé au stade de maturité à la fin du cycle végétatif, a révélé que l'application du régime d'irrigation SI5, qui s'est traduite par une disponibilité permanente et régulière d'une réserve en eau suffisante et optimale, a fait d'une part,

préserver la viabilité du pollen, l'implantation des graines et du taux de leur remplissage, et par conséquent, assuré l'apport nécessaire de glucides aux grains en cours de développement, et d'autre part contribué au développement d'une importante biomasse assurant une photosynthèse très active, plus spécialement durant la phase post-anthèse à travers la surface foliaire de la feuille étandard ; principale source d'une importante quantité d'assimilats mobilisables vers les grains des épillets. Cette approche résume dans sa synthèse les résultats avancés par Mishra et Mohapatra, (1987), Sheoran et Saini (1996) et Barnabás et *al.* (2008) et concorde avec Jalaluddine et *al.* (2009) et Kobata et *al.* (1992), qui en mettant l'ampleur du stress hydrique en évidence, ont démontré l'effet négatif du manque d'eau sur le poids des grains à travers une réduction de la photosynthèse en phase post-anthèse et de la quantité d'assimilats mobilisables. Par ailleurs, selon Zhang et *al.* (1998) subvenir une adéquate irrigation, à l'anthèse ou juste après cette phase, offre aux plantes un temps additionnel pour transférer les réserves aux grains. En effet, assurer une disponibilité suffisante en eau au stade floraison (Z65-Z69) permet aux assimilats, principalement les réserves de glucides, de migrer vers les fleurs nouvellement pollinies, ce qui permet de maintenir considérablement le nombre de grains par épi et d'améliorer le poids de grains par épi.

3.7. Poids de mille grains

3.7.1. Poids de mille grains 2013/2014

L'analyse de la variance du poids de mille grains (PMG), présentée dans le Tableau 19, indique un effet génotype significatif ($P=0.028$), alors que l'effet régime d'irrigation est non significatif. Ceci inspire la présence de différences génotypiques parmi les quatre variétés évaluées pour ce paramètre.

Tableau 19. Analyse de la variance du poids de mille grains 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	55,315	27,657	1,311	0,279
Régime d'irrigation (I)	5	182,953	36,591	1,734	0,146
Génotype (G)	3	210,386	70,129	3,324	0,028
I×G	15	165,513	11,034	0,523	0,914
Résiduelle	46	970,495	21,098		
Total	71	1584,662			

Les valeurs moyennes du PMG varient de 38.79g pour la variété Djanet sous régime pluvial (SI0) à 50.08g pour la variété El-wifak sous régime d'irrigation SI4 (Figure 19), l'ensemble balance autour d'une moyenne générale de 44.39g.

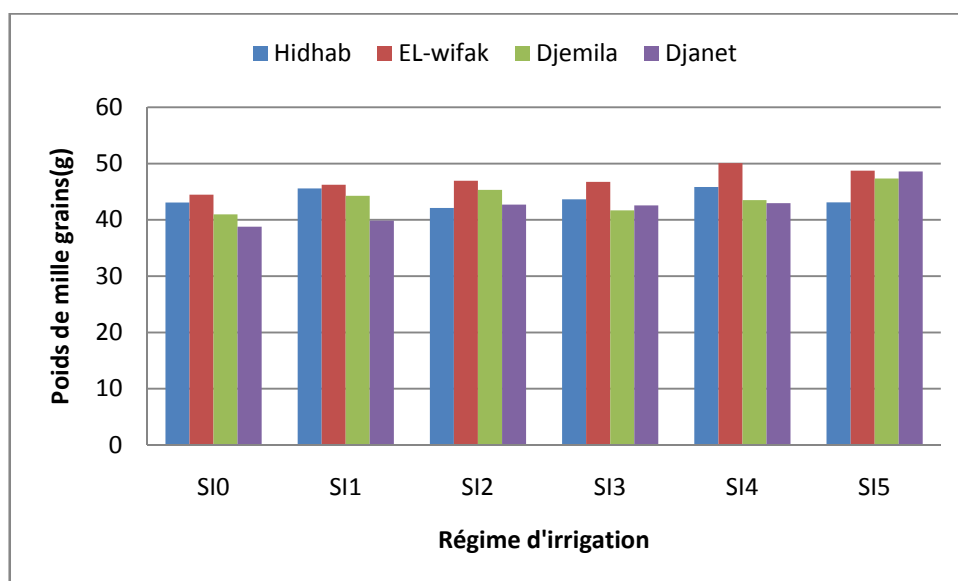


Figure19 : Poids de mille grains 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 3.06g. Ceci permet de distinguer deux groupes au comportement différent. Le premier groupe est constitué par la variété El-wifak qui présente une moyenne PMG, relativement considérable, de l'ordre de 47.20g. Le second groupe est composé des trois cultivars Djanet, Djemila et Hidhab qui sont relativement de poids moyen allant de 42.59g pour Djanet à 43.86g pour la variété Djemila.

Notons aussi, que malgré que l'effet du régime d'irrigation fut non significatif, la comparaison multiple entre les moyennes, en utilisant le test de Fisher, a révélé qu'il existait des différences significatives parmi les six régimes d'irrigation pour la variable mesurée et dont la plus petite différence significative au seuil de 5% (Ppds 5%) était de 3.75g déterminant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué par le régime d'irrigation SI5 avec une valeur moyenne de 46.95g. Le deuxième groupe composé par le régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 41.83g.

3.7.2. Poids de mille grains 2014/2015

L'analyse de la variance du poids de mille grains (PMG) indique un effet régime d'irrigation hautement significatif ($P=0.005$), alors que l'effet génotype est non

significatif (Tableau 20). Ce ci implique la présence de différences significatives entre les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 20. Analyse de la variance du poids de mille grains 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	28,017	14,009	3,389	0,046
Régime d'irrigation (I)	5	87,020	17,404	4,210	0,005
Génotype (G)	3	9,731	3,244	0,785	0,511
I×G	15	51,219	3,415	0,826	0,644
Résiduelle	33	136,411	4,134		
Total	58	319,728			

Les valeurs moyennes du PMG varient de 36.9g pour les deux variétés Djemila et Djanet sous régime pluvial (SI0) à 43.80g pour la variété Djanet sous régime d'irrigation SI5 (Figure 20). L'ensemble oscille autour d'une moyenne générale de 40.59g.

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 1.66g, témoignant la présence de trois groupes de régime d'irrigation aux comportements complètement différents. Le premier groupe est constitué par le régime d'irrigation SI5 avec une valeur moyenne de 42.13g. Le deuxième groupe est formé du régime d'irrigation SI2 dont la valeur moyenne est de 39.92g. Le troisième groupe est représenté par le régime pluvial SI0 avec une valeur moyenne de 38.13g.

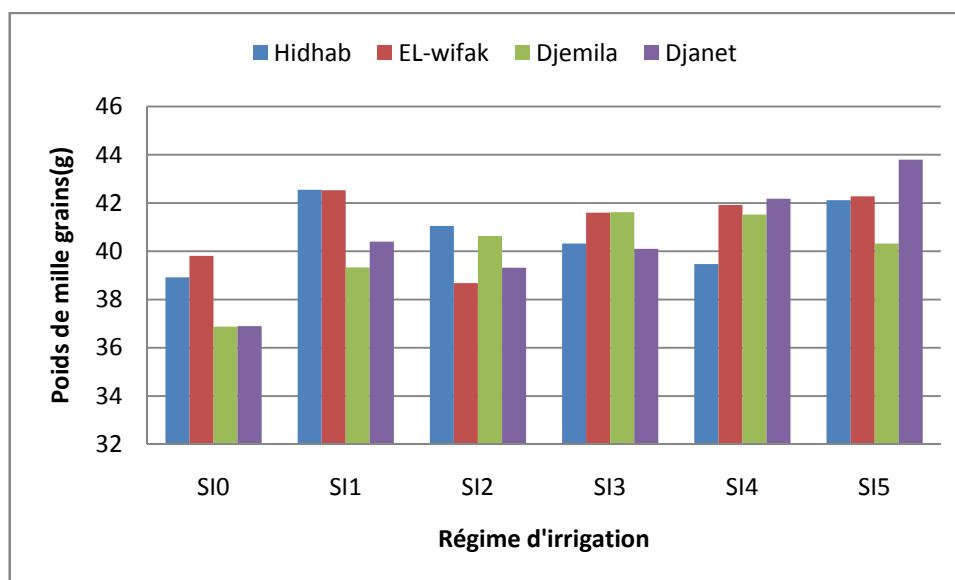


Figure 20. Poids de mille grains 2014/2015

Durant la première année d'expérimentation, et en comparaison avec le traitement pluvial (SI0), le poids de mille grains (PMG) ne s'était pas significativement amélioré suite à l'application des différents régimes d'irrigation. Cela peut être affecté aux

conditions climatiques, principalement à la chute, d'un cumul pluviométrique de 60.8mm durant la deuxième quinzaine du mois de Mai, dont les plus importantes sont de 20.8mm et 24.8mm enregistrées respectivement le 24/05/2014 et le 27/05/2014, qui ont parfaitement coïncidé avec la période de remplissage du grain. En effet, selon Bouthier et *al.* (2012), le poids de mille grains (PMG) est totalement dépendant des conditions d'alimentation hydrique post-floraison puisque c'est au cours de cette période que s'annonce la multiplication cellulaire et l'accroissement en taille des cellules qui composent les grains ; autrement dit, le PMG potentiel se détermine.

Sous conditions de la deuxième année d'expérimentation, les deux irrigations apportées ; au stade montaison (Z32-Z39) du deuxième nœud détectable à l'apparition de la ligule de la feuille étandard pour les régimes d'irrigation SI1, SI3 et SI4 et SI5, et au stade remplissage-grain laiteux (Z70-Z79) pour les trois régimes SI3, SI4 et SI5 ont significativement contribué à l'amélioration du PMG des géotypes testés à travers la disponibilité d'une alimentation suffisante en eau, élément vecteur de convection des assimilats dont le taux conditionnerait l'ampleur et l'allure de remplissage des grains sur épis. D'après Bouthier et *al.* (2012), comme ça été déjà avancé, la phase s'étalant de la floraison elle-même au stade grain-laiteux, est particulièrement sensible au stress hydrique car les processus d'élongation cellulaire requièrent de bons statuts hydriques pour maximiser la taille des futurs grains. En effet, Hopkins (2008) ajoute que, les excès de température, à cette période de croissance, peuvent fortement compromettre la multiplication cellulaire, de ce fait le rôle de l'eau comme « réfrigérant » des tissus est alors primordial. A cela Bouthier et *al.* (2012), rapportent qu'une photosynthèse active, à ce stade, permet de commencer à alimenter les nouveaux grains en amidon sans puiser déjà dans les réserves contenues dans les parties aériennes de la plante. En effet, plus la photosynthèse se prolonge, plus le PMG pourra être élevé.

En fin, l'irrigation apportée aux deux stades ; floraison (Z65-Z69) pour les deux régimes SI4 et SI5 et remplissage-grain laiteux pour les trois régimes SI3 SI4 et SI5 a fait prolonger le statut 'rester vert' « Stay- green » des géotypes testés qui, selon Mu et *al.* (2010), favorise la migration des assimilats photosynthétique pendant le remplissage. En effet ce statut offre un temps additionnel aux plantes pour transférer les réserves des organes source vers les grains ce qui améliore leur poids. Cela concorde avec Zhang et *al.* (1998) qui ont montré que l'apport d'eau au stade floraison de même qu'en post-floraison donne aux plantes un temps supplémentaire pour transférer les réserves aux grains et permet d'améliorer considérablement le poids de grains par épi.

Selon Soltner (2012), le PMG est une composante du rendement liée à la variété. Parmi les génotypes testés, El-wifak est une variété précoce dont le cycle végétatif est plus court, ce qui lui a permis d'échapper à la brusque hausse des températures printanières, à partir du début Mai, et le stress hydrique au stade floraison assurant, d'une part, une bonne remobilisation des assimilats vers les organes puits et conservant, d'autre part, un considérable poids des grains formés.

En revanche, Hidhab, un génotype relativement tardif, il est le dernier à atteindre la maturité. Sous conditions pluviales, bien que ce génotype puisse avoir tendance à éviter les stress précoces, il est susceptible de souffrir, jusqu'à maturité physiologique, par l'action des températures printanières, en permanente augmentation, Ainsi, la photosynthèse post-floraison peut être considérablement réduite. Ce qui fait raccourcir la durée de remplissage et accélère la maturité des grains (Soltner, 2012). De quoi, l'irrigation apportée au stade de remplissage-grain laiteux devrait bénéficier ce type de variété en prolongeant la durée de viabilité « rester vert » de son feuillage (Izanloo et *al.*, 2008) et Ghanbari-Malidarreh (2010). Attendu qu'au-delà de ce stade de maturité physiologique, la plante est insensible au stress hydrique puisqu'il n'y a plus de migration de sucres vers le grain (Bouthier et *al.*, 2012).

3.8. Rendement en grains par unité de surface

3.8.1. Rendement en grains par unité de surface 2013/2014

L'analyse de la variance du rendement en grains indique un effet génotype hautement significatif ($P=0.002$) bien que l'effet régime d'irrigation est très proche du seuil de signification à 5% ($P=0.059$) (Tableau 21). Ces résultats démontrent la présence, d'une part de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part de différences phénotypiques parmi les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 21. Analyse de la variance du rendement grains par unité de surface 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	13275,694	6637,847	2,603	0,085
Régime d'irrigation (I)	5	29461,111	5892,222	2,310	0,059
Génotype (G)	3	43991,667	14663,889	5,749	0,002
I×G	15	46641,667	3109,444	1,219	0,293
Résiduelle	46	117324,306	2550,528		
Total	71	250694,444			

Les valeurs moyennes du rendement en grains au mètre carré varient de 220g/m² pour la variété El-wifak sous régime pluvial (SI0) à 368.33 g/m² pour la variété Djanet sous régime SI2 (Figure 21). L'ensemble fluctue autour d'une moyenne générale de 287.22 g/m².

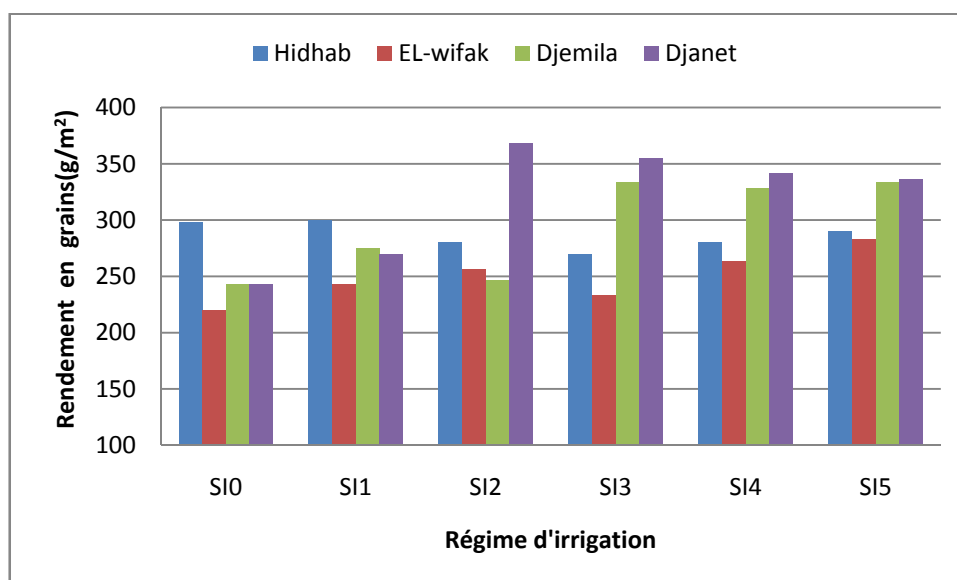


Figure 21. Rendement en grains par unité de surface 2013/2014.

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 33.67 g/m² indiquant la présence de deux groupes de variétés aux comportements différents. Le premier groupe est composé par les trois variétés Hidhab, Djemila et Djanet avec des valeurs moyennes respectives de 286.39, 293.33 et 319.17 g/m². Le deuxième groupe est constitué de la variété El-wifak avec une valeur moyenne de 250.0g/m².

Simultanément, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 41.24 g/m² notant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est composé par les quatre régimes d'irrigation SI2, SI3, SI4 et SI5 avec des valeurs moyennes de 287.92, 297.92, 303.33 et 310.83 g/m² respectivement. Le deuxième groupe est constitué du régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 251.25 g/m².

3.8.2. Rendement en grains par unité de surface 2014/2015

L'analyse de la variance du rendement en grains indique un effet génotype hautement significatif (P=0.004) bien que l'effet régime d'irrigation est de même significatif (P=0.048) (Tableau 22). Ceux ci inspirent la présence, d'une part de

différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part de différences phénotypiques entre les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 22. Analyse de la variance du rendement grains par unité de surface 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	5353,413	2676,706	3,045	0,059
Régime d'irrigation (I)	5	16840,305	3368,061	3,831	0,048
Génotype (G)	3	33313,215	11104,405	12,630	0,004
I×G	15	6940,353	462,690	0,526	0,909
Résiduelle	41	36044,863	879,143		
Total	66	98492,149			

Les valeurs moyennes du rendement grains au mètre carré varient de 132.58g/m² pour la variété El-wifak sous régime pluvial (SI0) à 247.94 g/m² pour la variété Djanet sous régime d'irrigation SI5. L'ensemble gravite autour d'une moyenne générale de 176.58 g/m².

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 24.21 g/m² notant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué par le régime d'irrigation SI5 avec une valeur moyenne de 201.64 g/m². Le deuxième groupe est composé des trois régimes d'irrigation SI3, SI1 en plus du régime pluvial (SI0) avec des valeurs moyennes respectives de 173.11, 168.54 et 161.14 g/m².

Simultanément, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 19.77 g/m² indiquant la présence de trois groupes de variétés aux comportements différents. Le premier groupe est composé des deux variétés Djemila et Djanet dont les valeurs moyennes sont, respectivement, de 200.62 et 199.25 g/m². Le deuxième groupe est constitué de la variété Hidhab avec une valeur moyenne de 168.31g/m². Finalement, un troisième groupe représenté par la variété El-wifak dont la valeur moyenne est de 138.12 g/m².

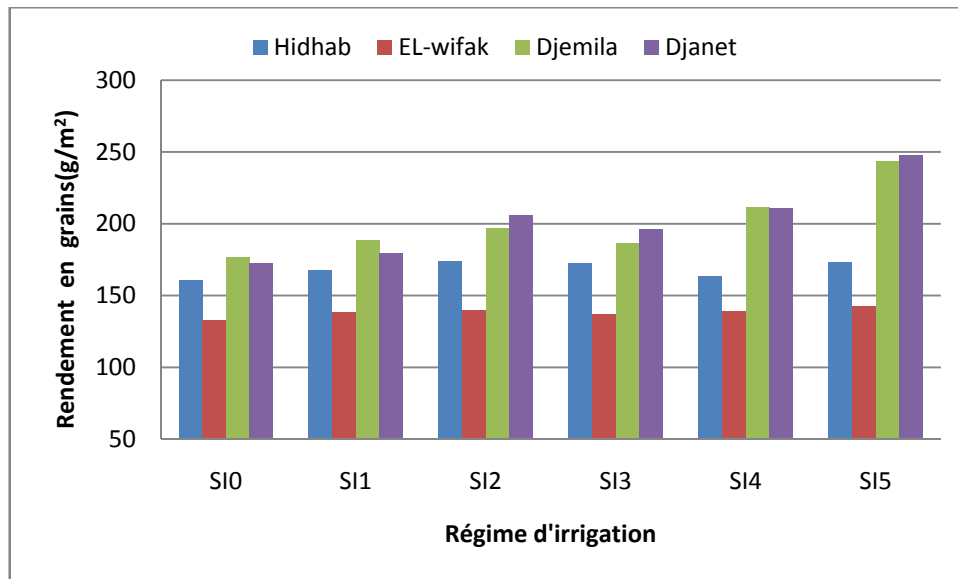


Figure 22. Rendement en grains par unité de surface 2014/2015

Durant les deux années d'expérimentation, le traitement pluvial (SI0) a présenté une réduction bien marquée du rendement en grains suite à la défaillance de ses propres composantes de rendement par rapport aux restes des traitements irrigués. Dans ce contexte, compte tenu des enjeux climatiques généralement contraignants, Tayyar (2010) a démontré que sous climat méditerranéen semi-aride, la répartition des précipitations revête une grande importance le long du cycle de croissance du blé et que les hautes températures journalières et le stress hydrique au printemps raccourcissent la période de remplissage du grain, ce qui provoquerait une maturation plus précoce du grain, produisant ainsi un rendement en grains plus faible.

Sur la base de la comparaison multiple de la variance de la première année, les cinq traitements d'irrigation ; SI1, SI2, SI3 SI4 et SI5 ont amélioré le rendement en grains de 8.36, 14.72, 18.50, 20.69 et 24,0% respectivement, par rapport au traitement pluvial (SI0), ce dernier a manifesté des réductions significatives de toutes les composantes de rendement, principalement le nombre d'épis/m² (349.5unités), nombre de grains par épi (42.34unités) et le poids de grains/épi (1.963g). Durant la deuxième année, les améliorations en rendements en grains étaient de 4.59, 11.10, 7.42, 12.56 et 24.97% respectivement pour les cinq traitements d'irrigation sus-cités. Selon Innes et Blackwell (1981) et Ozturk and Aydin (2004), lorsque le blé souffre de stress hydrique durant la phase pré-anthèse (cas du SI0 et SI2 dans cette étude), la chute du rendement en grains est principalement associée à la réduction de ses deux composantes ; le nombre d'épi/m² et le nombre de grains/épi.

Hidhab, un cultivar relativement tardif par rapport aux autres génotypes, profite d'une vernalisation plus longue lui permettant d'atteindre un niveau optimal de maturité physiologique, une condition obligatoire pour une germination plus active, de ce fait, ce génotype domine le nombre de plantes levées, le nombre de talles herbacées, le nombre d'épi et le nombre de grains au mètre carré. Cette variété a manifesté une remarquable adaptabilité aux conditions environnementales de la région de Sétif à travers une bonne stabilité des rendements relatifs à chacun des régimes d'irrigation adoptés. D'après Sakumona et *al.* (2014), un tel génotype possède un potentiel génétique inhérent où sont intégrés des gènes lui permettant de contrôler les mécanismes physiologiques et de supporter des conditions de stress hydrique plus au moins sévères. De même, Saeedipour (2011) a affirmé que le rendement en grains des cultivars de blé résistants à la sécheresse augmente considérablement par rapport aux cultivars de blé sensibles à l'eau sous conditions hydrique déficitaires.

À travers son PMG relativement considérable, 47.2g en 2013/14 et 41.20g en 2014/15, il a été constaté que le génotype précoce El-wifak souffre d'un phénomène physiologique affectant directement son rendement en grains ; celui de l'égrainage. Ce phénomène est probablement dû aux brusques évènements de chaleur élevée survenant occasionnellement à la fin du printemps. En effet, les fortes températures qui favorisent le dessèchement des glumelles enveloppant le grain provoquent, en conséquence, le décollement du grain de son assise avant la récolte. Ce qui a vraiment affecté le rendement en grains. Un argument qui reste à vérifier. Quoique Merouche et *al.* (2014) ont rapporté que même sous irrigation, la culture du blé pourrait être limitée dans les régions semi-arides. En effet, ces régions sont souvent soumis à des risques climatiques tels que les faibles taux d'humidité de l'air (air sec), les vents chauds et les températures élevées qui génèrent un avortement en masse des épillets et des taux élevés de dessèchement de grains (échaudage) dépassant 50% de la récolte. Dans de telles situations, l'impact de l'irrigation pourrait être négligeable parmi les variétés moins tolérantes à la sécheresse.

Le rendement en grains des variétés introduites était plus élevé que celui des variétés locales reflétant leur bonne réponse aux régimes d'eau appliqués. Les rendements en grains maximaux observés chez les deux génotypes introduits pourraient être attribués à l'amélioration de leurs composantes de rendement suite à l'adoption de l'irrigation d'appoint, en effet une forte amélioration des performances de traits agronomiques a été nettement enregistrée entre le régime pluvial (SI0) et le régime SI5 aboutissant à des

valeurs de l'ordre de 30.30% et 18.06% pour le nombre de grains par épi, 32.19% et 28.80% pour le nombre de grains au mètre carré et de 29.24% et 37.83% pour le poids de grains par épi respectivement au cours des deux années d'expérimentation. Des résultats semblables ont été obtenus par Tas et Tas (2007), Gholamin et *al.* (2010), Yong'an et *al.* (2010), Miranzadeh et *al.* (2011) et Khamssi et Najaphy (2012). Sakumona et *al.* (2014).

Toutefois il est intéressant de signaler que les pluies relativement considérables en hiver et en début du printemps de la deuxième année (191mm jusqu'à la fin Février), ont prolongé la durée de la période végétative allant jusqu'à l'initiation florale (stade 3 feuilles), ce qui a raccourcis la période reproductrice responsable de la formation des futurs épillets, qui seront responsables de la formation et de la taille des futurs épis. Ce qui a aboutit à un nombre réduit de grains et de leur taille (poids) en raison de la mauvaise remobilisation des hydrates de carbone pendant le stade de remplissage des grains. Cette chaîne de paramètres, dont la résultante finale fait réduire le rendement en grains, s'aligne étroitement avec l'approche suggérée par Tahir et Nakata (2005) pour la réduction du nombre et de la taille des grains de blé tendre en raison de la mauvaise remobilisation des hydrates de carbone sous l'effet de stress thermique. En revanche, cela a alloué plus de temps, si nécessaire pour les variétés nouvellement introduites, pour s'acclimater avec les conditions environnementales de la région investiguée et a redémarrer la croissance, après allongement de la durée du jour qui est un facteur primordial contrôlant l'épiaison, à un statut hydrique plus favorable.

Notons aussi que les volumes d'eau d'irrigations appliqués aux stades cibles du développement de la plante, particulièrement au stade floraison (Z65-Z69) pour les traitements SI2, SI4 et SI5, avaient augmenté de manière significative le rendement en grains des quatre variétés, surtout que les précipitations furent beaucoup plus faibles en début d'Avril (début la période sèche). À partir de ce mois, l'irrigation d'appoint a amélioré les conditions de croissance et de développement des géotypes en stimulant, principalement, la photosynthèse en phase post-anthèse. Des résultats similaires ont été enregistrés par Ozturk et Aydin (2004) qui ont confirmé que l'application de l'irrigation d'appoint en phase post-anthèse (i) favorise l'implantation des grains, (ii) augmente la quantité des assimilats photosynthétiques mobilisables et (iii) améliore le taux de remplissage des grains. En effet, il est bien connu que le stress avant l'anthèse a une influence sur le nombre et la taille des épis qui influencent le rendement en grains par plante en affectant la taille (hauteur) de l'épi et le nombre de grains par épi (Blum et Pnuel, 1990 ; Jalaludine et *al.* 2009) et que la migration des assimilats photosynthétiques

pendant le remplissage du grain contribuent à plus de trois quarts (3/4) du rendement en grains final (Mu et *al.*, 2010).

Au cours de cette étude, il a été autant constaté que les rendements en grains de la première année étaient visiblement supérieurs à ceux de la deuxième année. En général, cela est étroitement lié à l'interaction des conditions de conduite de l'expérimentation, qui parmi elles figurent les conditions géomorphologiques du sol cultivé, d'où la présence d'une forte charge caillouteuse au détriment de la terre fine cultivable (Annexe3), et les conditions météorologiques imprévisibles, notamment les pluies orageuses qui s'étaient abattues lors de la deuxième année, juste une semaine après le semis, au jour du 20/12/2014, sur le deuxième site caractérisé par un horizon de surface dont la texture est à dominance argileuse. Ceci a causé l'engorgement en eau du sol (lit de semence) provoquant ainsi la consolidation de la surface du sol de plusieurs parcelles élémentaires, une forte cause qui pourrait retarder la germination et provoquer l'asphyxie d'une bonne partie des graines semées. De ce fait le peuplement de plantes levées était déjà moins important par rapport à la première année. A cela s'ajoute la chute de grêle, un phénomène très présent dans notre région d'étude, au début du mois de Juin quelques jours avant la récolte.

3.9. Biomasse aérienne par unité de surface

3.9.1. Biomasse aérienne par unité de surface 2013/2014

L'analyse de la variance de la biomasse aérienne indique un effet régime d'irrigation hautement significatif ($P=0.009$) alors que l'effet génotype est non significatif (Tableau 23). Ceci suppose la présence de différences phénotypique au sein des six régimes d'irrigation testés.

Tableau 23. Analyse de la variance de la biomasse aérienne 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	57739,111	28869,556	2,012	0,145
Régime d'irrigation (I)	5	254692,278	50938,456	3,549	0,009
Génotype (G)	3	58747,278	19582,426	1,364	0,265
I×G	15	172060,389	11470,693	0,799	0,672
Résiduelle	46	660202,222	14352,222		
Total	71	1203441,278			

Les valeurs moyennes de la biomasse aérienne varient de 740 g/m² pour la variété Djemila sous régime pluvial (SI0) à 1015.33 g/m² pour la variété Hidhab sous SI5 (Figure 23). L'ensemble tourne autour d'une moyenne générale de 917.81 g/m².

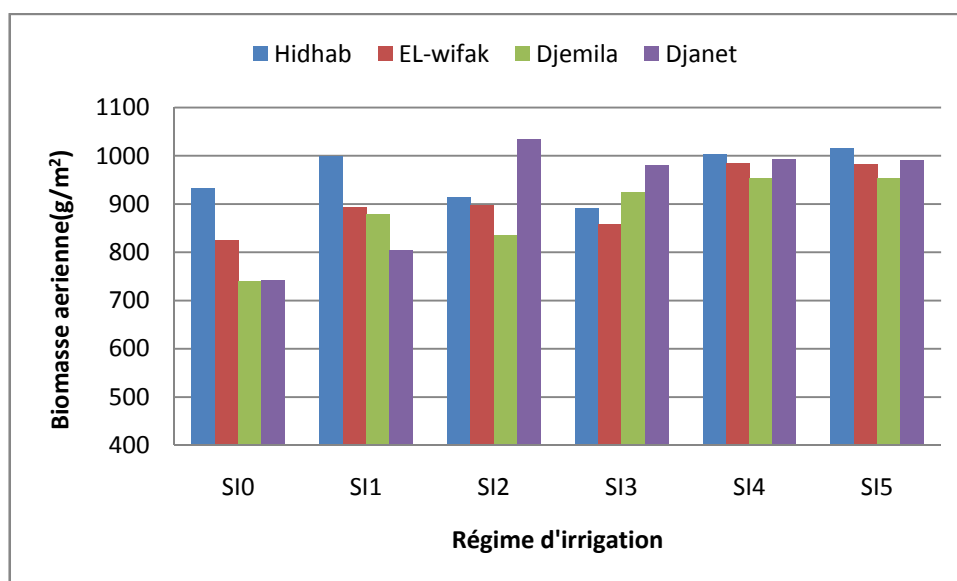


Figure23. Biomasse aérienne par unité de surface 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 97.82 g/m². Ainsi, les régimes d'irrigation testés forment deux groupes bien distincts dont les valeurs moyennes de ce paramètre sont significativement différentes. Le premier groupe est composé par les quatre régimes d'irrigation SI2, SI3, SI4 et SI5 dont les moyennes varient de 913.5 à 985.8 g/m². Le second groupe est constitué du régime pluvial (SI0) avec une moyenne de 810.0g/m².

3.9.2. Biomasse aérienne par unité de surface 2014/2015

L'analyse de la variance de la biomasse aérienne indique un effet régime d'irrigation significatif (P=0.02), alors que l'effet génotype est non significatif (Tableau 24). Ceci suggère la présence de différences phénotypiques au sein des six régimes d'eau testés.

Tableau 24. Analyse de la variance de la biomasse aérienne 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	1671,093	835,547	0,183	0,834
Régime d'irrigation (I)	5	73020,977	14604,195	3,191	0,020
Génotype (G)	3	37695,181	12565,060	2,745	0,061
I×G	15	70461,087	4697,406	1,026	0,458
Résiduelle	29	132741,407	4577,290		
Total	54	336302,727			

Les valeurs moyennes de la biomasse aérienne varient de 452.7 g/m² pour la variété Hidhab sous régime pluvial (SI0) à 725.0 g/m² pour la variété Djemila sous régime d'irrigation SI5 (Figure 24). L'ensemble balance autour d'une moyenne générale de 560.06 g/m².

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 55.24 g/m² indiquant la présence de deux groupes de variétés aux comportements complètement différents. Le premier groupe est constitué du régime d'irrigation SI5 dont la valeur moyenne est de 622.5 g/m². Le deuxième groupe est formé des deux régimes d'irrigation SI3 et pluvial SI0, dont les valeurs moyennes sont de 529.58 g/m² et 503.92g/m² respectivement.

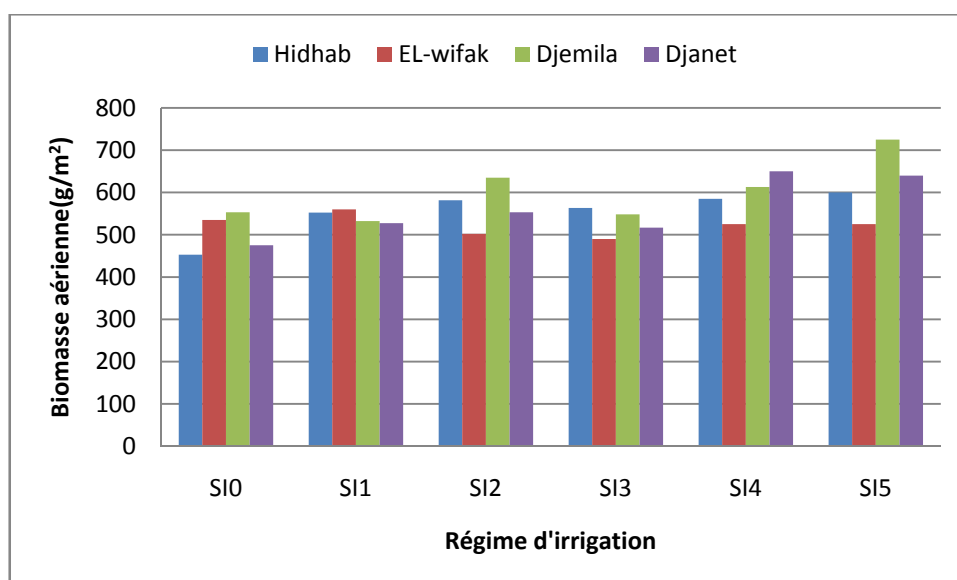


Figure 24. Biomasse aérienne par unité de surface 2014/2015

Durant la première année d'expérimentation, les irrigations apportées aux deux stades ; début montaison à 1 nœud (Z31) et remplissage-grain laiteux (Z70-Z77) ont significativement différencié les régimes d'irrigation du régime pluvial (SI0) avec des écarts moyens allant de 13.6% pour le SI2 à 22% pour le SI5. Tandis qu'en deuxième année d'expérimentation, le régime d'irrigation SI2 s'est avéré statistiquement indifférent du traitement le plus favorablement irrigué SI5, ce ci confirme que l'apport d'une irrigation en début montaison au premier nœud détectable (Z31) a fortement amélioré l'accumulation de la matière sèche dans les premières feuilles, les talles herbacées et les tiges maître brins (port de la plante), produisant un redressement en masse bien considérable par rapport aux autres régimes, et aboutissant à une régénération d'une

importante biomasse qui était de l'ordre de 12.7% pour SI2 et 23.5% pour SI5 par rapport au régime pluvial (SI0). Ce résultat concorde avec ceux d'Angus et herwaarden (2001), qui ont confirmé que l'apport d'une irrigation au stade début montaison favorise l'accumulation de la cellulose dans la tige de la plante et améliore la biomasse totale chez le blé tendre.

En plus, l'apport d'une irrigation au stade floraison (Z65-Z69) pour les régimes d'irrigation SI4, SI5, et exclusivement pour le régime SI2 qui coïncide avec la période sèche s'étalant d'Avril à Mai, a contribué fortement à stimuler la génération d'un feuillage plus important, ainsi les épis se trouvant en état déshydraté vont s'allonger à une cadence plus rapide et produiront rapidement de nouvelles feuilles favorisant la photosynthèse en phase post-anthèse (post-floraison). Cette approche s'appuie sur une recherche menée par Liu et *al.* (2001) au sujet de l'effet stimulé d'un événement de sécheresse suivi d'une réhydratation sur la croissance du blé d'hiver. Ils ont trouvé que le stress hydrique sévère suivi de réhydratation stimulait beaucoup plus le développement de la surface foliaire qu'un stress hydrique modéré. Ce qui contribue à l'amélioration de la biomasse aérienne et des conditions de croissance de la culture. De même Acevedo et *al.* (1971) ont démontré que la longueur des feuilles de maïs (*Zea mays* L) qui ont connu un ou plusieurs jours de stress hydrique pourrait atteindre celle des feuilles du traitement témoin (traitement complètement irrigué) après réhydratation, malgré que leur taux de croissance ne puisse pas dépasser celui du traitement témoin. Des résultats similaires ont été rapportés par Pinheiro et *al.* (2004) ; Xu et *al.* (2009) et Sakumona et *al.* (2014).

Notons bien aussi, qu'un phénomène de même importance a été constaté en stade terminal de la deuxième année d'expérimentation ; celui de la reviviscence de nouvelles tiges herbacées qui se généraient juste après des averses de pluies orageuses succédant des épisodes de sécheresse, d'où l'apparition de nouvelles épis vertes très abondantes et à croissance très rapide sur toutes les parcelles élémentaires qu'elles fussent en irrigué ou sous régime pluviale.

3.10. Indice de Récolté

3.10.1. Indice de Récolté 2013/2014

L'analyse de la variance de l'indice de récolte qui en résulte du rapport entre le rendement en grains et la biomasse aérienne, indique un effet génotype très hautement significatif ($P < 0.001$), tandis que l'effet régime d'irrigation est non significatif (Tableau

25). Ceci implique la présence de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées.

Tableau 25. Analyse de la variance de l'indice de récolte 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	17,002	8,501	1,467	0,241
Régime d'irrigation (I)	5	24,447	4,889	0,844	0,526
Génotype (G)	3	534,575	178,192	30,746	0,000
I×G	15	118,939	7,929	1,368	0,204
Résiduelle	46	266,595	5,796		
Total	71	961,557			

Les valeurs moyennes de l'indice de récolte varient de 26.61% pour la variété El-wifak sous régime pluvial (SI0) à 36.0% pour les deux variétés introduites Djemila et Djanet sous régime d'irrigation SI3 (Figure 25). L'ensemble oscille autour d'une moyenne générale de 31.20%.

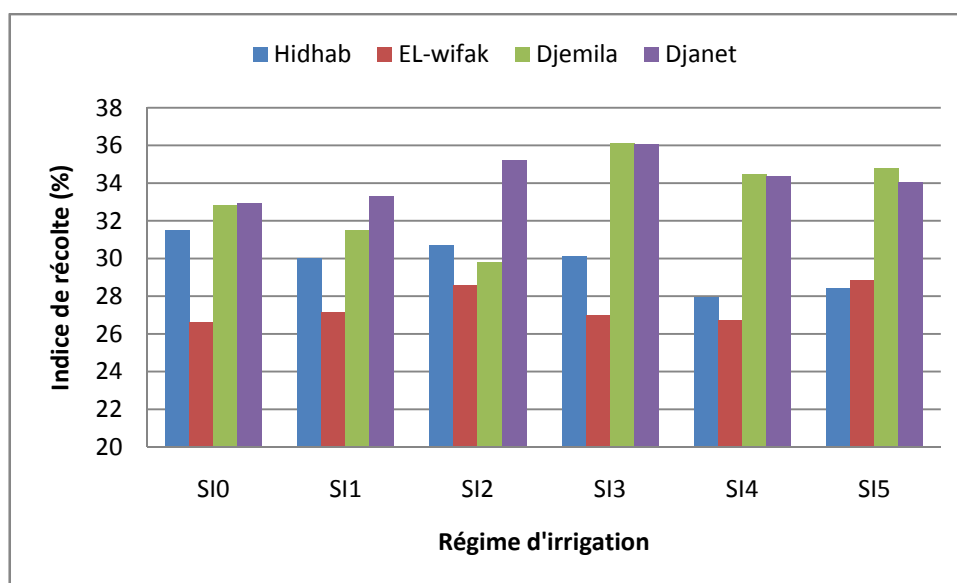


Figure 25 : Indice de Récolté 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 1.61%. Les variétés testées forment trois groupes de génotypes aux comportements différents. Le premier groupe est composé des deux cultivars Djemila et Djanet dont les valeurs moyennes sont de 33.24% et 34.31% respectivement. Le second groupe est constitué de la variété Hidhab avec une valeur moyenne de 29.78%, tandis que le troisième groupe est représenté par la variété El-wifak avec une moyenne, relativement moins importante, de 27.48%.

3.10.2. Indice de récolte 2014/2015

L'analyse de la variance de l'indice de récolte indique un effet génotype très hautement significatif ($P < 0.01$), d'autant qu'il en est pour l'effet régime d'irrigation (Tableau 26). Ceux ci impliquent la présence, d'une part de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part de différences significatives entre les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 26. Analyse de la variance de l'indice de récolte 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	5,549	2,774	0,475	0,627
Régime d'irrigation (I)	5	292,269	58,454	10,001	0,000
Génotype (G)	3	405,145	135,048	23,106	0,000
I×G	15	191,959	12,797	2,190	0,034
Résiduelle	29	169,496	5,845	0,475	
Total	54	1123,072			

Les valeurs moyennes de l'indice de récolte varient de 21.49% pour la variété El-wifak sous régime d'irrigation SI1 à 38.20% pour la variété Djenat sous régime d'irrigation SI3 (Figure 26). L'ensemble fluctue autour d'une moyenne générale de 30.91%.

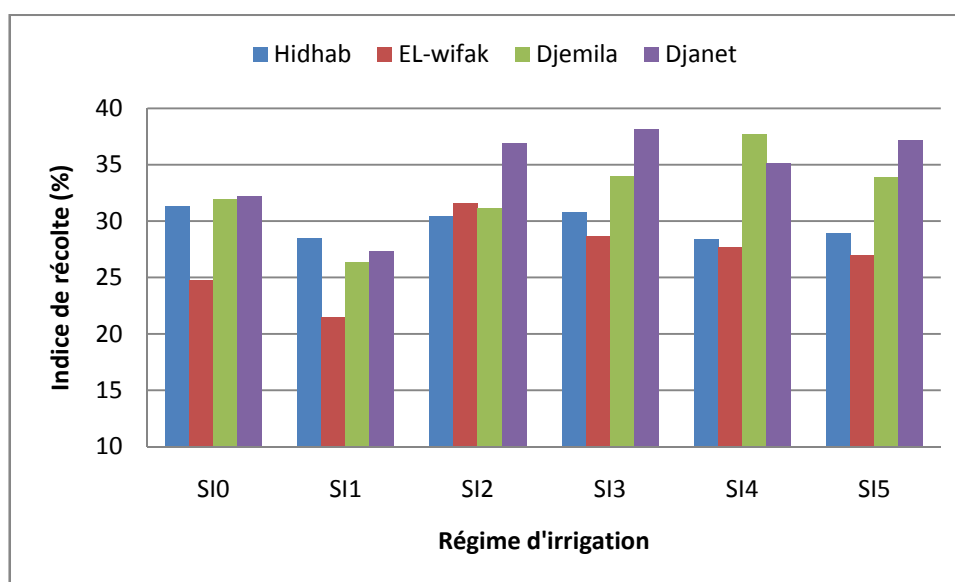


Figure 26. Indice de récolte 2014/2015

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 1.61% marquant la présence de quatre groupes de variétés, qui a travers leurs moyennes d'indice de récolte significatives, se comportent différemment. Le premier groupe est constitué

par la variété Djanet dont la valeur moyenne est de 34.52%. Le second groupe est formé par la variété Djemila avec une moyenne de 32.51%. Le cultivar Hidhab représente le troisième groupe avec une valeur de 29.75%. Finalement le quatrième groupe constitué par la variété El-wifak dont la valeur moyenne est de 26.88%.

Parallèlement, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 1.97% déterminant la présence de trois groupes de régime d'irrigation aux comportements complètement différents. Le premier groupe est formé par les trois régimes d'irrigation SI3, SI2 et SI4 avec des valeurs moyennes allant 32.92%, 32.54% et 32.27% respectivement. Le deuxième groupe est constitué du régime d'irrigation SI0 avec une valeur moyenne de 30.08%. Le troisième groupe est représenté par le régime d'irrigation SI1 dont la valeur moyenne est de 25.94%.

Durant la première année d'expérimentation, l'effet génotype bien présent subdivise les quatre génotypes testés en quatre classes différentes où les deux génotypes introduits Djanet et Djemila sommaient avec des valeurs moyennes très proches de 33.24% et 34.31% respectivement. De même, en deuxième année d'expérimentation, les mêmes génotypes dominaient le classement avec des moyennes de même ordre de grandeur (34.52% pour Djanet et 32.51% pour Djemila) confirmant ainsi leur potentiel génétique à produire un rapport grain/paille satisfaisant quasi-stable grâce à leur taille relativement plus courte par rapport aux deux autres génotypes. Cette hypothèse est soutenue par Austin (1994) qui a affirmé qu'un indice de récolte élevé n'est obtenu qu'avec de courtes épis, sous une nutrition minérale améliorée au stade juvénile de l'épi. De même, Butler et *al.* (2005) ont confirmé que les génotypes de taille semi-naines performaient des caractéristiques plus favorables de l'épi et produisaient plus de grains par rapport à la paille.

Comparativement aux deux régimes d'irrigation SI4 et SI5, le régime SI3 pourvoyant une irrigation au stade remplissage-grain laiteux (Z70-Z79) après interruption au stade floraison, reflète clairement l'effet de l'irrigation d'appoint à ce stade sur la production de grains, par rapport à la biomasse aérienne avec des valeurs moyennes de 32.31% et 32.92% respectivement durant les deux années. En parallèle, le régime SI2 irrigué au stade floraison (Z65-Z69) exprime la contribution d'une biomasse bien développée, qui favorise la photosynthèse durant la phase post-anthèse, en l'amélioration de la production de grains et par conséquent l'augmentation significative de l'indice de récolte de 31.06% et 32.54% durant les deux années d'expérimentation.

3.11. Hauteur de la végétation

3.11.1. Hauteur de la végétation 2013/2014

L'analyse de la variance de la hauteur de la végétation indique un effet génotype très hautement significatif ($P < 0.001$) alors que l'effet régime d'irrigation est non significatif (Tableau 27). Ce ci suggère la présence de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées pour ce paramètre.

Tableau 27. Analyse de la variance de la hauteur de végétation 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	23,284	11,642	0,611	0,547
Régime d'irrigation (I)	5	151,942	30,388	1,596	0,180
Génotype (G)	3	1132,282	377,427	19,818	0,000
I×G	15	187,751	12,517	0,657	0,811
Résiduelle	46	876,051	19,045		
Total	71	2371,310			

Les valeurs moyennes de la hauteur de la végétation varient de 63.28cm pour la variété Djanet sous SI2 à 78.10cm moyenne du cultivar El-wifak sous SI3 (Figure 27), l'ensemble gravite autour d'une moyenne générale de 70.63cm.

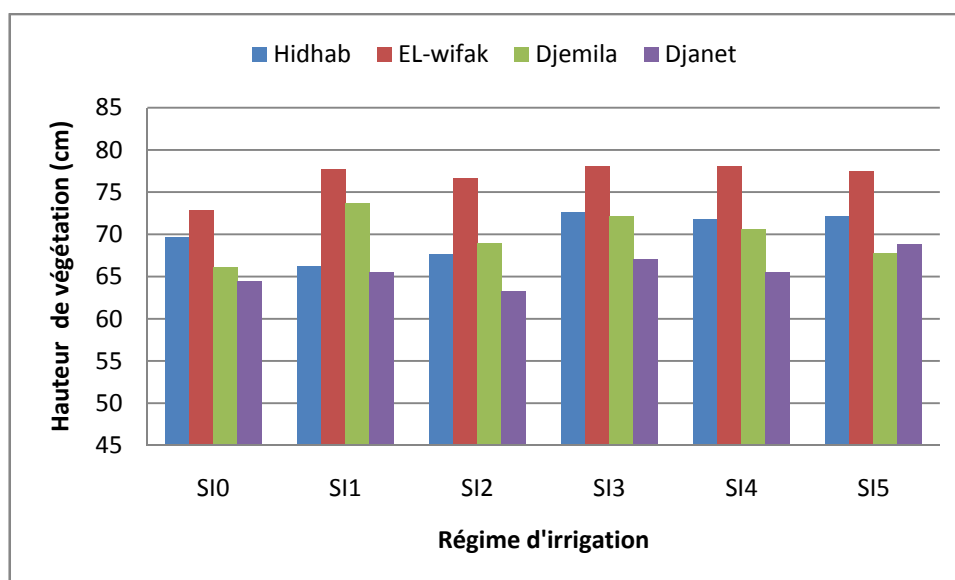


Figure 27. Hauteur de la végétation 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 2.91cm. Relativement à la valeur moyenne de la hauteur de végétation 63.3cm prise par la variété Djanet sous SI2, qui apparaît comme étant la moins haute, les écarts moyens des

autres variétés montrent la variabilité phénotypique qui existe au sein des quatre variétés étudiées, en effet, on note la présence de trois groupes de variétés aux comportements différents. Le premier groupe est constitué de la variété El-wifak qui est relativement très haute (produisant plus de paille) avec une valeur moyenne de 76.8cm. Le second groupe est composé par les deux variétés Hidhab et Djemila dont les valeurs moyennes de la hauteur de végétation sont aux alentours de 70cm. Le troisième groupe est formé par la variété Djanet avec une hauteur moyenne de 65.8cm.

Néanmoins, la comparaison multiple entre les moyennes, en utilisant le test de Fisher, a révélé qu'il existait des différences phénotypiques parmi les six régimes d'irrigation testés pour cette variable mesurée dont la plus petite différence significative au seuil de 5% (Ppds5%) était de 3.56cm témoignant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements complètement différents. Le premier groupe est composé par les trois régimes d'irrigation SI3, SI4 et SI5 dont les valeurs moyennes de la hauteur de végétation sont respectivement de 72.47, 71.49 et 71.57cm. Le deuxième groupe est formé par le régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 68.30cm.

3.11.2. Hauteur de la végétation 2014/2015

L'analyse de la variance de la hauteur de la végétation, indique un effet régime d'irrigation significatif (P=0.036) bien que l'effet génotype est non significatif (Tableau28). Ce ci suggère la présence de différences phénotypiques significatives entre les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 28. Analyse de la variance de la hauteur de végétation 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	354,390	177,195	10,151	0,000
Régime d'irrigation (I)	5	239,726	47,945	2,747	0,036
Génotype (G)	3	16,093	5,364	0,307	0,820
I×G	15	64,666	4,311	0,247	0,997
Résiduelle	31	541,110	17,455		
Total	56	1156,667			

Les valeurs moyennes de la hauteur de la végétation varient de 46.33cm pour la variété Djanet sous régime pluvial (SI0) à 55.0cm pour la variété El-wifak sous régime d'irrigation SI5 (Figure 28). L'ensemble tourne autour d'une moyenne générale de 50.83cm.

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 3.41cm marquant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué par les régimes d'irrigation SI1 et SI5 dont les valeurs moyennes sont de 52.92cm et 52.63cm respectivement. Le deuxième groupe est formé par le régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 47.83cm.

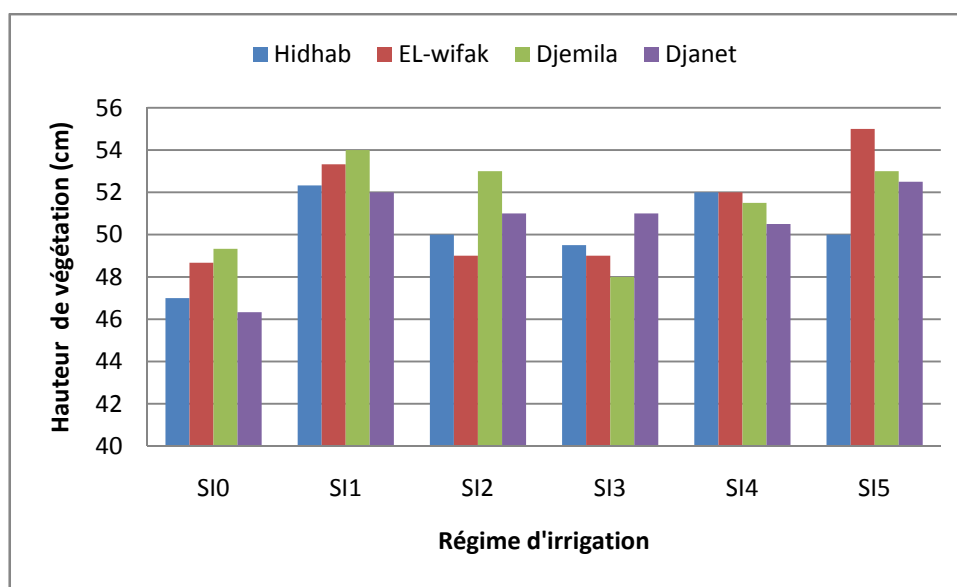


Figure 28. Hauteur de la végétation 2014/2015

Ce paramètre, étant mesuré à maturité juste avant la récolte de la culture et après l'application de la totalité des traitements d'irrigation, montre que l'effet régime d'irrigation, en deuxième année d'expérimentation, était statistiquement indifférent entre les traitements SI1, SI4 et SI5, en effet ces trois régimes étaient irrigués au stade montaison au cours de l'extension de la tige du deuxième nœud à l'apparition de la ligule de la feuille étandard (Z32-Z39), ceci a stimulé l'allongement des entre-nœuds. Ce qui a amélioré la hauteur des plantes d'une moyenne de 11% par rapport au régime pluvial. Cela confirme que la hauteur de la plante est fortement dépendante d'une bonne alimentation en eau à ce stade qu'aux apports ultérieurs qui seront plus favorables à la production et à la croissance de nouvelles feuilles plus utiles à la photosynthèse en phase post-floraison qu'à l'extension des maitres brins, puisque les deux régimes SI4 et SI5 ont été irrigués plus tard aux deux stades floraison (Z65-Z69) et remplissage-grain laiteux (Z70-Z79). Cette approche s'appuie sur ce qui a été rapporté par Pinheiro *et al.* (2004) et Xu *et al.* (2009) qui ont affirmé que tout apport d'irrigation aux stades terminaux n'aurait aucun effet sur la hauteur de la végétation et que la croissance de la plante peut

être seulement une reprise de l'événement (croissance) retardé non pas une surcompensation. De même, Soltner (2012) rapporte que l'allongement excessif des premiers entre-nœuds prédispose les tiges à la verse.

Dans le même contexte, nous avons noté que l'analyse de la variance a révélé que le régime d'irrigation SI2 était indifférent des régimes sus-discutés, probablement à raison de l'irrigation apportée précocement au stade début montaison à 1 nœud (Z31) et à la floraison (Z65-Z69), mais à un effet moins marquant par rapport à la phase d'extension de la tige à partir du 2^{ème} nœud (Z32-Z39).

Le génotype Djanet avait manifesté la plus faible moyenne pour la hauteur de sa végétation, particulièrement en première année d'expérimentation avec une moyenne de 65.8cm. Un caractère génétiques qui lui a permis de générer un effet génotypique très hautement significatif pour les deux paramètres sus-discutés, à savoir le rendement en grains et l'indice de récolte durant les deux années d'expérimentation. En effet, selon Butler et *al.* (2005), les génotypes de taille semi-naines performaient des caractéristiques plus favorables de l'épi et produisaient plus de grains.

3.12. Surface foliaire de la feuille étendard

3.12.1. Surface foliaire de la feuille étendard 2013/2014

L'analyse de la variance de la surface foliaire de la feuille étendard indique un effet régime d'irrigation très hautement significatif ($P < 0.001$) bien que l'effet génotype est hautement significatif ($P = 0.017$) (Tableau 29). Ceux ci impliquent la présence, d'une part de différences génotypiques au sein des quatre génotypes évalués et d'autre part de différences phénotypiques entre les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 29. Analyse de la variance de la surface foliaire de la feuille étendard 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	17,731	8,866	1,359	0,268
Régime d'irrigation (I)	5	216,790	43,358	6,647	0,000
Génotype (G)	3	74,180	24,727	3,791	0,017
I×G	15	92,399	6,160	0,944	0,526
Résiduelle	41	267,423	6,523		
Total	66	635,929			

Les valeurs moyennes de la surface foliaire varient de 15.27cm² pour la variété Djanet sous régime pluvial SI0 à 25.0cm² pour la même variété sous régime d'irrigation SI5 (Figure 29). La totalité oscille autour d'une moyenne générale de 19.39cm².

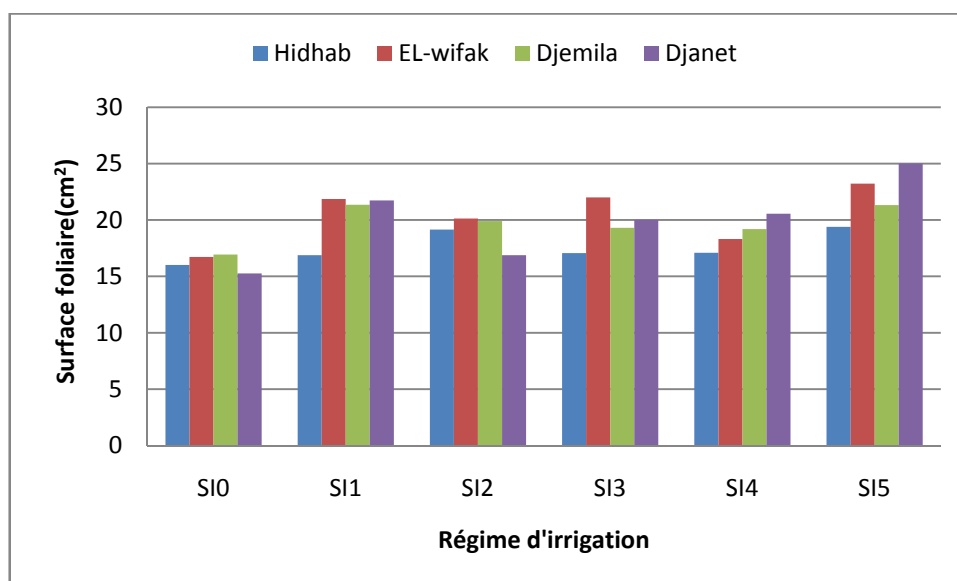


Figure 29. Surface foliaire de la feuille étendard 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 2.09cm² déterminant la présence de trois groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est représenté par le régime d'irrigation SI5 avec une valeur moyenne de 22.24cm². Le deuxième groupe est composé par les trois régimes d'irrigation SI3 et SI2 et SI4 dont les valeurs moyennes respectives sont de 19.60cm², 19.02cm² et 12.49cm². Le troisième groupe est constitué par le régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 16.24cm².

Parallèlement, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 1.70cm² indiquant la présence de deux groupes de variétés aux comportements différents. Le premier groupe est constitué de la variété Hidhab avec une valeur moyenne de 17.60cm² et un deuxième groupe formé des trois variétés El-wifak, Djanet et Djemila avec des valeurs moyennes respectives de 20.38cm², 19.91cm² et 19.67cm².

3.12.2. Surface foliaire de la feuille étendard 2014/2015

L'analyse de la variance de la surface foliaire indique un effet régime d'irrigation très hautement significatif (P<0.001) bien que l'effet génotype est hautement significatif (P=0.009), (Tableau30) Ceux-ci suggèrent la présence, d'une part de différences

significatives parmi les régimes d'irrigation testés et d'autre part, de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées pour ce paramètre.

Tableau 30. Analyse de la variance de la surface foliaire de la feuille étandard 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	24,334	12,167	2,360	0,108
Régime d'irrigation (I)	5	330,257	66,051	12,809	0,000
Génotype (G)	3	68,964	22,988	4,458	0,009
I×G	15	89,201	5,947	1,153	0,346
Résiduelle	39	201,101	5,156		
Total	64	722,130			

Les valeurs moyennes de la surface foliaire varient de 15.59cm² pour la variété Hidhabt sous régime pluvial SI0 à 29.19cm² pour la variété Djanet sous régime d'irrigation SI5 (Figure 30). L'ensemble balance autour d'une moyenne générale de 23.59cm².

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 1.85cm² déterminant la présence de trois groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué par le régime d'irrigation SI5 avec une valeur moyenne de 26.18cm². Le deuxième groupe est formé du régime d'irrigation SI2 dont la valeur moyenne est de 22.97cm². Le troisième groupe présenté par le régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 18.78cm².

Parallèlement, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 1.51cm² indiquant la présence de trois groupes de variétés aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué de la variété Djanet avec une valeur moyenne de 24.98cm². Le deuxième groupe est représenté par la variété El-wifak, avec une valeur moyenne de 23.39cm² et le troisième groupe est formé de la variété Hidhab dont la valeur moyenne est de 22.23cm².

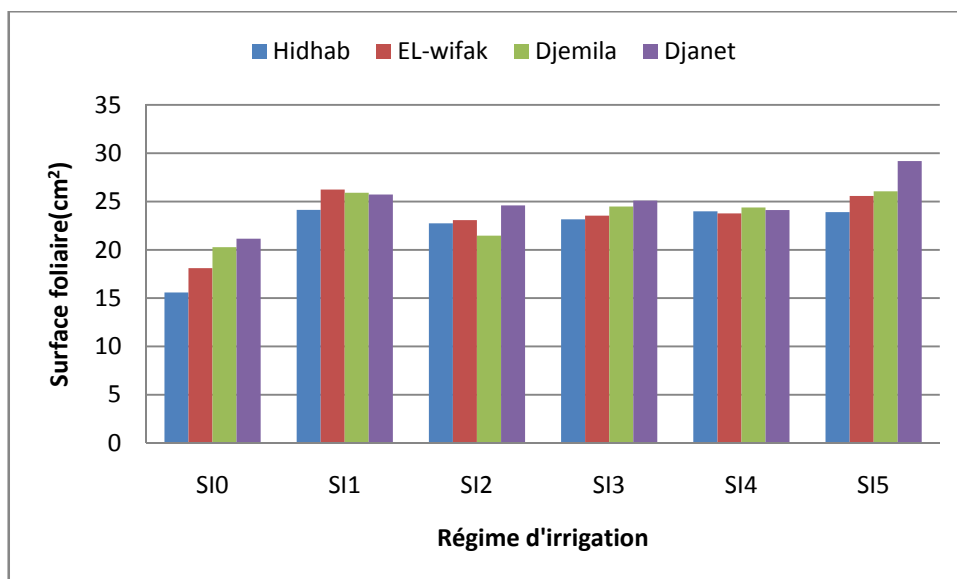


Figure 30. Surface foliaire de la feuille étendard 2014/2015

Durant la première année d'expérimentation, la surface foliaire de la feuille étendard, mesurée au stade épiaison, montre que le régime d'irrigation SI5, favorisé par les deux irrigations apportées au stade montaison à savoir Z31 et Z32-Z39 présente la valeur moyenne la plus importante de 22.24cm^2 avec un écart moyen de 36.95% par rapport au régime pluvial SI0. Les régimes d'irrigation SI1 (significativement indifférent du SI5), SI3 et SI4, profitant de l'irrigation apportée au stade montaison à l'extension de la tige à partir du 2^{ème} nœud (Z32-Z39) manifestent des surfaces foliaires plus importantes dont les écarts moyens par rapport au régime pluvial (SI0) sont de 25.98, 20.69 et 15.70% respectivement. De même le régime SI2 irrigué au stade montaison à 1nœud (Z31) enregistre un écart moyen de 17.11% par rapport à SI0.

Les deux variétés introduites Djemila et Djanet en plus de la variété EL-wifak présentaient des surfaces foliaires significativement importantes dont les valeurs moyennes furent de 19.67, 19.91 et 20.38cm^2 respectivement, alors que la variété Hidhab manifestait une surface plus faible de l'ordre de 17.60cm^2 .

Au cours de la seconde année d'expérimentation, la surface foliaire de la feuille étendard mesurée toujours au stade épiaison, montre que le régime d'irrigation SI5, favorisé par les deux irrigations d'appoint au stade montaison à 1 nœud (Z31) et à 2 nœuds (Z32-Z39), présente la valeur moyenne la plus importante de l'ordre de 26.18cm^2 avec un écart moyen de 39.4% par rapport au régime pluvial SI0. Les régimes d'irrigation SI1, SI3 et SI4 profitant de l'irrigation apportée au stade montaison à partir du 2^{ème} nœud (Z32-Z39) manifestent une surface foliaire plus importante dont les écarts moyens

par rapport au régime pluvial (SI0) sont de 35.78%, 28.17% et 28.17% respectivement. De même, le régime SI2 irrigué au stade début montaison à 1 nœud (Z31) enregistre un écart moyen de 22.31% par rapport à SI0.

De même, les deux variétés introduites Djanet et Djemila présentaient des surfaces foliaires significativement importantes dont les valeurs moyennes sont respectivement de 24.98 et 23.76cm², alors que la variété Hidhab manifestait une surface plus faible de l'ordre de 22.23cm².

Lorsque le stress hydrique s'installe, la réduction de la surface foliaire est une stratégie développée par les plantes pour réduire leurs besoins et pertes en eau (O'Toole et Cruz, 1980). En effet, selon Izanloo et *al.*, (2008) la réduction de la taille des feuilles, qui entraîne la plus petite surface foliaire transpirante, cas du génotype Hidhab avec les deux faibles moyennes de 17.60 et 22.23cm² consécutivement durant les deux années d'expérimentation, est une réponse adaptative au déficit hydrique. En effet, Tardieu (2005) a souligné que la réduction de la surface des feuilles, à court terme, a un rôle similaire à la fermeture stomatique, qui permet à la plante de maintenir un potentiel hydrique élevé dans ses feuilles en réduisant le flux (débit) d'eau à travers la surface de la feuille. À plus long terme, une feuille à surface réduite peut économiser l'eau du sol pour les derniers stades de développement de la plante via une réduction de la transpiration.

Sous des conditions de sécheresse sévère, Blum (1985) a exposé le rôle que jouent les feuilles dans la photosynthèse et la production des assimilats nécessaires au remplissage du grain. Quand le feuillage se dessèche et que seule la dernière feuille reste active, les contribution photosynthétiques de cette dernière et celle de l'épi sont comprises entre 13% à 76%, selon le climat et participent directement au remplissage du grain (Biscoe et *al.*, 1976). De ce fait, une augmentation de la surface foliaire, le cas des deux variétés introduites en particulier sous les deux régimes d'irrigation SI1 et SI5 marqués par un apport au stade montaison à partir du 2^{ème} nœud (Z31-Z39), contribue activement à l'augmentation de la capacité photosynthétique de la plante, et du fait à son rendement en grains.

3.13. Teneur relative en eau

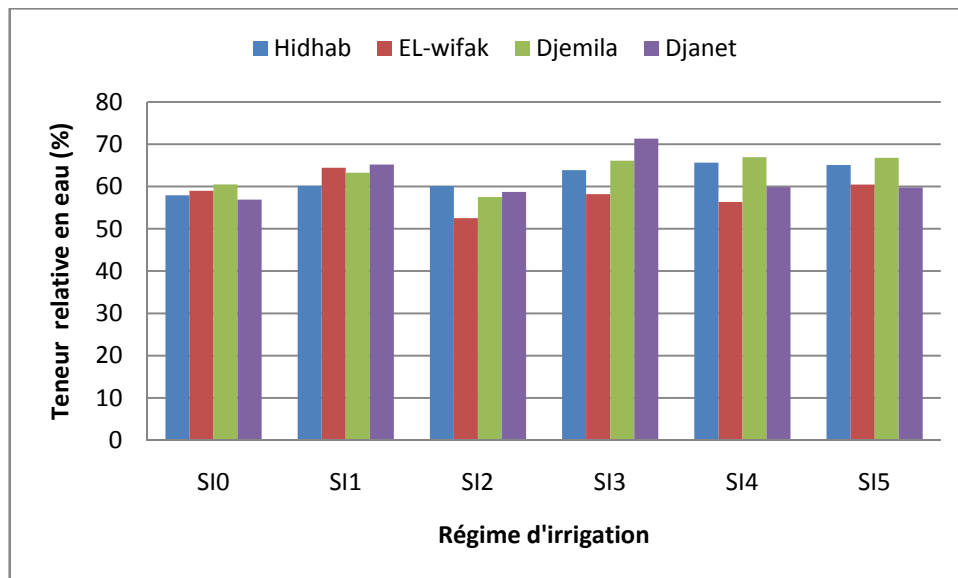
3.13.1. Teneur relative en eau 2013/2014

L'analyse de la variance de la teneur relative en eau (TRE), présentée dans le Tableau 31, n'indique aucune différences significatives pour l'effet génotype, non plus pour l'effet régime d'irrigation (P>0.05).

Tableau 31. Analyse de la variance de la teneur relative en eau 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	361,607	180,803	2,629	0,085
Régime d'irrigation (I)	5	478,476	95,695	1,391	0,249
Génotype (G)	3	189,677	63,226	0,919	0,441
I×G	15	458,796	30,586	0,445	0,953
Résiduelle	38	2613,470	68,776		
Total	63	4060,565			

Les valeurs moyennes de la teneur relative en eau varient de 52.53% pour la variété El-wifak sous régime d'irrigation SI2 à 71.33% pour la variété Djanet sous régime d'irrigation SI3 (Figure 31). L'ensemble oscille autour d'une moyenne générale de 61.52%.

**Figure 31. Teneur relative en eau 2013/2014**

Notons que durant cette première année d'expérimentation, la teneur relative en eau mesurée au stade épiaison, montre que le régime pluvial (SI0), dont la surface foliaire est la plus faible (16.24cm^2), retenait plus d'eau cellulaire (58.58%) que le régime SI2 (57.21%) de surface foliaire plus importante (19.02cm^2). Probablement cela est dû au rapport TRE/surface foliaire plus considérable pour le régime pluvial. Les régimes d'irrigation, malgré qu'ils fussent statistiquement indifférents, reflètent la disponibilité de l'eau dans le sol pour les traitements irrigués à ce stade, à la date du 14/04/2014 deux jours précédents la mesure de ce paramètre, notamment pour les régimes d'irrigation SI1, SI3, SI4 et SI5 par rapport au régime pluvial SI0.

3.13.2. Teneur relative en eau 2014/2015

L'analyse de la variance de la teneur relative en eau (Tableau 32) indique un effet régime d'irrigation hautement significatif ($P=0.006$), alors que l'effet génotype est non significatif. Ceci suggère la présence de différences significatives parmi les régimes d'eau testés pour ce paramètre.

Tableau 32. Analyse de la variance de la teneur relative en eau 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	51,805	25,902	1,963	0,153
Régime d'irrigation (I)	5	255,95	51,190	3,880	0,006
Génotype (G)	3	81,548	27,183	2,060	0,120
I×G	15	259,156	17,277	1,309	0,241
Résiduelle	41	540,984	13,195		
Total	66	1223,432			

Les valeurs moyennes de la teneur relative en eau varient de 50.16% pour la variété Djanet sous régime d'irrigation SI2 à 62.51% pour la variété Hidhab sous régime d'irrigation SI5 (Figure 32). L'ensemble fluctue autour d'une moyenne générale de 56.52%.

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 2.97% déterminant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements complètement différents. Le premier groupe est constitué des deux régimes d'irrigation SI3 et SI5 avec une valeur moyenne de 58.85%. Le deuxième groupe est présenté par le régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 52.94%.

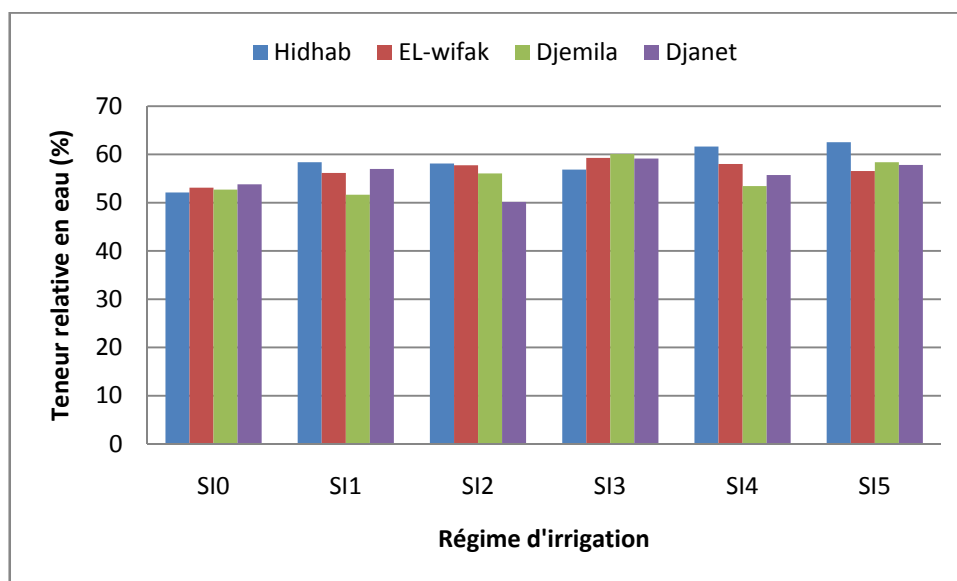


Figure 32. Teneur relative en eau 2014/2015

La teneur relative en eau (TRE) indique l'état d'hydratation du tissu végétal; elle est exprimée en termes relatifs en pourcentage de la teneur maximale en eau à pleine turgescence (Hsiao, 1973). En première année d'expérimentation, le régime pluvial (SI0) ne différait pas significativement du régime d'irrigation le plus arrosé (SI5) confirmant, ainsi une bonne adaptation des géotypes testés pour les conditions climatiques de la région et concorde avec Siddique et *al.* (2000) qui ont rapporté que les cultivars de blé avec moins de réduction de la teneur relative en eau (6.3% entre SI3 et SI0) pourraient mieux fonctionner dans certaines conditions de stress. Matin et *al.* (1989), mentionnent que les géotypes qui maintiennent une teneur relative en eau élevée en présence de stress hydrique sont des géotypes tolérants. Un tel comportement s'observe à travers l'analyse de cette caractéristique pour l'ensemble des géotypes testés qui réussissent tout de même à maintenir une teneur relative en eau relativement élevée, sous régime pluvial (56.96%) que sous régimes irrigués (64.88% sous SI3), reflétant ainsi une bonne aptitude à s'adapter aux conditions de stress hydrique et thermique de notre région d'étude. Dans le même contexte, Saleem et *al.* (2016b), ont démontré que la faible perte relative d'eau des feuilles excisées reflète la capacité des plantes à utiliser l'eau de la manière la plus économique et la plus efficiente, ce qui est fortement attribué au potentiel génétique du matériel végétal testé à tolérer la sécheresse par les différents mécanismes physiologiques d'adaptation tel que l'ajustement osmotique.

Sous conditions d'expérimentation de la deuxième année, la TRE mesurée toujours au stade épiaison, montre que les conditions climatiques relativement sèches par rapport à la première année ont fait que les traitements de la variable régime d'irrigation furent significativement différents du régime pluvial (SI0). Ainsi l'irrigation apportée au stade montaison à partir du 2^{ème} nœud détectable (Z32-Z39), a significativement amélioré la TRE des régimes d'irrigation dont les valeurs moyennes correspondantes présentaient un écart moyen de 11.15% pour les deux régimes SI3 et SI5 par rapport au régime pluvial SI0. Cela est probablement dû à la disponibilité de l'eau du sol à ce stade végétatif jugé critique pour les besoins en eau des plantes. En effet, les recherches antérieures ont montré que la physiologie et la croissance du blé sont affectées par la teneur en eau du sol (Shao et *al.*, 2006; Saeedipour et Moradi, 2012). De plus, Bouthier et *al.* (2012), rapportent qu'au stade montaison, les plantes rentrent lentement en stress hydrique, car les ETP restent modérées et l'exploration racinaire toujours active en profondeur, permettent de tamponner le stress hydrique lié au dessèchement du sol en surface. De ce fait les stress hydrique courant montaison peuvent ne pas avoir d'impact sur le

développement de la surface foliaire surtout si l'alimentation hydrique devient satisfaisante.

3.14. Teneur en chlorophylle de la feuille étendard

3.14.1. Teneur en chlorophylle 2013/2014

L'analyse de la variance de la teneur en chlorophylle de la feuille étendard indique que l'effet de chacune des deux variables était non significatif (Tableau 33).

Tableau 33. Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	1,254	0,627	0,094	0,911
Régime d'irrigation (I)	5	44,981	8,996	1,345	0,266
Génotype (G)	3	50,431	16,810	2,513	0,072
I×G	15	67,038	4,469	0,668	0,799
Résiduelle	40	267,594	6,690		
Total	65	430,856			

Les valeurs moyennes de la teneur en chlorophylle varient de 25.03 unités CCM pour la variété Djanet sous régime d'irrigation SI1 à 31.90 unités CCM pour la variété Djemila sous régime d'irrigation SI3 (Figure 33). L'ensemble gravite autour d'une moyenne générale de 28.23 unités CCM.

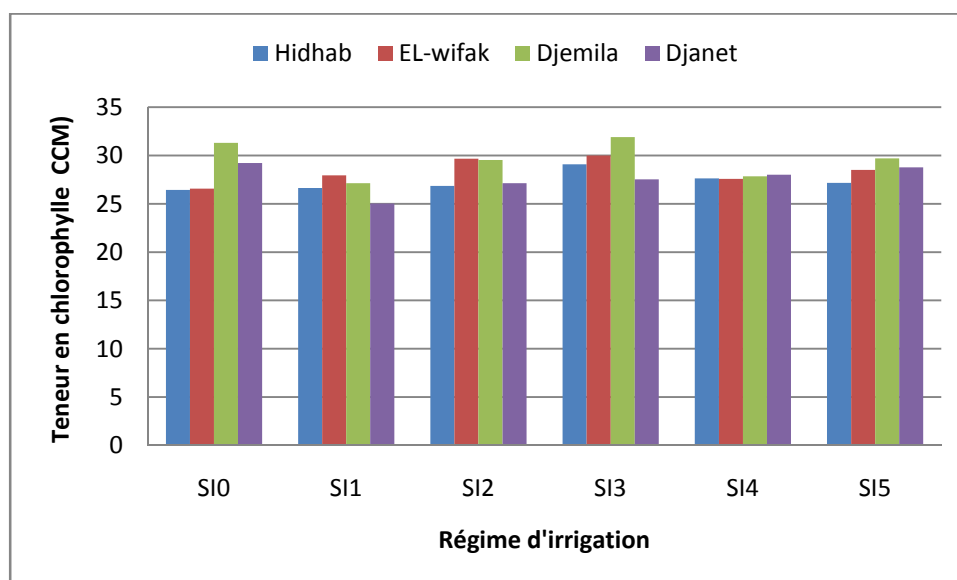


Figure 33. Teneur en chlorophylle de la feuille étendard 2013/2014

Toutefois, malgré que l'effet génotype fut non significatif ($P=0.072$), la comparaison multiple entre les moyennes, en utilisant le test de Fisher, a révélé qu'il existait des différences génotypiques parmi les quatre génotypes pour la variable mesurée

dont la plus petite différence significative au seuil de 5% (Ppds5%) était de 1.72 unité CCM déterminant la présence de deux groupes de génotype aux comportements absolument différents. Le premier groupe est représenté par le génotype Djemila avec une valeur moyenne de 29.57 unités CCM. Le deuxième groupe est composé par les deux génotypes Djanet et Hidhab dont les valeurs moyennes respectives sont de 27.62 unités CCM et 27.30 unités CCM.

Durant la première année d'expérimentation, la teneur en chlorophylle du régime pluvial (SI0) était plus élevée que celle du SI1, ceci est probablement dû à sa surface foliaire plus petite (16.24cm²) par rapport à celle de SI1 (20.46cm²), en effet, la densité (concentration) élevée des chloroplastes par unité de surface dans les feuilles du traitement pluvial, qui est un caractère génétique, faisait que leurs teneurs en chlorophylle furent plus importantes, malgré que le régime SI1 ait profité d'une irrigation au stade montaison à partir du 2^{ème} nœud (Z32-Z39). Cette situation nous a permis de déterminer un rapport : teneur en chlorophylle/surface foliaire, qui a diminué suite au développement de la surface foliaire et qui s'est amélioré avec les régimes d'irrigation SI3 et SI5.

3.14.2. Teneur en chlorophylle 2014/2015

L'analyse de la variance de la teneur en chlorophylle, exprimée en unité CCM, indique un effet génotype significatif (P=0.036), d'autant qu'il en est pour l'effet régime d'irrigation (P=0.014) (Tableau 34). Ceux-ci suggèrent la présence, d'une part, de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part, de différences phénotypiques significatives parmi les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 34. Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	2,889	1,445	0,576	0,566
Régime d'irrigation (I)	5	40,248	8,050	3,208	0,014
Génotype (G)	3	23,363	7,788	3,103	0,036
I×G	15	21,707	1,447	0,577	0,878
Résiduelle	46	115,437	2,509		
Total	71	203,644			

Les valeurs moyennes de la teneur en chlorophylle varient de 20.23unités CCM pour la variété Djanet sous régime pluvial SI0 à 24.67unités CCM pour la variété Hidhab

sous régime d'irrigation SI5 (Figure 34). L'ensemble tourne autour d'une moyenne générale de 22.41 unités CCM.

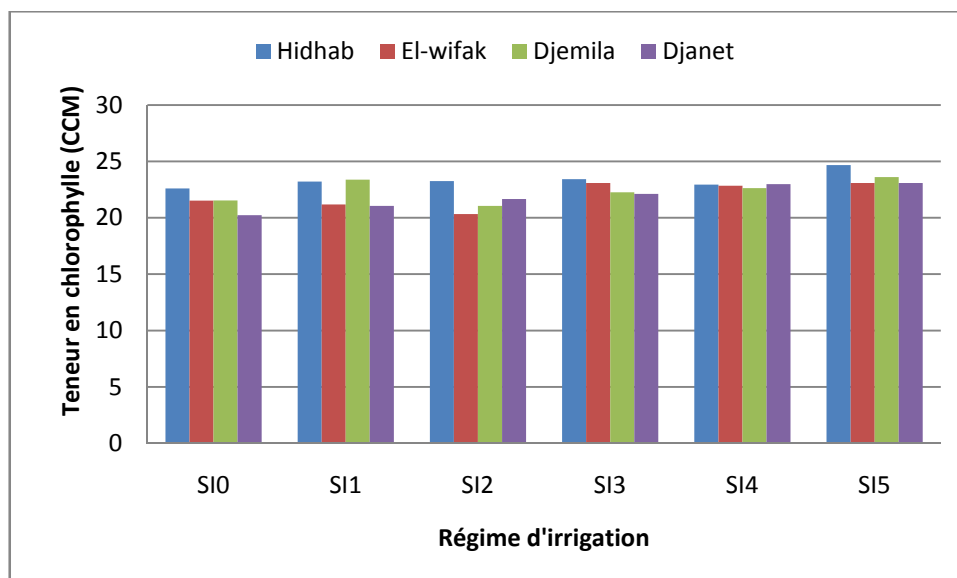


Figure 34. Teneur en chlorophylle de la feuille étandard 2014/2015

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 1.29 unité CCM déterminant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué du régime d'irrigation SI5 avec une valeur moyenne de 23.62 unités CCM. Le deuxième groupe est présenté par le régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 21.47 unités CCM.

Parallèlement, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 1.06 unité CCM indiquant la présence de deux groupes de variétés aux comportements différents. Le premier groupe est constitué de la variété Hidhab avec une valeur moyenne de 23.35 unités CCM. Le deuxième groupe est formé par les deux variétés El-wifak, et Djanet avec des valeurs moyennes respectives de 22.01 unités CCM et 21.86 unités CCM.

En première année d'expérimentation de notre étude, la variable régime d'irrigation ne différait pas significativement ($P > 0.05$) entre les différents traitements d'irrigation testés. Ce paramètre étant mesuré au stade épiaison, juste après l'application d'une irrigation au stade montaison à partir du 2^{ème} nœud (Z32-Z39) a fait que les régimes SI3, SI4 et SI5 aient la plus importante moyenne des traitements avec des valeurs non significatives de 29.63 unités, 27.77 unités et 28.53 unités CCM respectivement. Cela nous confirme que la teneur en chlorophylle est un caractère génétique qui n'est pas

susceptible à la disponibilité de l'eau du sol. Ce résultat nous aligne à Kulshreshtha et al. (1987) qui ont démontré, à travers leurs travaux sur les variabilités de la teneur en chlorophylle chez des cultivars de blé tendre sensibles et tolérants à la sécheresse, que le stress hydrique n'avait aucun effet sur la teneur en chlorophylle.

La teneur en chlorophylle élevée sous les deux régimes d'irrigation SI2 et SI5, tous deux irrigués au stade début montaison à 1 nœud (Z31), profite du deuxième apport de fertilisation azotée à l'urée (46% N) au stade fin tallage/début montaison (épi à 1 cm), ce qui fait augmenter la teneur en chlorophylle pour l'ensemble des quatre génotypes, conformément à ce qui a été rapporté par Soltner (2012) concernant l'application de la fertilisation azotée à ce stade.

Durant la deuxième année d'expérimentation, les valeurs moyennes de la teneur en chlorophylle étaient moins importantes que celle de la première année, inversement aux valeurs moyennes de la surface foliaire.

Ce paramètre étant toujours mesuré au stade épiaison, fait que les régimes SI1, SI3, SI4 et SI5 préalablement irrigués au stade montaison à partir du 2^{ème} nœud (Z32-Z39), enregistraient des valeurs moyennes respectives de 22.21 unités, 22.73 unités, 22.85 unités et 23.62 unités CCM et furent significativement différents du régime d'irrigation SI2 et du régime pluvial (SI0).

Bien qu'elles furent significatives, les différences entre le régime SI5 et pluvial SI0 ne dépassait pas 11%. Cette situation met en évidence le potentiel appréciable des génotypes testés pour leur tolérance au stress hydrique et nous permet de joindre Richards et al. (2009) qui ont montré que les génotypes qui maintiennent une teneur en chlorophylle élevée sont plus tolérants que ceux qui réduisent fortement leur teneur en chlorophylle sous condition de sécheresse.

Les deux génotypes Hidhab et Djemila, qui manifestaient significativement les teneurs en chlorophylle les plus élevées, plus précisément Djemila avec une teneur moyenne de 29.57 unités CCM en première année dont 31.3 unités CCM sous régime pluvial, se sont montrés fortement tolérants au stress hydrique cela est probablement dû selon Saleem, (2016a) à leur potentiel génétique. Un argument qui reste à vérifier ultérieurement dans des travaux plus approfondis de biologie moléculaire pour identifier le gène ou les gènes responsable de ce caractère.

De même pour la deuxième année d'expérimentation, avec des valeurs moyennes respectives de 23.35 unités et 22.41 unités CCM, les deux cultivars Hidhab et Djemila

présentaient une bonne stabilité de la chlorophylle qui fait durer la coloration verdoyante de leurs feuillages.

Signalons aussi, que certaines recherches ont également montré que la production de composés phénoliques était stimulé sous conditions de déficit hydrique, réduisant ainsi la synthèse de la chlorophylle de types 'a' et 'b' et abaissant la teneur en chlorophylle dans la feuille, ce qui engendrerait une réduction de l'activité photosynthétique et par conséquent le rendement en grains (Tas and Tas, 2007; Arjenaki et al., 2012).

3.15. *Corrélation entre le rendement en grains et les paramètres au champ*

3.15.1. *Corrélation entre le rendement et les paramètres au champ 2013/2014*

Le degré d'association entre les différents traits de la plante notés, mesurés et analysés a été jugé, en se servant de la corrélation linéaire simple. Le Tableau 35 présente les coefficients de corrélation entre le rendement en grains et les différents paramètres, d'appréciation au champ, mesurés pour la première année d'expérimentation. Les coefficients de corrélations de Pearson calculés montrent que les variables sont dans l'ensemble moyennement corrélés entre elles.

Tableau 35. Corrélation entre le rendement en grains et les paramètres au champ 2013/2014
(Au-dessous de la diagonale, les valeurs des coefficients de corrélation, au-dessus les probabilités de signification).

Trait	NP/m ²	NT/m ²	NE/m ²	NGE	NG/m ²	PGE	PMG	Rdt Gr	BM	IR	HP	SF	TRE	TCh
NP/m ²		,744	,706	,456	,781	,814	,653	,792	,917	,984	,646	,443	,443	,985
NT/m ²	-,039		,000	,374	,022	,748	,302	,886	,183	,131	,466	,294	,154	,744
NE/m ²	-,045	,439**		,541	,000	,371	,062	,048	,000	,391	,369	,103	,720	,697
NGE	,089	-,106	-,073		,000	,000	,311	,000	,000	,044	,081	,019	,859	,541
NG/m ²	,033	,269*	,723**	,629**		,000	,028	,000	,000	,543	,591	,834	,782	,810
PGE	,028	,039	,107	,767**	,616**		,000	,001	,000	,749	,793	,264	,563	,123
PMG	-,054	,123	,221	,121	,259*	,636**		,057	,010	,017	,001	,845	,522	,557
Rdt Gr	-,032	,017	,234*	,473**	,507**	,390**	,057		,000	,000	,050	,477	,362	,738
BM	-,012	,159	,405**	,467**	,643**	,504**	,304**	,820**		,139	,404	,652	,981	,840
IR	-,002	-,180	-,103	,239*	,073	,038	-,280*	,703**	,176		,000	,416	,060	,525
HP	-,055	,087	,107	-,207	-,064	,032	,372**	-,232*	,100	-,514**		,343	,814	,655
SF	-,095	-,130	-,201	,286*	,026	,138	-,024	,088	,056	,101	,118		,067	,453
TRE	,098	,180	,046	,023	,035	-,074	-,082	,116	-,003	,236	-,030	,238		,310
TCh	-,002	,041	-,049	,077	,030	,192	,074	,042	-,025	,080	-,056	-,098	-,136	

** La corrélation est significative au niveau de 0,01.

* La corrélation est significative au niveau de 0,05.

Comparativement aux études menées sur le blé dans des régions semi-arides telle que la notre, le rendement en grains était significativement et positivement corrélé à ses

principales composantes; à savoir le nombre de grains par unité de surface (NG/m^2) ($r=0.507^{***}$) en concordance avec Brdar et al. (2006), Guendouz et al. (2012) et Merouche et al. (2014); avec le nombre de grains par épi (NG/E) ($r=0.473^{***}$) similairement à Tayyar (2008), Khamssi et Najaphy (2012) et Merouche et al. (2014); avec le poids de grains par épi (PG/E) ($r=0.390^{**}$) en accord avec Khakwani et al. (2012) et enfin ; avec le nombre d'épi par unité de surface (NE) ($r=0.234^*$) en consentement avec Brdar et al. (2006), Guendouz et al. (2012) et Merouche et al. (2014).

En effet, Van Ginkel et al. (1998) ont constaté que le nombre de grains/épi était un critère de sélection pour le rendement en grains élevé sous conditions irriguées, mais négativement corrélé avec le rendement en grains sous condition de sécheresse tardive. Le même raisonnement, concernant le poids de grains par épi, a été appréhendé par Tayyar (2008). Pour en justifier une telle situation, Fischer et Stockman, (1986) et Richards (1992) rapportaient qu'une bonne disponibilité des assimilats pour les épis en croissance pourrait engendrer une plus grande fertilité des fleurs et donneraient plus de grains.

De même, le rendement en grains était positivement et significativement corrélé à la biomasse aérienne ($r=0.820^{***}$) et à l'indice de récolte ($r=0.703^{***}$) ce qui est en accord avec les résultats de Khakwani et al. (2012) et Egesel et al. (2007). Bien qu'aucune corrélation significative n'a été observée entre le rendement en grains et le PMG ($r=0.057$).

En revanche, une corrélation significative et négative a été enregistrée entre le rendement en grains et la hauteur de la végétation ($r=-0,232^*$), ceci concorde avec les résultats de Richards (1996), Sio-Se Merbah et al. (2006) et Khamssi et Najaphy (2012) qui ont montré que la stature semi-naine était préférable sous condition de sécheresse de fin de campagne.

Le nombre d'épi par unité de surface (NE) corrélait positivement et significativement avec le nombre de grains par unité de surface (NG/m^2) ($r=0.723^{***}$) en concordance avec Guendouz et al. (2012), avec la biomasse aérienne ($r=0.405^{***}$) en consentement avec Khakwani et al. (2012) et avec le nombre de talles ($r=0.439^{***}$) conformément à Douglas et al. (1994) et Soltani et al. (2006) qui ont constaté que les grosses graines avaient l'avantage de produire des talles plus vigoureuses.

Le nombre de grain par épi NGE corrélait positivement et significativement avec le poids de grains par épi ($r=0.767^{***}$) similairement à Khakwani et al. (2012), avec le nombre de grain par unité de surface ($r=0.629^{***}$) en agrément avec Brdar et al. (2006)

Guendouz et *al.* (2012), à la biomasse aérienne ($r=0.467^{***}$) et à l'indice de récolte ($r=0.239^*$) en concordance avec Khakwani et *al.* (2012) et la surface foliaire ($r=0.286^*$).

Le poids de grains par épi PGE corrélait positivement et significativement avec le PMG ($r=0.636^{***}$) et la biomasse aérienne ($r=0.504^{***}$) ce qui concorde avec Khakwani et *al.* (2012).

Le PMG corrélait positivement et significativement avec la hauteur des plantes ($r=0.372^{**}$) similairement à Tayyar (2008) et la biomasse aérienne en arrangement avec ($r=0.304^{**}$) Khakwani et *al.*(2012), et négativement avec l'indice de récolte ($r=-0.280^*$).

La hauteur des plantes corrélait négativement et significativement avec l'indice de récolte ($r=-0.514^{***}$) cela concorde avec Austin (1994) qui a suggéré qu'un indice de récolte élevé n'est obtenu qu'avec de courts épis sous une nutrition minérale améliorée au stade juvénile de l'épi.

Notons aussi que la surface foliaire est en affinité croissante avec la TRE ($r=0.238$) mais décroissante avec le teneur en chlorophylle ($r=-0.098$) indiquant que la TRE est positivement proportionnelle à la surface foliaire alors que la teneur en chlorophylle lui est inversement proportionnelle.

3.15.2. Corrélation entre le rendement et les paramètres au champ 2014/2015

Durant la deuxième année d'expérimentation, la même tendance a pu être enregistrée pour les corrélations entre le rendement en grains et ses composantes. La corrélation linéaire simple illustrée dans le tableau 36 montre que les variables sont dans l'ensemble bien corrélées entre elles.

Le rendement en grains était significativement et positivement corrélé à ses principales composantes à savoir ; le nombre d'épi ($r=0.349^{**}$) et le nombre de grains par unité de surface ($r=0.316^{**}$) ce qui est en consentement avec Brdar et *al.* (2006), Guendouz et *al.* (2012) et Merouche et *al.* (2014), De même pour la biomasse aérienne ($r=0.724^{**}$) et l'indice de récolte ($r=0.689^{**}$) ce qui est en accord avec les résultats de Khakwani et *al.* (2012) et Egesel et *al.* (2007).

Tableau 36. Corrélation entre le rendement en grains et les paramètres au champ 2014/2015
(Au-dessous de la diagonale, les valeurs des coefficients de corrélation, au-dessus les probabilités de signification).

Trait	NP/m ²	NT/m ²	NE/m ²	NGE	NG/m ²	PGE	PMG	Rdt Gr	BM	IR	HP	SF	TRE	TCh
NP/m ²		,001	,091	,393	,435	,869	,899	,589	,502	,945	,871	,946	,496	,483
NT/m ²	,398**		,954	,771	,806	,020	,159	,153	,895	,702	,589	,990	,099	,686
NE/m ²	-,204	,007		,775	,000	,194	,391	,005	,155	,101	,002	,465	,341	,733
NGE	,105	-,036	,035		,000	,072	,412	,245	,585	,185	,013	,970	,472	,777
NG/m ²	-,096	-,030	,770**	,625**		,061	,509	,012	,193	,052	,000	,516	,919	,904
PGE	,020	-,276*	,157	,218	,227		,371	,062	,074	,087	,023	,033	,992	,645
PMG	,017	-,186	,115	,111	,089	,119		,274	,004	,211	,668	,093	,200	,390
Rdt Gr	,069	,181	,349**	,150	,316*	,235	,147		,000	,000	,087	,008	,068	,751
BM	,092	,018	,194	,076	,180	,243	,405**	,724**		,978	,129	,242	,620	,180
IR	-,009	,053	,223	,183	,266	,233	-,180	,689**	,004		,786	,007	,993	,887
HP	-,022	,073	,397**	,330*	,496**	,301*	-,062	,231	,217	-,039		,375	,216	,685
SF	,009	-,002	,094	,005	,084	,267*	,229	,343**	,170	,378**	,125		,085	,072
TRE	-,085	-,203	-,120	,092	,013	,001	,176	-,240	-,072	-,001	-,175	,223		,184
TCh	-,084	-,049	,042	-,035	,015	-,056	,114	,040	,183	,020	-,055	,225	,164	

** Corrélation est significatif au niveau de 0,01.

* Corrélation est significatif au niveau de 0,05.

Le nombre de talles corrélait significativement et positivement avec le nombre de plantes installées ($r=0.398^{**}$) conformément à Douglas et *al.* (1994) et Soltani et *al.* (2006) et négativement avec le poids de grains par épi ($r=-0.276^*$).

Le nombre de grains par unité de surface (NG/m²) corrélait positivement et significativement avec le nombre d'épi par unité de surface ($r=0.770^{**}$) et le nombre de grains par épi ($r=0.625^{**}$) similairement, aux résultats obtenus par Guendouz et *al.* (2012) et avec la hauteur des plantes ($r=0.496^{**}$).

Le PMG corrélait positivement et significativement avec la biomasse aérienne ($r=0.405^{**}$) en concordance avec Khakwani et *al.* (2012).

La hauteur de la végétation corrélait significativement et positivement avec le nombre d'épi par unité de surface ($r=0.397^{**}$) similairement à Tayyar (2008) et Khakwani et *al.* (2012), autant qu'avec le nombre de grains par épi ($r=0.330^*$) en agrément avec Khakwani et *al.*(2012) et le poids de grains par épi ($r=0.301^*$) en concordance avec Tayyar (2008) et Khakwani et *al.* (2012) et enfin, le nombre de grains par unité de surface ($r=0.496^{**}$). Cela est fort probablement dû au caractère génétique, en effet selon Butler et *al.* (2005), les génotypes de taille semi-naines performaient des caractéristiques plus favorables de l'épi et produisaient plus de grains.

La surface foliaire était positivement et significativement corrélée au rendement en grains ($r=0.343^{**}$) et le poids de grains par épi ($r=0.267^*$). Ce paramètre se présentait à des moyennes plus importantes par rapport à la première année d'expérimentation, du fait que la demande climatique était plus importante en deuxième année d'expérimentation et que les irrigations y étaient appliquées au nombre double pour en satisfaire les besoins en eau des plantes. Tout cela a fait que ce paramètre ait plus de dimension en raison de la surface de la feuille étendue qu'en première année. À cela, Liu et *al.* (2001) ont indiqué que le stress hydrique sévère augmentait la surface foliaire beaucoup plus qu'un stress hydrique modéré après réhydratation.

Ghanbari-Malidarreh (2010) a rapporté que l'assimilation actuelle, en tant que source de carbone pour le remplissage du grain, dépend de l'interception de la lumière par les surfaces vertes viables de la plante en post-anthèse en raison de la sénescence naturelle et de l'effet de divers stress (contraintes de croissance). D'où l'importance d'un couvert végétal dense et de durabilité 'stay green' prolongée favorisant la migration des assimilats photosynthétiques nécessaires au remplissage des grains, comme cela a été rapporté par Blum (1985), et offre un temps additionnel aux plantes pour transférer les réserves des feuilles aux grains contribuant à plus de trois quarts du rendement final en grains (Mu et *al.*, 2010). Cette association a été déjà démontrée par Borrell et *al.* (2000) et Izanloo et *al.* (2008) qui ont trouvé que la capacité photosynthétique sous stress hydrique des cultivars 'stay-green' assure la disponibilité continue de nouveaux assimilats et peut potentiellement améliorer la taille des grains. De plus, Spano et *al.* (2003) ont signalé une augmentation de 12% de la taille des grains des géotypes restant-vert de blé dur.

Richards et *al.* (2001) ont souligné que la faculté 'stay-green' pourrait être un trait utile dans les environnements à forte probabilité de précipitations pendant le remplissage des grains le cas de notre région d'étude caractérisée par les fortes pluies orageuses engendrées par les fortes températures printanières pendant le stade terminal du cycle végétatif du blé tendre. Notons qu'en Royaume-Uni, Foulkes et *al.* (2007) ont signalé une corrélation positive entre la surface de la feuille étendue restant verte et le rendement en période de sécheresse. Les plantes à caractéristique 'stay-green' sont dotées davantage de tissus photosynthétiques qui leurs permettent de produire plus d'assimilats et d'extraire plus d'eau du sol pour un meilleur rendement (Richards et *al.*, 2001).

4. Paramètres de qualité meunière

La qualité du grain de blé est une combinaison de caractéristiques physiques et chimiques. Leur expression dépend de leur nature génétique ainsi que de l'influence de l'environnement (Johansson, 2002 ; Johansson et *al.*, 2004). en effet, la disponibilité limitée de l'eau et la répartition irrégulières des pluies pendant le cycle de croissance du blé peuvent entraîner une grande variabilité du rendement et de la teneur en protéines affectant la qualité du pain (Bonfil et *al.*, 2004). D'après Altenbach et *al.* (2003), les interactions environnementales pendant le remplissage des grains modifient la durée du cycle le développement du grain et influencent son poids final aussi bien que ses teneurs en protéines et en amidon. Ainsi, les géotypes qui présentent une grande stabilité et de faibles interactions avec l'environnement sont les plus souhaitables dans les programmes de sélection des plantes (Tayyar, 2010).

4.1. Teneur en protéines du grain

4.1.1. Teneur en protéines du grain 2013/2014

L'analyse de la variance de la teneur en protéines indique un effet géotype très hautement significatif ($P < 0.001$), bien que l'effet régime d'irrigation est hautement significatif ($P = 0.006$) (Tableau 37). Ceux-ci suggèrent la présence, d'une part, de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part, de différences significatives parmi les régimes d'eau testés pour ce paramètre.

Tableau 37. Analyse de la variance de la teneur en protéines du grain 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	1,402	0,701	1,507	0,232
Régime d'irrigation (I)	5	8,679	1,736	3,732	0,006
Géotype (G)	3	15,205	5,068	10,895	0,000
I×G	15	10,083	0,672	1,445	0,167
Résiduelle	46	21,398	0,465		
Total	71	56,767			

Les valeurs moyennes de la teneur en protéines varient de 11.73% pour la variété Djanet sous régime d'irrigation SI4 à 14.40% pour la variété Hidhab sous régime pluvial (SI0) (Figure 35). L'ensemble balance autour d'une moyenne générale de 12.78%.

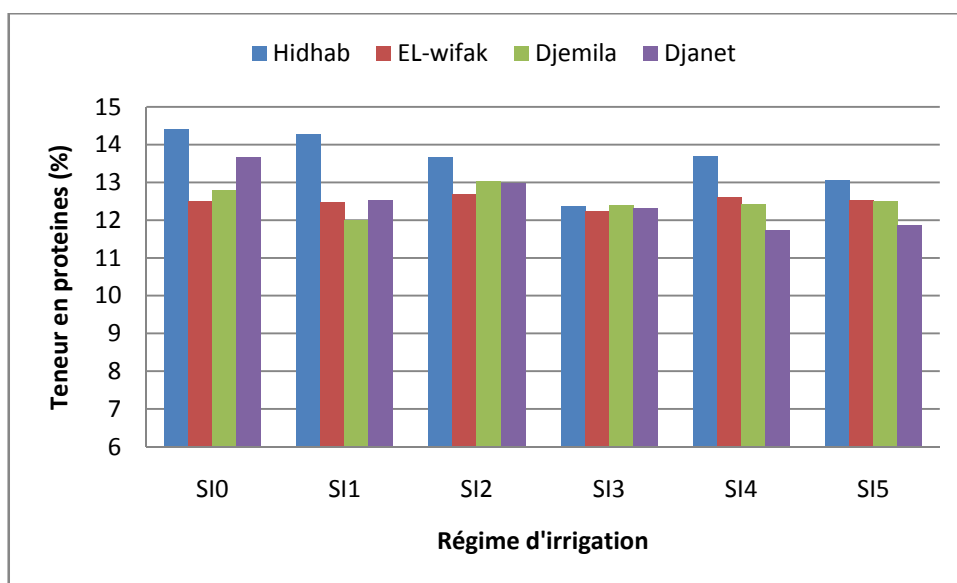


Figure 35. Teneur en protéines du grain 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 0.56% déterminant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué par le régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 13.34%. Le deuxième groupe est composé par les deux régimes d'irrigation SI3 et SI5 avec deux valeurs moyennes respectives de 12.33% et 12.49%.

Parallèlement, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 0.46% indiquant la présence de deux groupes de variétés aux comportements différents. Le premier groupe est constitué de la variété Hidhab avec une valeur moyenne de 13.58% et un deuxième groupe formé des trois variétés El-wifak, Djanet et Djemila avec des valeurs moyennes quasi-identiques de 12.52%.

4.1.2. Teneur en protéines du grain 2014/2015

L'analyse de la variance de la teneur en protéines indique un effet génotype très hautement significatif ($P < 0.001$) d'autant qu'il en est pour l'effet régime d'irrigation (Tableau 38). Ceux ci suggèrent la présence, d'une part de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part de différences significatives entre les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 38. Analyse de la variance de la teneur en protéines du grain 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	1	0,359	0,359	1,847	0,187
Régime d'irrigation (I)	5	7,227	1,445	7,439	0,000
Génotype (G)	3	22,331	7,444	38,310	0,000
I×G	15	3,423	0,228	1,174	0,355
Résiduelle	23	4,469	0,194		
Total	47	37,808			

Les valeurs moyennes de la teneur en protéines varient de 11.22% pour la variété Djanet sous régime d'irrigation SI4 à 14.46% pour la variété Hidhab sous régime d'irrigation (SI1) (Figure 36), l'ensemble oscille autour d'une moyenne générale de 12.93%.

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 0.36% déterminant la présence de trois groupes de régime d'irrigation aux comportements différents. Le premier groupe est constitué du régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 13.64%. Le deuxième groupe formé du régime d'irrigation SI1 dont la valeur moyenne est de 13.25%. Le troisième groupe est composé par les quatre régimes d'irrigation SI2, SI3, SI4 et SI5 avec des valeurs moyennes décroissantes allant de 12.77% et 12.57%.

Parallèlement, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 0.29% indiquant la présence de trois groupes de variétés aux comportements différents. Le premier groupe est constitué de la variété Hidhab avec une valeur moyenne de 13.86%. Un deuxième groupe formé des deux variétés Djemila et El-wifak, avec des valeurs moyennes de 13.02% et 12.90% respectivement. Un troisième groupe représenté par la variété Djanet dont la valeur moyenne de la teneur en protéines est de 11.94%.

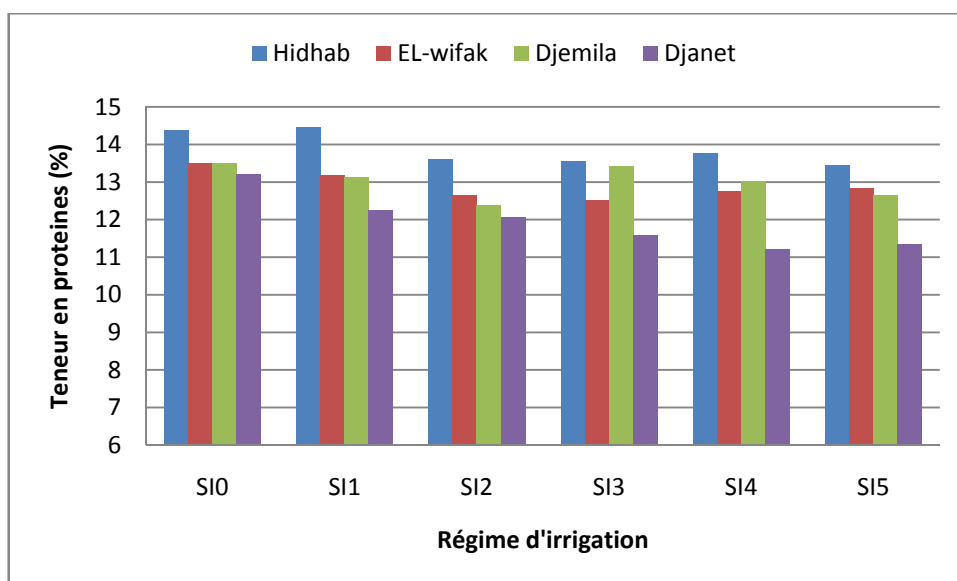


Figure 36. Teneur en protéines du grain 2014/2015

La teneur en protéines du grain de blé est un facteur critique dans la fabrication du pain. Une teneur élevée en protéines est associée aux caractéristiques de la fabrication d'un bon pain (Marinciu et Săulescu, 2008). Selon Feillet (2000), la teneur en protéines des grains varie entre 8 et 14% de la matière sèche.

La teneur en protéines dépend des conditions climatiques pendant les différents stades de développement du blé (Johansson et *al.*, 2002). Durant les deux années d'expérimentation et sous régime pluvial (SI0) de notre région d'étude, les plus fortes teneurs en protéines ont été obtenues conjointement avec les plus faibles rendements en grains, une teneur de 13.34% à un rendement de 251.25g.m⁻² en 2013/14 et une teneur de 13,64% à un rendement de 161.14g.m⁻² en 2014/15. Selon Tayyar (2010), les hautes températures journalières et le stress hydrique au printemps, coïncidant avec le stade remplissage du grain, réduisent la durée de ce stade, ce qui résulte en une maturité plus précoce des grains et un rendement en grains plus faible mais à une teneur en protéines plus élevée. En effet, le stress hydrique et les températures élevées pendant la période de remplissage limitent l'accumulation d'amidon dans le grain causant une forte concentration de protéines. Des résultats similaires ont été rapportés par Sowers et *al.* (1994), Saint Pierre et *al.* (2008). De même, Gooding et *al.* (2003) et Erekul et *al.* (2012) ont confirmé que dans des conditions de croissance favorables, l'amidon et la protéine s'accumulent simultanément dans le grain, alors que les températures élevées et le stress hydrique empêchent souvent l'accumulation de l'amidon et peuvent entraîner une augmentation de la teneur en protéines du grain.

En revanche, avec l'application des différents régimes d'irrigation, et inversement à leur impact sur l'amélioration du rendement, la teneur en protéines des grains commencent à diminuer significativement jusqu'à atteindre des valeurs minimales de l'ordre de 12.33% sous SI3 en 2013/14 et 12.57% sous SI5 en 2014/15. A ce point Malik (2009) rapporte que la teneur en protéines de la farine augmente de manière significative sous déficit hydrique principalement en raison du taux d'accumulation plus élevé d'azote (N) et du taux d'accumulation plus faible d'hydrates de carbone. Alors que l'irrigation peut, d'autre part, diminuer la teneur en protéines de la farine par dilution de l'azote avec les hydrates de carbone (Ozturk et Aydin, 2004).

Notons bien aussi que la variété améliorée Hidhab a manifesté une teneur en protéines significativement différente, par rapport aux restes des génotypes testés, de l'ordre de 13.58 % et 13.86% respectivement pour les deux années d'expérimentation 2013/14 et 2014/15 dévoilant un appréciable potentiel génétique pour la teneur en protéines. En effet, des études antérieures ont également souligné que la teneur en protéines chez le blé dépendait principalement du génotype (Johnson et *al.*, 1985 ; Stoddard et Marshall, 1990 ; Tayyar et Gül, 2008 ; Tayyar, 2010)

4.2. Teneur en eau du grain

4.2.1. Teneur en eau du grain 2013/2014

L'analyse de la variance de la teneur en eau de la farine des grains du blé tendre, présentée dans le Tableau 39, indique un effet génotype très hautement significatif ($P < 0.001$) bien que l'effet du régime d'irrigation est de même hautement significatif ($P = 0.007$). Ceux-ci suggèrent la présence d'une part, de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part, de différences significatives entre les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 39. Analyse de la variance de la teneur en eau du grain 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	0,010	0,005	0,057	0,945
Régime d'irrigation (I)	5	1,626	0,325	3,713	0,007
Génotype (G)	3	4,102	1,367	15,605	0,000
I×G	15	1,201	0,080	0,914	0,555
Résiduelle	46	4,030	0,088		
Total	71	10,969			

Les valeurs moyennes de la teneur en eau des grains varient de 9.37% pour la variété Hidhab sous régime d'irrigation SI1 à 10.70% pour la variété Djemila sous régime d'irrigation SI5 (Figure 37). L'ensemble fluctue autour d'une moyenne générale de 10.20%.

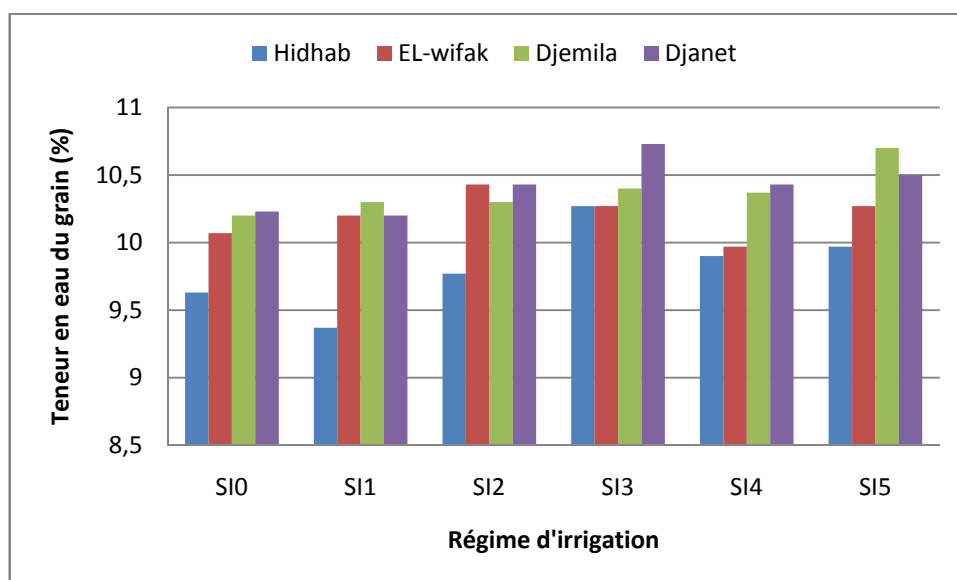


Figure 37. Teneur en eau du grain 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 0.24% marquant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué par le régime d'irrigation SI3 avec une valeur moyenne de 10.42%. Le deuxième groupe est composé du régime pluvial (SI0) en plus du régime d'irrigation SI1 autour d'une valeur moyenne de 10.02%.

Simultanément, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 0.20% indiquant la présence de trois groupes de variétés aux comportements différents. Le premier groupe est composé des deux génotypes introduits Djanet et Djemila avec des valeurs moyennes de 10.42% et 10.38% respectivement. Un deuxième groupe constitué de la variété El-wifak avec une valeur moyenne de 10.20%. Enfin, le cultivar Hidhab constitue le troisième groupe avec une valeur moyenne de 9.82%.

4.2.2. Teneur en eau du grain 2014/2015

L'analyse de la variance de la teneur en eau de la farine du blé tendre indique un effet régime d'irrigation très hautement significatif ($P < 0.001$) tandis que l'effet génotype

est non significatif (Tableau 40). Ceci suggère la présence de différences phénotypiques significatives parmi les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 40. Analyse de la variance de la teneur en eau du grain 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	1	0,491	0,491	3,213	0,086
Régime d'irrigation (I)	5	5,384	1,077	7,046	0,000
Génotype (G)	3	0,206	0,069	0,449	0,720
I×G	15	1,943	0,130	0,848	0,622
Résiduelle	23	3,515	0,153		
Total	47	11,539			

Les valeurs moyennes de la teneur en eau varient aux alentours de 9.80% pour la variété El-wifak sous régime pluvial (SI0) et régime d'irrigation SI1 à 11.87% pour la variété Djenat sous régime d'irrigation SI5 (Figure 38). L'ensemble gravite autour d'une moyenne générale de 10.63%.

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 0.32% marquant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est composé des deux régimes d'irrigation SI4 et SI5 dont les valeurs moyennes de la teneur en eau sont de 10.94% et de 10.98% respectivement. Le deuxième groupe est constitué du régime pluvial (SI0) en plus du régime d'irrigation SI1 avec deux valeurs moyennes respectives de 10.17% et 10.14%.

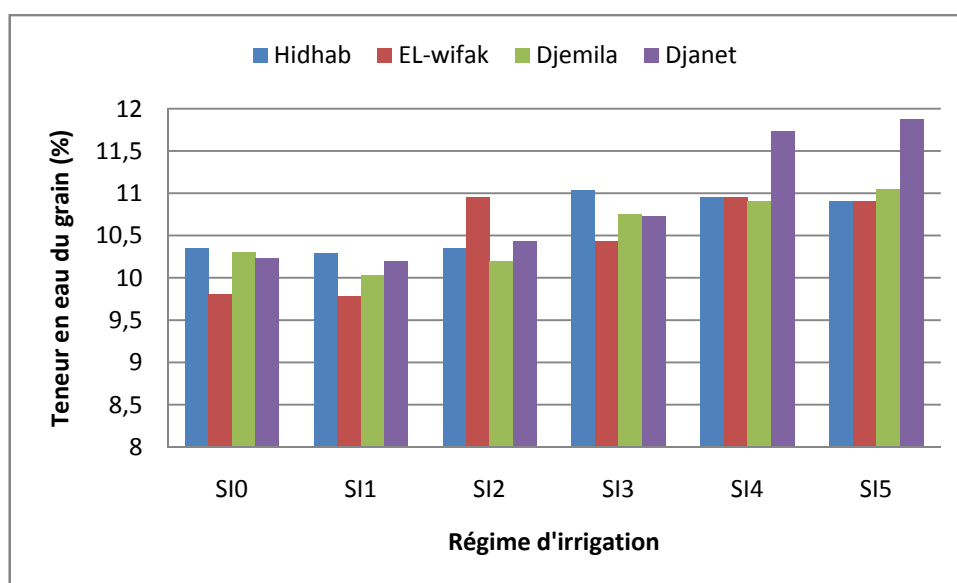


Figure 38. Teneur en eau du grain 2014/2015

D'après, Bonjean et Picard (1990), la teneur en eau du grain de blé tendre est d'importance cruciale pour les procédés post-récolte. Une teneur en eau élevée des grains entraînerait une activité microbienne plus importante qui n'est pas appréciable pour le stockage ou l'industrie meunière. Dans cette étude, les irrigations apportées en phase post-anthèse aux deux stades ; floraison (Z65-Z69) pour les deux régimes SI2 et SI5 et remplissage-grain laiteux (Z70-Z79) pour les trois régimes SI3, SI4 et SI5 ont augmenté significativement la teneur en eau des grains sous régime d'irrigation SI5 de 3.30% en première année 2013/14 et 7.96% en deuxième année 2014/15 par rapport au régime pluvial (SI0), tout de même ces valeurs restent, selon Feillet (2000); Ozturk et Aydin (2004), très acceptables (<11%) et très favorables aux conditions de stockage et/ou de procédés de meunerie.

4.3. Indice de sédimentation de Zéleny

4.3.1. Indice de sédimentation de Zéleny 2013/2014

L'analyse de la variance de l'indice de sédimentation, illustrée dans le Tableau 41, indique un effet génotype très hautement significatif ($P < 0.001$) bien que l'effet régime d'irrigation est en soi hautement significatif ($P = 0.008$). Ceux-ci suggèrent la présence, d'une part, de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part, de différences significatives entre les régimes d'eau testés pour ce paramètre.

Tableau 41. Analyse de la variance de l'indice de sédimentation de Zéleny 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	6,778	3,389	1,279	0,288
Régime d'irrigation (I)	5	47,069	9,414	3,553	0,008
Génotype (G)	3	231,708	77,236	29,148	0,000
I×G	15	63,542	4,236	1,599	0,112
Résiduelle	46	121,889	2,650		
Total	71	470,986			

Les valeurs moyennes de l'indice de sédimentation varient de 22.33ml pour la variété Djanet sous régime d'irrigation SI4 à 30.0ml pour la variété Hidhab sous régime d'irrigation SI1 (Figure 39). L'ensemble tourne autour d'une moyenne générale de 25.24ml.

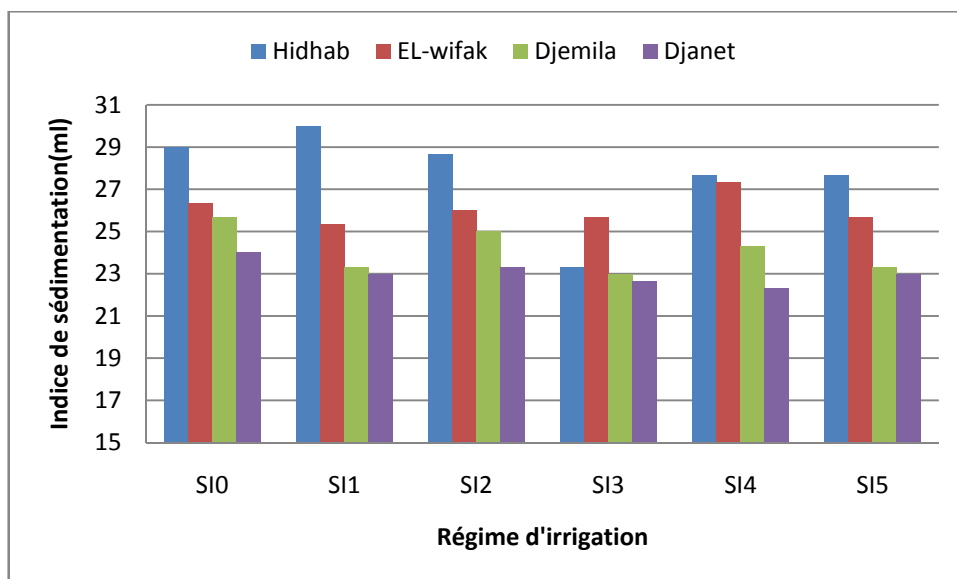


Figure 39. Indice de sédimentation de *Zéleny* 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 1.33ml déterminant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est formé par le régime pluvial (SI0) en plus des trois régimes d'irrigation SI1, SI2 et SI4 et avec des valeurs moyennes respectives de 26.25ml, 25.42, 25.75 et 25.42ml. Le deuxième groupe est constitué par le régime d'irrigation SI3 avec une valeur moyenne de 23.67ml.

Conjointement, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 1.09ml indiquant la présence de trois groupes de variétés aux comportements différents. Le premier groupe est constitué de la variété Hidhab avec une valeur moyenne de 27.72ml. Le deuxième groupe est formé par la variété El-wifak avec une valeur moyenne de 26.06ml. Le troisième groupe est composé des deux variétés Djemila et Djanet avec des valeurs moyennes respectives de 24.11 et 23.06ml.

4.3.2. Indice de sédimentation de *Zéleny* 2014/2015

L'analyse de la variance de l'indice de sédimentation, exprimée en unité de volume, indique un effet génotype très hautement significatif ($P < 0.001$) d'autant qu'il en est pour l'effet régime d'irrigation (Tableau 42). Ceux ci impliquent la présence, d'une part de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part de différences significatives parmi les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 42. Analyse de la variance de l'indice de sédimentation de *Zéleny 14/15*

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	1	3,521	3,521	0,668	0,422
Régime d'irrigation (I)	5	268,604	53,721	10,192	0,000
Génotype (G)	3	705,354	235,118	44,607	0,000
I×G	15	128,771	8,585	1,629	0,142
Résiduelle	23	121,229	5,271		
Total	47	1227,479			

Les valeurs moyennes de l'indice de sédimentation varient de 32.0ml pour la variété Djanet sous les deux régimes d'irrigation SI3 et SI4 à la valeur de 48.0ml pour la variété Hidhab sous régime pluvial (SI0) (Figure 40). L'ensemble balance autour d'une moyenne générale de 40.77ml.

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 1.88ml déterminant la présence de trois groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est formé par le régime pluvial (SI0) et le régime d'irrigation SI1 dont les valeurs moyennes sont respectivement de 44.06ml et 43.44ml. Le deuxième groupe est composé des trois régimes d'irrigation SI3, SI4 et SI5 dont les valeurs moyennes sont de 39.25ml, 40.81ml et 39.81ml respectivement. Le Troisième groupe est constitué du régime pluvial SI2 avec une valeur moyenne de 37.25ml (Annexe 5.32).

Conjointement, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 1.53ml indiquant la présence de trois groupes de variétés aux comportements différents. Le premier groupe est composé des deux variétés El-wifak et Hidhab dont les valeurs moyennes sont de 44.42ml et 44.25ml respectivement. Le deuxième groupe est constitué de la variété Djemila avec une valeur moyenne de 39.21ml. Le troisième groupe est formé de la variété Djenat dont la valeur moyenne est de 35.21ml (Annexe 5.32).

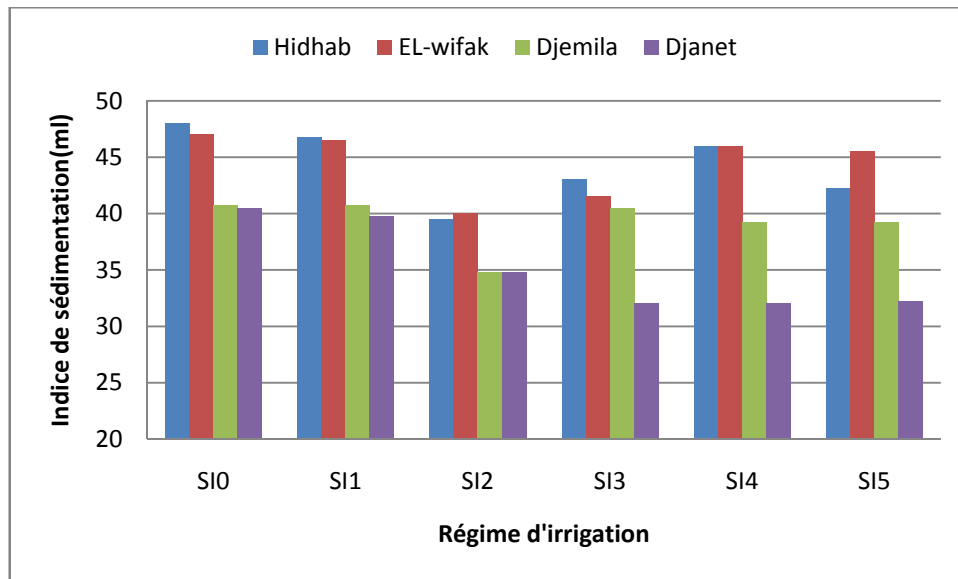


Figure 40. Indice de sédimentation de *Zéleny* 2014/2015

La sédimentation est le test qui donne la meilleure prédiction de la valeur boulangère du pain et de la force de la farine de blé (Fowler et De La Roch, 1975 ; Preston et *al.*, 1982). D'après Erekul et *al.* (2012), le test de sédimentation mesure la capacité de gonflement du gluten qui est largement influencé par la teneur en protéines. En effet, l'indice de sédimentation renseigne également sur la qualité du gluten ; plus la farine est riche en gluten, plus la valeur de cet indice est élevée (Soltner, 2012).

Pour toutes les variétés, les valeurs du volume de sédimentation ont largement dépassé la valeur acceptée de 20 ml pour le blé panifiable (Erekel et *al.*, 2012 ; Soltner, 2012). Durant les deux années d'expérimentation, le génotype amélioré Hidhab de teneur en protéines significative par rapport aux restes des génotypes testés, a aussi résulté des valeurs significatives pour l'indice de *Zéleny* de 27.72ml et de 44.25ml respectivement pour les deux années d'expérimentation consécutives, qualifiant ainsi la farine obtenue, selon la classification présentée par Soltner (2012) de très bonne force boulangère.

Le régime pluvial (SI0) et le régime SI1, privés de toute irrigation durant les stades de croissance post-anthèse notamment les deux stades ; floraison (Z65-Z69) et remplissage-grain laiteux (Z70-Z79), étaient significativement différents du reste des régimes d'irrigation SI3, SI4 et SI5 dont les moyennes étaient plus faibles. En effet, les valeurs élevées de sédimentation obtenues sous les deux régimes SI0 et SI1 caractérisèrent leurs farines de riche en gluten et les qualifièrent de bonne qualité boulangère. Tout de même, cela pourrait être attribué à leurs teneurs élevées en protéines, ce qui concorde avec Saint Pierre et *al.* (2004) et Ozturk et Aydin (2004). De surcroît, Gooding et *al.* (2003) et Erekul et *al.* (2012) ont même confirmé que les températures

élevées (au-dessus de 30°C) et le stress hydrique, vers la fin du remplissage des grains, peuvent entraîner une augmentation de la teneur en protéines du grain et de son indice de sédimentation.

4.4. Teneur en cendres du grain

4.4.1. Teneur en cendres du grain 2013/2014

L'analyse de la variance de la teneur en cendres des grains, illustrée dans le tableau 39, indique un effet génotype très hautement significatif ($P < 0.001$) alors que l'effet régime d'irrigation est non significatif. Ceci suggère la présence de différences génotypiques au sein des 4 variétés testées pour ce paramètre.

Tableau 43. Analyse de la variance de la teneur en cendres du grain 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	0,007	0,003	0,361	0,699
Régime d'irrigation (I)	5	0,067	0,013	1,479	0,215
Génotype (G)	3	1,551	0,517	57,417	0,000
I×G	15	0,053	0,004	0,392	0,974
Résiduelle	46	0,414	0,009		
Total	71	2,091			

Les valeurs moyennes de la teneur en cendres varient de 0.93% pour la variété Djanet sous régime d'irrigation SI4 à 1.40% pour la variété EL-wifak sous régime pluviale (SI0) (Figure 41). L'ensemble oscille autour d'une moyenne générale de 1.16%.

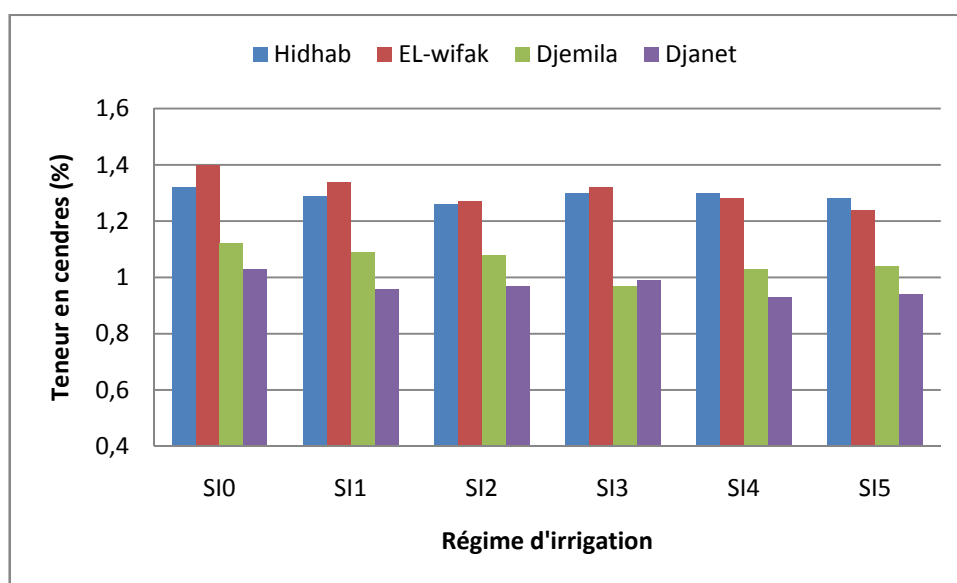


Figure 41. Teneur en cendres du grain 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 0.06% notant la présence de trois groupes de cultivars aux comportements différents. Le premier groupe est formé par les deux variétés El-wifak et Hidhab dont les valeurs moyennes du taux de cendres sont de 1.31% et 1.29% respectivement. Le deuxième groupe est constitué de la variété Djemila avec une valeur moyenne de 1.06%. Le troisième groupe qui présente une teneur en cendres relativement plus faible est représenté par la variété Djanet dont la valeur moyenne est de 0.97%.

4.4.2. Teneur en cendres du grain 2014/2015

L'analyse de la variance de la teneur en cendres indique un effet génotype très hautement significatif ($P < 0.001$), bien que l'effet régime d'irrigation est en soi hautement significatif ($P = 0.001$) (Tableau 44). Ceux ci suggèrent la présence, d'une part de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées et d'autre part de différences significatives entre les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 44. Analyse de la variance de la teneur en cendres du grain 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	1	1,875E-5	1,875E-5	0,003	0,955
Régime d'irrigation (I)	5	0,176	0,035	6,030	0,001
Génotype (G)	3	2,023	0,674	115,358	0,000
I×G	15	0,075	0,005	,854	0,617
Résiduelle	23	0,134	0,006		
Total	47	2,409			

Les valeurs moyennes de la teneur en cendres varient de 1.27% pour la variété Djemila sous régime d'irrigation SI5 à 2.01% pour la variété El-wifak sous régime pluvial (SI0). Le tout fluctue autour d'une moyenne générale de 1.59%.

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 0.06% marquant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est formé par le régime pluvial (SI0) dont la valeur moyenne est de 1.68%. Le deuxième groupe est composé des deux régimes d'irrigation SI4 et SI5 dont les valeurs moyennes sont de 1.54% et 1.49% respectivement.

Parallèlement, la valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 0.05% indiquant la présence de quatre groupes de variétés aux

comportements différents. Le premier groupe, d'un taux de cendre relativement élevé, est représenté par la variété El-wifak dont la valeur moyenne est de 1.90%. Le deuxième groupe est constitué de la variété Hidhab avec une valeur moyenne de 1.63%. Le troisième groupe est formé de la variété Djenat dont la valeur moyenne est de 1.44%. Le quatrième groupe, qui présente un taux de cendres relativement plus faible, est désigné par la variété Djemila dont la valeur moyenne est de 1.37%.

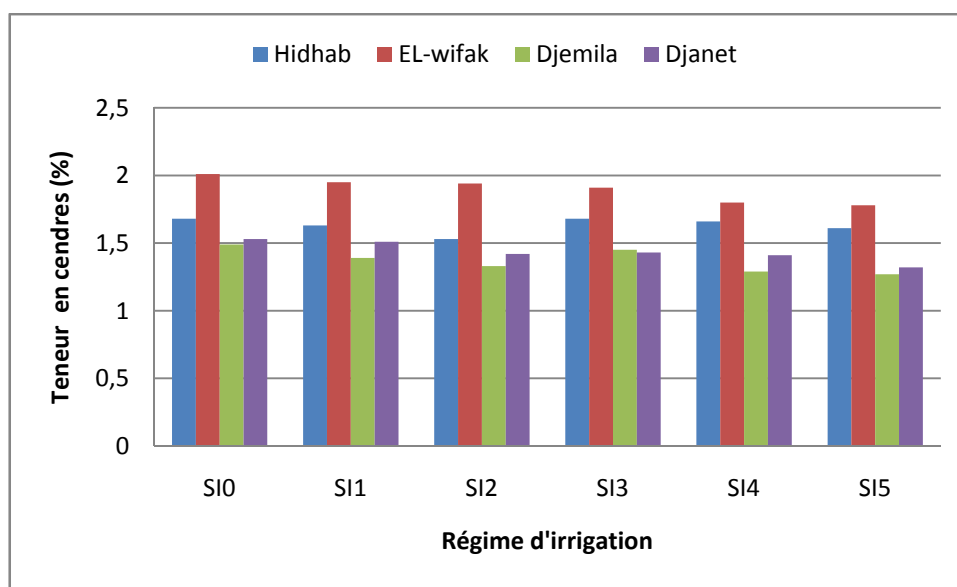


Figure 42. Teneur en cendres du grain 2014/2015

Selon Soltner (2012), la teneur en cendres renseigne sur le taux d'extraction en meunerie. La détermination de la teneur en cendres (composition minérale) est souvent utilisée pour caractériser le degré de pureté de la farine (Feillet, 2000). Le blé panifiable contient normalement de 1,20% à 2,30% de cendres dans le grain entier et les farines présentant une teneur en cendres élevée ne sont pas appréciables (Pittman et Tipples, 1978).

Durant la première année d'expérimentation, les génotypes localement améliorés El-wifak et Hidhab formaient un groupe indifférent dont la valeur moyenne est de l'ordre de 1.3% dominant les deux génotypes nouvellement introduits Djemila et Djanet dont les valeurs moyennes sont respectivement de 1.06% et 0.96%. Ces teneurs expriment des farines peu chargées qui selon Feillet (2000) seront destinées pour la fabrication de pains bis ($0.9\% < TC < 1.3\%$). Durant la deuxième année d'expérimentation, le génotype El-wifak, avec une moyenne de 1.90%, a largement et significativement dominé les génotypes testés, suivi du génotype Hidhab dont la valeur moyenne fut de 1.63%. Ces valeurs relativement élevées par rapport à la première année d'expérimentation,

caractérisent, selon Feillet (2000), des farines à haute teneur en cendre (>1.4%) destinées à la fabrication de pains complets.

Sous conditions d'expérimentation, le régime pluvial (SI0), présentait la plus forte moyenne de la teneur en cendre de l'ordre de 1.22% en première année et 1.68% en deuxième année. Cette augmentation de la teneur en cendre dans les petits grains récoltés sous régime pluvial pourraient être liées à un rapport plus élevé des enveloppes du grain à son albumen amylicé, d'autant que la totalité des cendres s'agglomèrent dans les enveloppes et le germe (au niveau de l'embryon) du grain de blé (Fine, 1972). D'où Feillet (2000) rappelle l'importance d'un rapport albumen/enveloppes élevé dans la caractérisation de la pureté de la farine du blé. Des résultats similaires ont été rapportés par Ozturk et Aydin (2004) sur des parcelles cultivées sous régime continu de stress hydrique.

4.5. Teneur en gluten humide du grain

4.5.1. Teneur en gluten humide du grain 2013/2014

L'analyse de la variance de la teneur en gluten humide, présentée dans le Tableau 45, indique un effet génotype significatif ($P=0.021$) et un effet régime d'irrigation proche de la limite du seuil de signification à 5% ($P=0.057$). Ce ci implique la présence de différences génotypiques au sein des quatre variétés évaluées pour ce paramètre.

Tableau 45. Analyse de la variance de la teneur en gluten humide du grain 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	19,780	9,890	1,010	0,372
Régime d'irrigation (I)	5	114,294	22,859	2,333	0,057
Génotype (G)	3	104,681	34,894	3,562	0,021
I×G	15	143,588	9,573	0,977	0,493
Résiduelle	46	450,632	9,796		
Total	71	832,974			

Les valeurs moyennes du taux de gluten humide varient de 33.68% pour la variété Hidhab sous régime SI5 à 40.90% pour la variété Djanet sous régime pluviale (SI0) (Figure 43), l'ensemble gravite autour d'une moyenne générale de 37.67%.

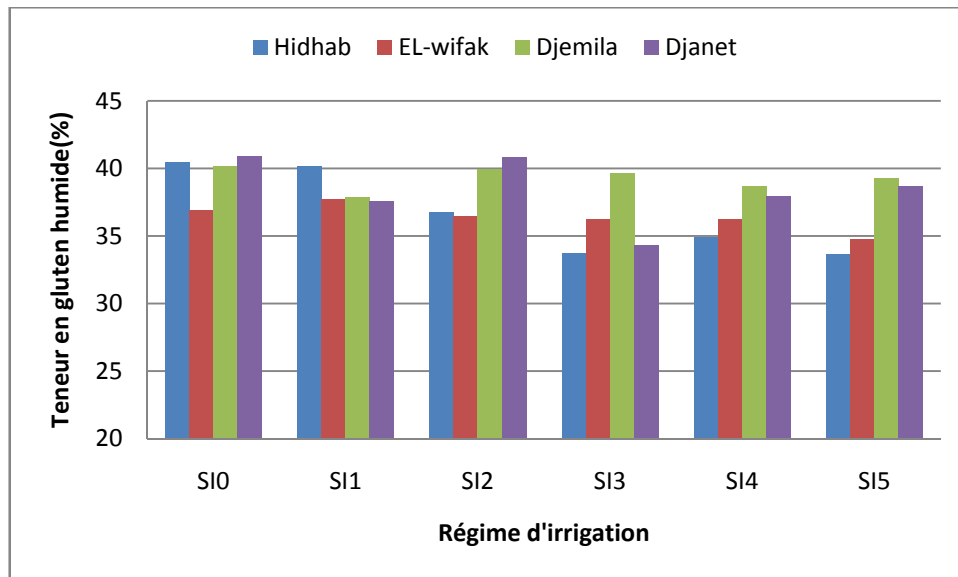


Figure 43. Teneur en gluten humide du grain 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 2.09% déterminant la présence de deux groupes de variété aux comportements complètement différents. Le premier groupe est constitué de la variété Djemila possédant une valeur moyenne de 39.28%. Le deuxième groupe est formé par les deux variétés Hidhab et El-wifak dont les valeurs moyennes sont de 36.62% et 36.40% respectivement.

Notons aussi, que malgré que l'effet régime d'irrigation fut non significatif ($P=0.057$), la comparaison multiple entre les moyennes, en utilisant le test de Fisher, a révélé qu'il existait des différences significatives parmi les six régimes d'eau pour la variable mesurée et dont la plus petite différence significative au seuil de 5% ($P_{pds5\%}$) était de 2.56% déterminant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué du régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 39.63%. Le deuxième groupe est composé des trois régimes d'irrigation SI3, SI4 et SI5 avec des valeurs moyennes respectives de 35.98%, 36.97% et 36.59%.

4.5.2. Teneur en gluten humide du grain 2014/2015

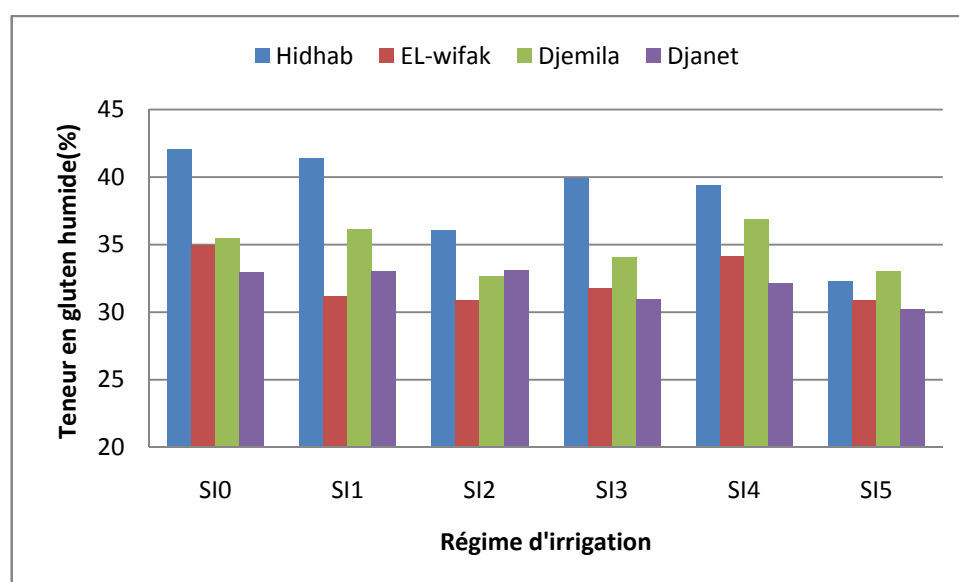
L'analyse de la variance de la teneur en gluten humide des grains indique un effet génotype très hautement significatif ($P<0.001$), tandis que l'effet régime d'irrigation est non significatif (Tableau 46). Ceci implique la présence de différences génotypiques au sein des 4 variétés testées.

Tableau 46. Analyse de la variance du taux de gluten humide du grain 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	1	92,588	92,588	8,192	0,009
Régime d'irrigation (I)	5	126,912	25,382	2,246	0,084
Génotype (G)	3	323,818	107,939	9,550	0,000
I×G	15	87,746	5,850	0,518	0,905
Résiduelle	23	259,962	11,303		
Total	47	891,025			

Les valeurs moyennes de la teneur en gluten humide varient de 30.21% pour la variété Djanet sous régime d'irrigation SI5 à 42.07% pour la variété Hidhab sous régime pluviale (SI0) (Figure 44). L'ensemble tourne autour d'une moyenne générale de 33.76%.

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet génotype est de 2.24% déterminant la présence de deux groupes de variété aux comportements différents. Le premier groupe est constitué de la variété Hidhab dont la valeur moyenne de la teneur en gluten est de 38.54%. Le deuxième groupe est formé par les trois variétés Djemila, EL-wifak et Djanet dont les valeurs moyennes sont, respectivement, de 34.02%, 32.32% et 32.08%.

**Figure 44. Teneur en gluten humide du grain 2014/2015**

L'utilisation du gluten humide 'vital' en panification comme agent correcteur de farine fait accroître la tenue de la pâte (Feillet, 2000). Selon Erekel et al. (2012), la teneur

en gluten humide d'environ 25% de la matière sèche du grain est au niveau moyen à élevé.

Au cours des deux années d'expérimentation, les teneurs en gluten humide les plus élevées ont été enregistrées sous régime pluvial (SI0), avec des valeurs moyennes de 39.63% et 36.37% respectivement. Particulièrement en première année, les régimes d'irrigation d'appoint SI3, SI4 et SI5 appliqués au stade remplissage-grain laiteux ont engendré une diminution significative de la teneur en gluten humide de 10%. Des résultats similaires ont également été rapportés par Kahrman (2007), Shahryari et al. (2011) et Erekul et al. (2012) qui ont confirmé que l'irrigation en post-anthèse altérait certainement les caractéristiques de qualité.

Lors des deux années d'expérimentation, les quatre génotypes de blé testés présentaient des teneurs élevées (>30%) en gluten humide, dépassant même le seuil de 40% pour la variété Hidhab ; 40.47% et 42.07% consécutivement pour les deux années d'expérimentation. Cela pourrait refléter son potentiel génétique à s'adapter au stress hydrique principalement en période de remplissage. En effet, Feillet (2000) rapporte, qu'en stade de remplissage-grain laiteux et sous des températures dépassant 35°C, la teneur en gluten humide a tendance à augmenter en raison du niveau élevé de synthèse des gliadines dotées de gènes qui répondent bien aux chocs thermiques. À une échelle biomoléculaire plus approfondie, Shewry et al. (1992) et Irmak et al. (2008), rapportent que l'adaptabilité aux conditions de stress hydrique est assurée par le maintien d'un niveau de transcription de gènes codants des sous-unités gluténines de haut poids moléculaire (SG-HPM) 5 et 7, remarquablement stables au cours des périodes durant lesquelles les plantes sont soumises à des températures élevées. Une hypothèse qui reste à vérifier, ultérieurement dans d'autres travaux plus spécialisés.

4.6. Indice de chute d'Hagberg

4.6.1. Indice de chute d'Hagberg 2013/2014

L'analyse de la variance de l'indice chute, exprimée en unité de temps, indique un effet régime d'irrigation à la limite du seuil de signification à 5% ($P=0.055$), alors que l'effet génotype est non significatif (Tableau 47). Ce ci implique la présence de différences significatives entre les régimes d'eau testés pour ce paramètre.

Tableau 47. Analyse de la variance de l'indice de chute d'Hagberg 13/14

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	2	6438,194	3219,097	1,744	0,186
Régime d'irrigation (I)	5	21798,611	4359,722	2,362	0,055
Génotype (G)	3	3437,500	1145,833	0,621	0,605
I×G	15	27595,833	1839,722	0,997	0,475
Résiduelle	46	84911,806	1845,909		
Total	71	144181,944			

Les valeurs moyennes de l'indice de chute varient de 358.33sec pour la variété Hidhab sous régime d'irrigation SI2 à 453.33sec pour la variété Djemila sous régime pluvial (SI0) (Figure 45). L'ensemble balance autour d'une moyenne générale de 413.47sec.

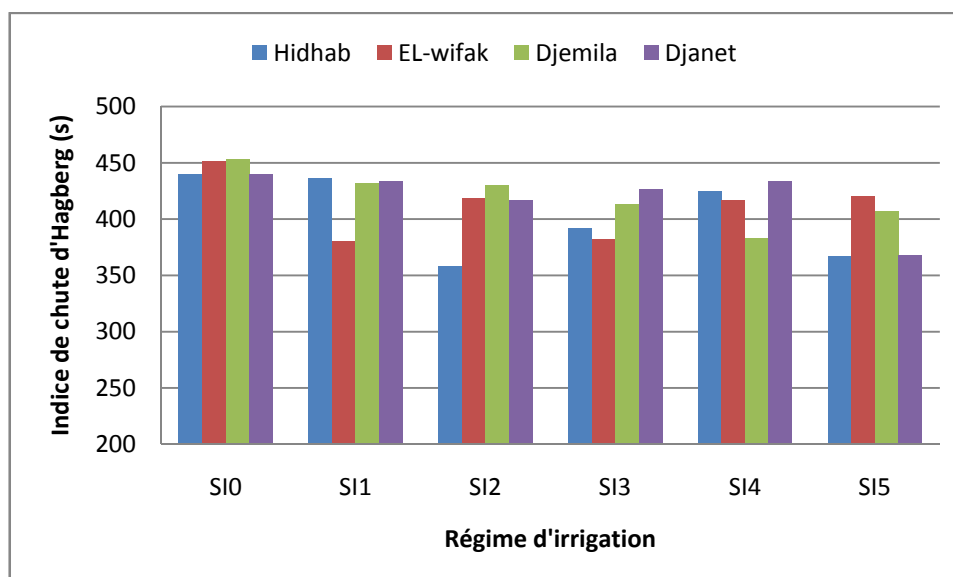


Figure 45. Indice de chute d'Hagberg 2013/2014

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 35.08sec déterminant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements absolument différents. Le premier groupe est constitué par le régime pluvial (SI0) avec une valeur moyenne de 446.25sec. Le deuxième groupe est composé des régimes d'irrigation SI2, SI3 et SI5 avec des valeurs moyennes de 405.83sec, 403.33sec et 390.42sec respectivement.

4.6.2. Indice de chute d'Hagberg 2014/2015

L'analyse de la variance de l'indice de chute d'Hagberg indique un effet régime d'irrigation hautement significatif (P=0.006), bien que l'effet génotype est non significatif

(Tableau 48). Ceci implique la présence de différences significatives entre les régimes d'irrigation testés pour ce paramètre.

Tableau 48. Analyse de la variance de l'indice de chute d'Hagberg 14/15

Source de variation	ddl	SCE	CME	F test	Prob.
Bloc	1	18,750	18,750	0,006	0,941
Régime d'irrigation (I)	5	74135,417	14827,083	4,383	0,006
Génotype (G)	3	24585,417	8195,139	2,423	0,092
I×G	15	50802,083	3386,806	1,001	0,486
Résiduelle	23	77806,250	3382,880		
Total	47	227347,917			

Les valeurs moyennes de l'indice de chute varient de 335sec pour la variété Djemila sous régime d'irrigation SI4 à la valeur de 580sec pour la variété EL-wifak sous régime pluvial (SI0) (Figure 46). L'ensemble oscille autour d'une moyenne générale de 417.71sec.

La valeur prise par la petite différence significative pour l'effet régime d'irrigation est de 47.49sec déterminant la présence de deux groupes de régime d'irrigation aux comportements différents. Le premier groupe est constitué par le régime pluvial (SI0) dont la valeur moyenne est de 497.5sec. Le deuxième groupe est composé des cinq régimes d'irrigation restant et dont les valeurs moyennes varient de 420.63 pour SI1 à 385.63sec pour SI3.

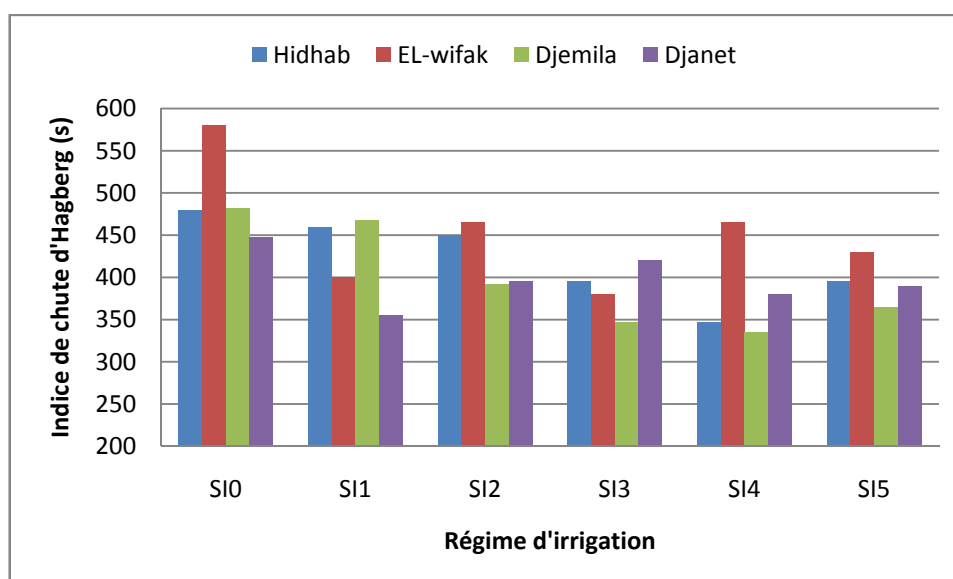


Figure 46. Indice de chute d'Hagberg 2014/2015

L'indice de chute de Hagberg, décèle l'état enzymatique des grains en pré-récolte, principalement la présence d' α -amylase traduisant les mauvaises conditions de récolte et de conservation, et le degré de germination sur pied si survient une période pluvieuse avant la récolte (Soltner, 2012). Pour le blé tendre, Gooding et Davies (1997), rapportaient que l'intervalle optimal de cet indice se situe entre 220-250 secondes et que les farines dont l'indice est inférieur à 120secondes ne sont pas panifiables.

Durant les deux années d'expérimentation, cet intervalle optimal a été dépassé de tous les géotypes de blé testés, ce qui atteste que leurs farines sont pauvres en enzymes, qui peuvent hydrolyser l'amidon en glucose et provoquer une germination des grains sur pied particulièrement en α -amylase.

Les différences de valeurs moyennes, entre le traitement pluvial (SI0) et le régime d'irrigation le plus arrosé (SI5), présentaient une réduction de 14% et 25% respectivement pour les deux années consécutives, elle est même passée à 30%, comme écart moyen maximal, entre SI0 et SI4 durant la deuxième année d'expérimentation. Ceci implique que la disponibilité en eau durant le cycle végétatif de la plante, plus particulièrement au stade remplissage-grain laiteux (Z70-Z79) retarde la maturité des grains ce qui inhibe significativement l'activité amylasique assurant ainsi de bonnes conditions de récolte et de conservation des grains moissonnés. Selon Erekul et *al.* (2012), cette situation est due aux conditions d'humidité optimales courant le stade de remplissage des grains.

De même, Johansson (2002) a confirmé que l'abondance des pluies ou de l'irrigation, en en phase de remplissage du blé tendre, retarde la maturité des grains ce qui inhibe l'activité amylasique aboutissant a des valeurs plus élevées de cet indice. Alors que Gooding et *al.* (2003) ont mentionné que les taux élevés d'humidité et les fortes précipitations, pendant la période de formation de l'amidon, peuvent entraîner une diminution de l'indice de chute.

4.7. Corrélation entre le rendement en grains et la qualité meunière

4.7.1. Corrélation entre le rendement en grains et la qualité meunière 2013/2014

Pour la première année d'expérimentation, l'analyse des coefficients de corrélation, présentée dans le tableau 49, montre que les variables sont dans l'ensemble moyennement corrélés entre elles.

Tableau 49. Corrélation entre le rendement et les paramètres de qualité 2013/2014

(Au-dessous de la diagonale, les valeurs des coefficients de corrélations, au-dessus les probabilités de signification).

Paramètre	Rendement en grains	Teneur en protéines	Teneur en eau	Indice de Zéleny	Teneur en Cendres	T. Gluten humide	Indice d'Hagberg
Rendement en grains		0,630	0,155	0,033	0,000	0,509	0,705
Teneur en protéines	-0,058		0,000	0,000	0,041	0,002	0,001
Teneur en eau	0,169	-0,505**		0,000	0,000	0,315	0,627
Indice de Zéleny	-0,251*	0,648**	-0,737**		0,000	0,509	0,618
Teneur en cendres	-0,444**	0,242*	-0,421**	0,627**		0,028	0,683
T. Gluten humide	0,079	0,365**	-0,120	0,079	-0,259*		0,001
Indice d'Hagberg	-0,045	0,369**	-0,058	0,060	-0,049	0,389**	

** Corrélation est significatif au niveau de 0,01.

* Corrélation est significatif au niveau de 0,05.

Cette analyse révèle une relation négative entre le rendement en grains et la plupart des caractères de qualité; significative avec la teneur en cendres ($r = -0,444^{***}$) et l'indice de sédimentation ($r = -0,251^*$), et non significative avec la teneur en protéines totales ($r = -0,058$) et la teneur en gluten humide ($r = -0,079$). Cela a confirmé les résultats d'études antérieures de Branlard et *al.* (2001) et Williams et *al.* (2008) qui corrélaient une relation négative du rendement en grains avec à la fois la teneur en protéines et le volume de sédimentation.

La teneur en protéine était significativement et positivement corrélée avec l'indice de sédimentation ($r=0,648^{***}$), l'indice de chute ($r= ,369^{***}$) et la teneur en gluten humide ($r=0,365^{**}$), des résultats similaires ont été rapportés par Fowler et De La Roch (1975), Pittman et Tipples (1978), Basset et *al.* (1989), Elgün et *al.* (2002), Ozturk et Aydin (2004), Erekul et Köhn (2006) et Tayyar (2010), et négativement corrélée à la teneur en eau du grain ($r= -0.505^{***}$), en effet selon Ozturk et Aydin (2004), l'irrigation peut diminuer la teneur en protéines de la farine par dilution d'azote avec des hydrates de carbone.

Bien que la teneur en cendres était significativement et positivement corrélée au volume de sédimentation ($r = 0,627^{***}$) et la teneur en protéines ($r=0,242^*$) ce qui concordait avec Ozturk et Aydin (2004) et négativement corrélée à la teneur en eau ($r= -0.421^{***}$) et au gluten humide ($r = -0,259^*$). De même pour l'indice de sédimentation de Zéleny qui est négativement corrélé à la teneur en eau des grains ($r=-0.737$). Ces résultats soutiennent bien les résultats affirmant que les caractères de qualité sont de meilleures performances sous conditions de sécheresse (Tayyar, 2010 ; Aslani et *al.*, 2013).

L'indice de chute de Hagberg est positivement et significativement corrélé à la teneur en gluten humide ($r=0.389^{***}$) et à la teneur en protéines ($r=0.369^{***}$), toutes les deux non significativement corrélées au rendement en grains.

4.7.2. *Corrélation entre le rendement en grains et la qualité meunière 2014/2015*

Pour la deuxième année d'expérimentation, les coefficients de corrélations calculés montrent que les variables sont dans l'ensemble moyennement corrélés entre elles (Tableau 50).

Tableau 50 : Corrélation entre le rendement et les paramètres de qualité 2014/2015

(Au-dessous de la diagonale, les valeurs des coefficients de corrélations, au-dessus les probabilités de signification).

Paramètre	Rendement en grains	Teneur en protéines	Teneur en eau	Indice de Zéleny	Teneur en Cendres	T. Gluten humide	Indice d'Hagberg
Rendement en grains		0,048	0,155	0,000	0,000	0,020	0,210
Teneur en protéines	-0,310*		0,097	0,000	0,833	0,000	0,054
Teneur en eau	0,277	-0,272		0,092	0,107	0,230	0,013
Indice de Zéleny	-0,627**	0,823**	-0,218		0,000	0,008	0,075
Teneur en cendres	-0,874**	0,346	-0,237	0,685**		0,865	0,044
T. Gluten humide	-0,046*	0,758**	-0,081	0,526**	0,012		0,168
Indice d'Hagberg	-0,266	0,344	-0,512*	0,386	0,477*	0,174	

** Corrélation est significatif au niveau de 0,01.

* Corrélation est significatif au niveau de 0,05.

Ainsi le rendement en grains était négativement et significativement corrélé à la plupart des caractères de qualité; volume de sédimentation ($r = -0,627^{***}$), teneur en cendres ($r = -0,874^{***}$), teneur en protéines totales ($r = -0,310^*$) et teneur en gluten humide ($r = -0,046^*$). Cela a confirmé les résultats des études antérieures menées par Ozturk et Aydin, (2004) ; Saint-pierre et *al.* (2008) ; Marinciu et Saulescu, (2008) ; Tayyar, (2010) qui corrélaient une relation négative du rendement en grains avec à la fois la teneur en protéines et le volume de sédimentation.

La teneur en protéine était positivement et significativement corrélée avec le volume de sédimentation ($r = 0,823^{***}$) et la teneur en gluten humide ($r = 0,758^{***}$). Des résultats similaires ont été rapportés par Pittman et Tipples (1978), Elgün et *al.* (2002) Erekul et Köhn (2006) et Tayyar (2010). Alors que la teneur en cendres était positivement corrélée au volume de sédimentation ($r = 0,685^{**}$) et à l'indice de chute ($r = 0,477^*$). Notons aussi qu'aucune relation n'a été observée entre la teneur en eau du grain et l'ensemble des traits étudiés à l'exception du nombre de chute ($r = -0,512^*$).

CONCLUSION

CONCLUSION

En conclusion, les résultats de la présente étude ont montré que le rendement en grains chez les génotypes nouvellement introduits était significativement plus élevé que celui chez les génotypes localement améliorés reflétant leur bonne réponse à l'adoption de l'irrigation d'appoint.

En effet, les rendements maximaux en grains observés, durant les deux années d'expérimentation, chez les deux génotypes introduits ; Djemila (ACSAD 969) et Djanet (ACSAD 899), pourraient être attribués à l'amélioration de leurs composantes de rendement suite à l'adoption de l'irrigation d'appoint.

L'application du régime d'irrigation SI5, qui s'est traduite par une disponibilité permanente et régulière d'une réserve en eau suffisante et optimale, a fait d'une part, préserver la viabilité du pollen, l'implantation des graines et du taux de leur remplissage, et par conséquent, assuré l'apport nécessaire de glucides aux grains en cours de développement, et d'autre part contribué au développement d'une importante biomasse de couleur verdoyante prolongée assurant une photosynthèse très active, plus spécialement durant la phase post-anthèse notamment à travers une surface foliaire plus développée de la feuille étendard, principale source d'une importante quantité d'assimilats remobilisables vers les grains des épillets.

En effet une forte amélioration des performances de traits agronomiques a été nettement enregistrée entre le régime pluvial (SI0) et le régime d'irrigation le plus arrosé (SI5) aboutissant à des augmentations de l'ordre de 30.30% et 18.06% pour le nombre de grains par épi, 32.19% et 28.80% pour le nombre de grains par unité de surface et de 31.07% et 37.83% pour le poids de grains par épi, respectivement au cours des deux années d'expérimentation.

Sous conditions d'irrigation limitée, l'application d'un régime d'irrigation apporté en deux arrosages (SI2); le premier au point de jonction correspondant au stade montaison à 1nœud (Z31), et le second au stade floraison lorsque les anthères sont visibles sur 50% des épis (Z65-Z69) a significativement amélioré le rendement en grains de 14.60% et 11.10% consécutivement durant ces deux années, sans qu'il fût significativement différent du régime le plus arrosé SI5.

En effet, la perte de rendement due à l'irrigation d'appoint limitée (SI2), en comparaison avec le régime le plus arrosé (SI5), est remarquablement faible, estimée à 7.95% et 12.63% consécutivement pour ces deux années, comparativement avec les

économies d'eau d'irrigation estimées à 30% (35mm/50mm) en première année et à presque 50% (75mm/145mm) en deuxième année.

Les deux génotypes de blé tendre Djemila (ACSAD 969) et Djanet (ACSAD 899), nouvellement introduits dans la région de Sétif, se comportaient relativement comme des cultivars à haut rendement et présentaient des moyennes élevées de l'indice de récolte confirmant ainsi leur potentiel génétique à produire un rapport grain/paille satisfaisant et quasi-stable par rapport aux deux autres génotypes locaux.

Le génotype Djanet (ACSAD 899), caractérisé morphologiquement par la plus faible hauteur de végétation (petite taille) et la plus large surface foliaire, manifeste un canopée dense qui contribue activement, d'une part à l'amélioration de sa capacité photosynthétique déterminant la taille des grains et d'autre part à la réduction de l'évaporation du sol préservant une réserve suffisante en eau dans la zone racinaire durant les stades post-anthèse, deux facteurs très importants en l'amélioration du rendement en grains qui ont permis l'obtention d'un rendement maximal de 368.3gm^{-2} sous régime d'irrigation SI2 plus particulièrement durant la première année d'expérimentation. Ces résultats font valoriser le potentiel de production de ce génotype qui pourrait être cultivé avec succès sous irrigation limitée dans notre région d'étude.

De même et sur la base des résultats ressortis de cette étude, il pourrait être conclu aussi que sous conditions pluviales, où de relatives faibles rendements en grains ont été obtenus pour tous les génotypes testés, la plupart des caractéristiques d'appréciation de qualité des farines produites de ces génotypes, tels que la teneur en protéines, le volume de sédimentation et la teneur en gluten humide ont été à des niveaux les plus élevés.

Le génotype Hidhab (HD1220), largement cultivé dans la région de Sétif et dont la mise en place durant les premiers stades végétatifs est bien réussie à travers le nombre de plantes levées, de talles herbacées et d'épis par unité de surface, est apparu plus stable du point de vue rendement en grains au cours de notre étude (298.3gm^{-2} comme valeur maximale). Ce génotype pourrait être maintenu comme un cultivar relativement bien adapté sous conditions pluviales convenablement au système de production actuel très inconfortable par faute de moyens financiers, techniques et de vulgarisation parmi les agriculteurs locaux.

Le même génotype, Hidhab (HD1220) et sous conditions d'agriculture pluviale, a maintenu un rendement en grains acceptable mais à des performances de qualité plus meilleures, principalement sa teneur élevée en protéines de l'ordre de 13.58% et 13.86% respectivement pour les deux années d'expérimentation consécutives, dévoilant son bon potentiel génétique pour ce caractère en comparaison avec les autres génotypes testés, et pourrait ainsi être recommandé aux agriculteurs dont les moyens de production sont fortement limités.

La combinaison entre les six régimes d'irrigation et les caractéristiques d'appréciation de qualité a fait décanter que le rendement en grains et la qualité pourrait être tous deux combinés dans une pratique de gestion appropriée aux conditions de production de notre région d'étude. En effet, le régime d'irrigation d'appoint (SI2) appliqué en deux arrosages; le premier au point de jonction correspondant au stade montaison au premier nœud détectable (Z31) et le second au stade floraison lorsque les anthères sont visibles sur 50% des épis (Z65-Z69), était suffisant pour un rendement en grains relativement élevé et des caractéristiques de qualité très acceptables pour une farine de froment destinée à l'industrie alimentaire.

En termes de perspectives, il serait utile de compléter cette étude par des travaux plus spécialisés de biologie moléculaire dans le but d'identifier les gènes responsables de la tolérance à la sécheresse chez le génotype largement cultivé dans la région de Sétif, Hidhab (HD1220) qui, apparemment, est doté de gènes de tolérance au stress hydrique.

Des travaux de croisements peuvent être aussi envisagés, utilisant comme parents les deux génotypes introduits Djemila (ACSAD 969) et Djanet (ACSAD 899), caractérisés par leurs considérables potentiel de rendement en grains et d'indice de récolte, et le génotype amélioré Hidhab (HD1220), qui apparemment est doté de gènes de tolérance au stress hydrique le qualifiant pour être utilisé comme géniteur dans divers programmes de sélection phyto-génétique, avec l'objectif de sélectionner de nouveaux hybrides manifestant le maximum de caractères favorables à la tolérance des contraintes biotiques / abiotiques et à l'expression d'un meilleur potentiel de rendement dans les régions semi-arides sujettes au stress hydrique.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES

- Abayomi, Y. and Wright, D. 1999. Effects of water stress on growth and yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Tropical Agriculture*, vol. 76, pp. 120–125.
- Acevedo, E., Hsiao T. C. and Henderson D. W. 1971. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water statuses. *Plant Physiology*, 48: 631–636.
- Afrooz, G., Sabaghnia, N., Karimizadeh, R. and Shekari, F. 2014. Analysis of some agronomic traits of durum wheat under dryland and supplemental irrigation conditions. *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)*, 60 (4): 149–158.
- Ahmadi, N., Chantreau J., Hekimian Lethève, C., Marchand J. L. and Ouendeba, B. 2002. Agriculture spéciale. Les plantes comestibles: les céréales In : *Mémento de l'agronome*. Montpellier: CIRAD, p. 777-829.
- Altenbach, S. B., Dupont, F. M., Kothari, K. M., Chan, R., Johnson, E. L. and Lieu, D. 2003. Temperature, Water and Fertilizer Influence the Timing of Key Events During Grain Development in US Spring Wheat. *Journal of Cereal Science* 37: 9-20.
- Angus, J. F. and Herwaarden, A.F. 2001. Increasing water use and water use efficiency in dry land wheat. *Agronomy Journal*, 93: 290-298.
- Annicchiarico, P., Bellah, F. and Chiari, T. 2006. Repeatable genotype x location interaction and its exploitation by conventional and GIS based cultivar recommendation for durum wheat in Algeria. *Eur. J. Agron.*,24:70-81.
- Arjenaki, F. G., Morshedi, A. and Jabbari, R. 2012. Evaluation of Drought Stress on Relative Water Content, Chlorophyll Content and Mineral Elements of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Varieties. *Intl J Agri Crop Sci.*,4(11):726-729.
- Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H. and Ala, S. A. 1994. Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Physiol. Plant.*, 16(3): 185-191.
- Aslani, F, Mehrvar, M. R., Nazeri, A. and Juraimi, A. S. 2013. Investigation of wheat grain quality characteristics under water deficit condition during post-anthesis stage. *Asian Research Publishing Network (ARP)*, 8(4): 273-278.
- Assem, N., El Hafid, L., Haloui, B., and El Atman, K. 2006. Effets du stress hydrique appliqué au stade trois feuilles sur le rendement en grains de dix variétés de blé cultivées au Maroc oriental. *Sécheresse*, 17: 499-505.
- Austin, R. B. 1994. *Plant Breeding opportunities*. In: Boote, K. J., Bennett, J. M., Sinclair, T. R. and Paulsen, G. M. (eds). International Symposium on Physiology and Determination of Crop Yield. University of Florida, Gainesville, FL, USA. 567 – 586.
- Austin, R. B., Edrich, J. A., Ford, M. A. and Blackwell, R. D. 1977. The Fate of the Dry Matter, Carbohydrates and ¹⁴C Lost from the Leaves and Stems of Wheat during Grain Filling. *Ann. Bot.*, 41: 1309-1321.
- Bahar, B., Yildirim, M. and Yucel, C. 2011. Heat and drought resistance criteria in spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.): Morpho-physiological parameters for heat tolerance. *Scientific Research and Essays*, 6(10): 2212-2220.
- Bahrman, N., Le Gouis, J., Negroni, L., Amilhat, L., Leroy, P., Laine, A. L. and Jaminon, O. 2004. Differential protein expression assessed by two-dimensional gel electrophoresis for two wheat varieties grown at four nitrogen levels. *Proteomics*, 4 : 709-719.

- Bandyopadhyay, K. K., Misra, A. K., Ghosh, P. K., Hati, K. M., Mandal, K. G. and Moahnty, M. 2010. Effect of irrigation and nitrogen application methods on input use efficiency of wheat under limited water supply in a Vertisol of Central India. *Irrig. Sci.*, 28: 285–299.
- Barnabás, B., Jager, K. and Feher, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell & Envir.*, 31(1): 11–38.
- Barry, P., Evershed R., Young A., Prescott, M. C. and Britton, G. 1992. Characterization of carotenoid acyl ester produced in drought-stressed barley seedlings. *Phyto-Chemistry*, 9: 3163-3168.
- Basset, L. M., Allan, R. E. and Rubenthaler, G. L. 1989. Genotype × environment interactions on soft white winter wheat quality. *Agron J.*, 81: 955-960.
- Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A. and Pereira, A. Plant adaptation to drought stress [version 1; referees: 3 approved] *F1000Research* 2016, 5(F1000 Faculty Rev):1554 (doi: 10.12688/f1000research.7678.1).
- Belaid, A., Nsarellah, N., Laamari, A., Nachit, M. and Amri A. 2005. Assessing the economic impact of durum wheat research in Morocco .Aleppo, Syria: International Centre for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).
- Bidinger, F., Musgrave, R. B. and Fischer, R. A. 1977. Contribution of stored Pre-anthesis assimilates to grain yield in wheat and barley. *Nature*, 270: 431-433.
- Biscoe, P. V., Gallagher, J. N., Littleton, E. J., Monteith, J. L. and Scott, R. K. 1975. Barley and its environment. IV. Sources of assimilate for the grain. *Journal of Applied Ecology*, 12 : 295–318.
- Blum, A. 1985. Photosynthesis and transpiration in leaves and ears of wheat and barley varieties. *Journal of Experimental Botany*, 36(3): 432-440. DOI:10.1093/jxb/36.3.432
- Blum, A. and Pnuel, Y. 1990. Physiological attributes associated with drought resistance of wheat cultivars in a Mediterranean environment. *Aust. J. Agri. Res.*, 41: 799-810.
- Blumenthal, C., Bekes, F., Gras, P. W., Barlow, E. W. R. and Wrigley, C. W. 1995: Identification of wheat genotypes tolerant to the effects of heat stress on grain quality. *Cereal Chem.*, 72: 539—544.
- Bogale, A., Tesfaye, K. and Geleto, T. 2011. Morphological and physiological attributes associated to drought tolerance of Ethiopian durum wheat genotypes under water deficit condition. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 1 (2): 22–36.
- Bonfil, D.J., Karnieli, A., Raz, M., Mufradi, I., Asido, S. Egozi, H., Hoffman, A. and Schmilovitch, A. 2004. Decision support system for improving wheat grain quality in the Mediterranean area. *Field Crop Res.*, 89: 153-163.
- Bonjean, A. and Picard, E. 1990. Les céréales à paille (Origine, histoire, économie, sélection) 1-205, Softword/Groupe ITM, France
- Borghi, B., Corbellini, M., Ciaffi, M., Lafiandra, D., De Stefanis, E. Sgrulletta, D., Boggini, G. and Di Fonzo, N. 1995: Effect of heat shock during grain filling on grain quality of bread and durum wheats. *Aust. J. Agric. Res.*, 46: 1365-1380.
- Borrell A. K., Hammer G. L. and Douglas A. C. L. 2000. Does maintaining green leaf area in sorghum improve yield under drought? I. Leaf growth and senescence. *Crop Science*, 40: 1026–1037.

- Bouthiba, A., Debaeke P. and Hamoudi, S. A. 2008. Varietal differences in the response of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) to irrigation strategies in a semi-arid region of Algeria. *Irrig. Sci.*, 26: 239-251.
- Bouthier A., Deswarte J. C., Deumier, J. M. 2012. Irrigation des céréales, blé tendre, blé dur, orge de printemps. Edition ARVALIS. *Institut du végétal*. 40p.
- Boyeldieu, J. 1980. Les cultures céréalières. Edition Hachette. France, p. 253
- Branlard G., Dardevet, M., Saccomano, R., Lagoutte, F. and Gourdon, J. 2001. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica*, 119: 59-67.
- Bray, E. A. 1997. Plant responses to water deficit. *Trends Plant Sci.*, 2(2): 48–54.
- Bray, E. A. 2002. Classification of genes differentially expressed during water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*: an analysis using microarray and differential expression data. *Annals of Botany*, 89: 803–811.
- Brdar, J. M., Kobiljski, B. and Kraljević, B. M. 2006. Grain filling parameters and yield components in wheat. *GENETIKA*, 38 (3): 175-181.
- Butler, J. D., Byrne, P. F., Mohammadi, V., Chapman P.L. and Haley, S.D. 2005. Agronomic performance of Rht Alleles in a spring wheat population across a range of moisture levels. *Crop Sci.*, 45: 939-947.
- Campbell, C. A., Selles, F., Zentner, R. P., McConkey, B. G., McKenzie, R. C. and Brandt, S. A. 1997. Factors influencing grain N concentration of hard red spring wheat in the semiarid prairie. *Can. J. Plant Sci.*, 77: 53-61.
- CGIAR. 2017. The challenge of building resilience to shocks and stresses. *Africa Regional Overview of Food Security and Nutrition 2016*, FAO. Accra. Ghana. 39p. Disponible sur l'adresse: <http://wheat.org/wheat-for-africa>
- Chmielewski, F. and Kohn, W. 2000. Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years. In *Agricultural and Forest Meteorology*, 102: 253–261. DOI: 10.1016/S0168-1923(00)00125-8.
- Clarke, J. M. and McCaig, T. N. 1982. Excised-leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 62: 571–578.
- Cooper, P. J. M., Gregory, P. J., Keatinge, J. D. H. and Brown, S.C. 1987a. Effects of fertilizer, variety and location on barley production under rainfed conditions in Northern Syria: II. Soil water dynamics and crop water use. *Field Crops Res.*, 16:67–84.
- Cooper, P. J. M., Gregory, P.J., Tully, D. and Harris, H.C. 1987b. Improving water use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of West Asia and North Africa. *Exp. Agric.*, 23:113–158.
- Cuenca, R.H. 1989. Irrigation System Design: An Engineering Approach. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. USA. 552 pages.
- Curic, D., Karlovic, D., Tusak, D., Petrovic, B. and Dugum, J. 2001. Gluten as a standard of wheat flour quality. *Food Technol. Biotechnol.*, 39(4): 353–361.
- Daniel, C. and Triboi, E. 2000. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin content and composition. *Journal of Cereal Science*, 32 : 45-56.
- De vita, P., Nicosia, O. L. D., Nigro, F., Platani, C., Riefolo, C., DI Fonzo, N. and Cattivelli, L. 2007. Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. In: *European Journal of Agronomy*, 26: 39–53. DOI:10.1016/j.eja.2006.08.009.

- Dencic, S., Kastori, R., Kobiljski, B. and Duggan B. 2000. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica*, 113(1): 43–52.
- Debaeke, P., Aussenac, T., Fabre, J. L., Hilaire, A., Pujol, B. and Thuries, L. 1996. Grain nitrogen content of winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) as related to crop management and to the previous crop. *Eur. J. Agron.*, 5: 273-286.
- Debaeke, P., Puech, J. and Casals, M. L. 1996. Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique : I. Etude en lysimètres. *Agronomie*, 16: 3-23.
- Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M. and Gellynck, X. 2008. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48: 243-257.
- Dong, B. D., Shi, L., Shi, C. H., Qiao, Y. Z., Liu, M. Y. and Zhang, Z.B. 2011. Grain yield and water use efficiency of two types of winter wheat cultivars under different water regimes. *Agricultural Water Management*, 99: 103-110. DOI:10.1016/j.agwat.2011.07.013.
- Douglas, C. L., Wilkins, D.E., and Churchill, D.B. 1994. Tillage, seed size, and density effects on performance of soft white winter wheat. *Agron. J.*, 86: 707-711.
- Dubcovsky, J., Echaide, M., Giancola, S., Rousset, M., Luo, M. C., Joppa, L. R. and Dvorak, J. 1997. Seed-storage-protein loci in RFLP maps of diploid, tetraploid, and hexaploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 95 : 1169-1180.
- Dubreil, L., Meliande, S., Chiron, H., Compoin, J. P., Quillien, L., Branlard, G. and Marion, D. 1998. Effect of puroindolines on the bread-making properties of wheat flour. *Cereal Chemistry*, 75 : 222-229
- Dvorak, J., Luo, M.C., Yang, Z.L., and Zhang, H.B. 1998. The Structure of *Aegilops tauschii* Genepool and the Evolution of Hexaploid Wheat, *Theor. Appl. Genet.*, 97(4): 657–670.
- Egesel, C.Ö., Kahrıman, F., Baytekin, H. and Gül, M.K. 2007. Determination of the performance of some bread wheat genotypes in Çanakkale and their relationship between agronomic characters. *Field Crops Congress*, June 25-27, 2007, Erzurum, Turkey. pp. 202-205.
- Ehsan, B. and Yahya, E., 2012. Evaluation of assimilate remobilization and yield of wheat cultivars under different irrigation regimes in an arid climate. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 58: 1243–1259.
- Ekanayake, I., De Datta, S. and Steponkus, P. 1993. Effect of water deficit stress on diffusive resistance, transpiration, and spikelet desiccation of rice. *Ann Bot.*, 72: 73-80.
- El Hafid, R., Smith, D.H., Karrou, M. and Samir, K. 1998. Morphological attributes associated with early season drought tolerance in spring durum wheat in a Mediterranean environment. *Euphytica*, 101: 273–282.
- Elgün, A., Ertugay, Z., Certel, M. and Kotancilar, H. G. 2002. Tahıl ve ürünlerinde analitik kalite kontrolü ve laboratuvar uygulama klavuzu. Atatürk Üniversitesi Yayın No: 867, Ziraat Fakültesi Yayın No: 335, *Ders Kitapları Serisi*, 82: 245-251.
- Eliasson, A. C. and Larsson, K. 1993. Cereals in bread-making. A molecular colloidal approach. New York, NY Marcel Dekker.

- Erekul, O. and Köhn, W. 2006. Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter triticale (*Triticosecale* Wittm.) varieties in Northeast Germany. *J. Agronomy and Crop Science*, 192: 452-464.
- Erekul, O., Gotz, K. and Gurbuz, T. 2012. Effect of Supplemental Irrigation on Yield and Bread-Making Quality of Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Varieties under the Mediterranean Climatical Conditions. 2012. *Turkish Journal of Field Crops*, 17(1): 78-86.
- FAOSTAT. 2012. Statistics Division, FAO. Disponible sur l'adresse: <http://Faostat.fao.org> . Consulté le 26.12.2016
- FAOSTAT. 2013. Statistical Yearbook. World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- FAOSTAT. 2014. Statistics Division, FAO. Disponible sur l'adresse : <http://faostat3.fao.org> . Consulté le 26.12.2016
- FAOSTAT. 2016. Statistics Division, FAO. Disponible sur l'adresse : <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> . Consulté le 26.12.2016
- FAOSTAT. 2018. StatisticsDivision, FAO, Disponible sur l'adresse : <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/TP> . Consulté le 21.03.2018
- FAOSTAT. 2018. StatisticsDivision, FAO, Disponible sur l'adresse : <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/fr> . Consulté le 21.03.2018
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.*, 29: 185-212.
- Feil, B. 1997. The inverse yield-protein relationship in cereals: possibilities and limitations for genetically improving the grain protein yield. *Trends Agron.*, 1: 103–119.
- Feillet, P. 2000. Le grain de blé, composition et utilisation. INRA Editions, Paris, France, 308p. ISBN: 9782738008961.
- Fine, L. O. 1972: Mineral content of South Dakota bread wheats: extent and Nature. *Agron. J.*, 64: 769-772.
- Finney, K. F. and Fryer, H.C.1958. Effect on loaf volume of high temperatures during the fruiting period of wheat. *Agronomy Journal*, 50: 28–34.
- Fisher, R. A. 1973. The effect of water stress at various stages of development in yield processes in wheat. In : Slatyer, R. O. (ed) Plant response to climatic factors: Proc Uppsala Symposium, Paris: Unesco. pp. 233-241.
- Fischer, R. A. and Stockman, Y.M. 1986. Increased kernel number in Norin 10-derived dwarf wheat: evaluation of the cause. *Aust. J. Plant Physiol.*, 13: 767-784.
- Fotovat, R., Valizadeh, M and Toorehi, M. 2007. Association between water-use-efficiency components and total chlorophyll content (SPAD) in wheat (*Triticum aestivum* L.) under well-watered and drought stress conditions. *J. Food. Agric. Environ.*, 5: 225-227.
- Foulkes, M. J., Sylvester-Bradley, R., Weightman, R. and Snape, J. W. 2007. Identifying physiological traits associated with improved drought resistance in winter wheat. *Field Crops Research*, 103: 11–24.
- Fowler, D. B. 2003. Crop nitrogen demand and grain protein concentration of spring and winter wheat. *Agronomy Journal*, 95 : 260-265.
- Fowler, D. B. and De La Roch, A. 1975. Wheat quality evaluation: 2. Relationships among prediction tests. *Can. J. Plant Sci.*, 55: 251-262.

- Foyer, C. H., Descourvieres P. and Kunert, K. J. 1994. Photo oxidative stress in plants. *Plant. Physiol.*, 92: 696-717.
- French, R. J. and Schultz, T.E. 1979. Effects of time of sowing on wheat phenology in South Australia. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 19:89–96.
- Gaff, D. F. 1987. Desiccation-tolerant plants in South America. *Oecologia*, 74(1): 133–136.
- French, R. J. and Schultz, T. E. 1984. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type environment: I. The relation between yield, water use and climate. *Aust. J. Agric. Res.*, 35: 743-764.
- Ghanbari-Malidarreh, A. 2010. The Effect of complementary irrigation in different growth stages on yield, qualitative and quantitative indices of the two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in Mazandaran. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 4(5): 227-231.
- Gholamin, R., Zaeifizadeh, M., Khayatnezhad, M., Jomaati-e-Somarin, S and Zabihi-e-Mahmoodabad, R. 2010. Study of drought tolerance in durum wheat genotypes. *Am-Euras. J. Agric & Environ. Sci.*, 9(5): 465 – 469.
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K. and Delcour, J. A. 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16 : 12-30.
- Golparvar, A. R., Ghannadha, M. R., Zalli, A. A. and Ahmadi, A. 2002. Evaluation of some morphological traits as selection criteria for improvement of bread wheat. In *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 4: 202–207.
- Gooding, M. J. and Davies, W. P. 1997. Wheat Production and Utilization. CAB International, Wallingford, UK.
- Gooding, M. J., Smith, G., Davies, W. P. and Kettlewell, P. S. 2003. The use of residual maximum likelihood to model grain quality characteristics of wheat with variety, climatic and nitrogen fertilizer effects. *J. Agr. Sci.*, 128: 135-142.
- Guan, Y.S., Serraj, R. and Liu, S. H., 2010. Simultaneously improving yield under drought stress and non-stress conditions: a case study of rice (*Oryza sativa* L.). *J. Exp. Bot.*, 61(15): 4145–56.
- Guendouz, A., Guessoum, S., Maamari, K. and Hafsi, M. 2012. Effects of supplementary irrigation on grain yield, yield components and some morphological traits of durum wheat (*Triticum Durum Desf.*) cultivars. *Adv. Environ. Biol.*, 6(2): 564 – 572.
- Gull, H., Saeed, B., Khan, A. Z., Latif, U., Ali, K., Rehman, J. and Rehman, S. 2012. Yield and yield contributing traits of wheat cultivars in relation with planting dates and nitrogen fertilization. *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science*, 7(6): 386-395.
- Gunasekera, D. and Berkowitz, G. A. 1992. Evaluation of contrasting cellular-level acclimation responses to leaf water deficits in three wheat genotypes. *Plant. Sci.*, 86: 1-12.
- Gupta, N. and Thind S. K. 2015. Improving Photosynthetic Performance of Bread Wheat under Field Drought Stress by Foliar Applied. *J. Agr. Sci. Tech.*, 17: 75-86.
- Haider, N. 2012. Evidence for the Origin of the B Genome of Bread Wheat Based on Chloroplast DNA, *Turk. J. Agric. For.*, 36: 13–25.
- Haider, N. 2013. The Origin of the B Genome of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) *Russian Journal of Genetics*, 49(3): 263–274.

- Hamblin, J., Stefanova, K. and Angessa, T. T. 2014. Variation in chlorophyll content per unit leaf area in spring wheat and implications for selection in segregating material. *PLoS ONE*, 9(3) DOI: 10.1371/journal.pone.0092529
- Hellin, J., Shiferaw, B., Cairns, J. E., Reynolds, M., Ortiz-Monasterio, I., Banziger, M., Sonder, K. and Rovere, L. R. 2012. Climate change and food security in the developing world: Potential of maize and wheat research to expand options for adaptation and mitigation. *J. Develop. Agric. Eco.*, 4(12): 311-321.
- Hopkins, W. G. 2008. Introduction to Plant Physiology fourth edition. Published by John Wiley and Sons, New York, 512 pages.
- Hosney, R. C. 1994. Principles of cereal science and technology. St. Paul, MN: Association of Cereal Chemists.
- Hsiao, T. 1973. Plant responses to water stress. *Annu Rev Plant Physiol.*, 24: 519-530.
- Huo, Z. L., Feng, S. Y., Huang, G. H., Zheng, Y. Y., Wang, Y. H. and Guo, P. 2012. Effect of groundwater level depth and irrigation amount on water fluxes at the ground-water table and water use of wheat. *Irrig. Drain.* 61: 348–356.
- Hussain, M., Malik, M. A., Farooq, M., Ashraf, M. Y. and Cheema, M. A. 2008. Improving Drought tolerance by exogenous application of glycine betaine and salicylic acid in sunflower. *J. Agron. Crop Sci.*, 194: 193-199.
- Ilbeyi, A., Ustun, H., Oweis, T., Pala, M. and Benli, B. 2006. Wheat water productivity and yield in a cool highland environment: effect of early sowing with supplemental irrigation. *Agric. Water Manage.*, 82: 399–410.
- Innes, P. and Blackwell, R. D. 1981. The effect of drought on the water use and yield of two spring wheat genotypes. *J. Agric. Sci., Camb.*, 96: 603–610.
- International Association for Cereal Chemistry. 1986. Standard Methods of the ICC. Method 104, 105, 106, 110 and 116. The Association, Vienna.
- International for Cereal Chemistry (ICC) Association. 1982. Standard method no.137: Mechanical determinations of the wet gluten content of wheat flour (Glutomatic). The Association: Vienna, Austria.
- International for Cereal Chemistry (ICC) Association. 1995. Standard method no. 107: Determination of the falling number (according to Hagberg – Perten) as a measure of the degree of alpha-amylase activity in grain and flour. The Association: Vienna, Austria.
- Irmak, S., Naeem, H. A., Lookhart, G. L. and MacRitchie, F. 2008. Effect of heat stress on wheat proteins during kernel development in wheat near-isogenic lines differing at Glu-D1. *Journal of Cereal Science*, 48 : 513-516.
- Izanloo, A., Condon, A. G., Langridge, P., Tester, M. and Schnurbusch, T. 2008. Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. *Journal of Experimental Botany*, 59(12): 3327–3346. DOI:10.1093/jxb/ern199.
- Izzi, G., Farahani, H. J., Bruggeman, A. and Oweis, T. Y. 2008. In-season wheat root growth and soil water extraction in the Mediterranean environment of northern Syria. *Agric. Water Manage.*, 95 : 259–270.
- Jalaluddin, D., Khan, S. U. and Ali, I. 2009. Physiological assessment of drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties under moisture stress conditions. *BIOLOGIA (PAKISTAN)*, 55(1-2): 1-9
- Jaleel, C. A., Gopi, R. and Sankar, B. 2007. Studies on germination, seedling vigour, lipid peroxidation and proline metabolism in *Catharanthus roseus* seedlings under salt stress. *South African Journal of Botany*, 73(2):190–195.

- Johansson, E. 2002. Effect of two wheat genotypes and Swedish environment on falling number, amylase activities, and protein concentration and composition. *Euphytica*, 126: 143-149.
- Johansson, E. and Svensson, G. 1999. Influences of yearly weather variation and fertilizer rate on bread-making quality in Swedish grown wheats containing HMW glutenin subunits 2+12 or 5+10 cultivated during the period 1990-96. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 132 : 13-22.
- Johansson, E., Nilsson, H., Mazhar, H., Skerritt, J., MacRitchie, F. and Svensson, G. 2002. Seasonal effects on storage proteins and gluten strength in four Swedish wheat cultivars. *J. Sci. Food Agr.* 82: 1305–1311.
- Johansson, E., Prieto-Linde, M. L. and Gissén, C. 2008. Influences of weather, cultivar and fertilizer rate on grain protein polymer accumulation in field-grown winter wheat, and relations to grain water content and falling number. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88 : 2011-2018.
- Johansson, E., Prieto-Linde, M. L. and Svensson, G. 2004. Influence of nitrogen application rate and timing on grain protein composition and gluten strength in Swedish wheat cultivars. *J. Plant Nutr. Soil Sc.* 167: 345-350.
- Johnson, V. A., Mattern, P. J., Peterson, C. T. and Kurh, S.L. 1985. Improvement of wheat protein by traditional breeding and genetic techniques. *Cereal Chem.*, 62: 350-355.
- Jones, H. G. and Jones, M. B. 1989. Introduction: Some terminology and common mechanisms. In Jones, H. G., Flowers, T. J. and Jones, M. B. (eds.). *Plants under stress*. Cambridge: Cambridge University Press, pp.1-10.
- Jones, H. G., Flowers, T. J. and Jones, M. B. (editors). 1989. *Plant under Stress*. Cambridge, UK: Cambridge University Press; pp. 71–93.
- Kahriman, F. 2007. Determination of quality and yield levels of some bread wheat cultivars. Canakkale University Institute for Natural Sciences M. Sc. Thesis, 37pp. In Erekul, O. and Köhn, W. 2006. Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter triticale (*Triticosecale* Wittm.) varieties in Northeast Germany. *J. Agronomy and Crop Science*, 192: 452-464.
- Karamanos, A. J., Economou, G., Papastavrou, A. and Travlos, I. S. 2012. Screening of Greek wheat landraces for their yield responses under arid conditions. *International Journal of Plant Production*, 6 (2): 225–238.
- Karrou, M. 2013. Combined effect of tillage system, supplemental irrigation and genotype on bread wheat yield and water use in the dry Mediterranean region. *Afr. J. Agric. Res.*, 8(44): 5398-5404.
- Khakwani, A. Z., Dennett, M. D., Munir, M. and Abid, M. 2012. Growth and yield response of wheat varieties to water stress at booting and anthesis stages of development. *Pak. J. Bot.*, 44(3): 879-886.
- Khamssi, N. N. and Najaphy A. 2012. Agro-morphological and phenological attributes under irrigated and rain-fed conditions in bread wheat genotypes. *African Journal of Agricultural Research*, 7(1): 51-57.
- Khan, A. A., Alam, M. A., Alam, M. K., Alam, M. J. and Sarker, Z. I. 2013. Genotypic and phenotypic correlation and path analysis in durum wheat. In *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 38(2): 219–225. DOI: 10.3329/bjar.v38i2.15885.
- Khila, S. B., Douh, B., Mguidiche, A., Ruget, F., Mansour, M. and Boujelben, A. 2013. Yield and water use efficiency of a durum wheat (*Triticum Durum*

- Desf.) cultivar under the influence of various irrigation levels in a Mediterranean climate. *J. Nat. Prod. Plant Resour.*, 3(1): 78-87.
- Kihara, H. 1944. Discovery of the DD₁ Analyser, One of the Ancestors of *Triticum vulgare*. *Agric. Hort.*, 19: 13–14.
 - Kobata, T., Palta, J. A. and Turner, N.C. 1992. Rate of development of postanthesis water deficit and grain filling of spring wheat. *Crop Sci.*, 32: 1238-1242.
 - Kulshreshtha, S. D. P., Mishra, R. and Gupta, K. 1987. Changes in contents of chlorophyll, proteins and lipids in whole chloroplast and chloroplast membrane fractions at different leaf water potentials in drought resistant and sensitive genotype of wheat. *Photosynthetica*, 21: 65-70.
 - Laberche, J. C. 2004. *Biologie végétale*. 2^{ème} edition Dunod. Paris. 270 pages.
 - Levitt, J. 1980. Stress terminology. In: Turner, N.C. and Kramer, P. J. (eds). *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. New York: Wiley, 473–439.
 - Li, P., Wu, P. T., and Chen, J. L. 2012. Evaluation of flag leaf chlorophyll content index in 30 spring wheat genotypes under three irrigation regimes. *Aust. J. Crop Sci.*, 6: 1123–1130.
 - Li, Q. Q., Dong, B. D., Qiao, Y. Z., Liu, M. Y. and Zhang, J. W. 2010. Root growth, available soil water, and water-use efficiency of winter wheat under different irrigation regimes applied at different growth stages in North China. *Agricultural Water Management*, 97: 1676-1682.
 - Li, Q., Baodia, D., Yunzhoua, Q., Mengyua, L. and Jiwangc, Z. 2010. Root growth, available soil water, and water use efficiency of winter wheat under different irrigation regimes applied at different growth stages in North China. *Agricultural Water Management*, 97:1676–1682.
 - Li, X. Y. and Gong, J. D. 2002. Effects of different ridge: furrow ratios and supplemental irrigation on crop production in ridge and furrow rainfall harvesting system with mulches. *Agric. Water Manage.*, 54: 243-254.
 - Liao, L. J., Zhang, L. and Bengtsson, L. 2008. Soil moisture variation and water consumption of spring wheat and their effects on crop yield under drip irrigation. *Irrig. Drain. Sys.*, 22: 253–270.
 - Lineback, D. R. and Rasper, V. F. 1988. *Wheat, Chemistry and Technology* St Paul, MN: AACC.
 - Liu, H. J., Yu, L. P., Luo, Y., Wang, X. P. and Huang, G. H. 2011. Responses of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) evapotranspiration and yield to sprinkler irrigation regimes. *Agric. Water Manag.*, 98: 483–492.
 - Liu, J. J., Mo, W. H. and Oikawa, T. 2004. The seasonal changes in belowground biomass and productivity of C3/C4 mixed grassland in the TERC (Terrestrial Environmental Research Center). *Bull. Environ. Res. Center Univ. Tsukuba*, 5: 13–20.
 - Liu, X. Y., Luo, Y.P. and Shi, Y.C. 2001. The stimulating effects of rewatering in subjecting to water stress on leaf area of winter wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 34: 422–428.
 - Lonbani, M. and Arzani, A. 2011. Morpho-physiological traits associated with terminal drought stress tolerance in triticale and wheat. *Agronomy Research*, 9(1-2): 315–329.
 - Lopes, M. S. and Araus, J. L. 2006. Nitrogen source and water regime effects on durum wheat photosynthesis and stable carbon and nitrogen isotope composition. *Physiol. Plant.* 126: 435–445.

- Lv, L. H., Wang, H. J., Jia, X. L. and Wang, Z. M. 2011. Analysis on water requirement and water-saving amount of wheat and corn in typical regions of the North China Plain. *Front. Agric. China*, 5: 556–562.
- MacKey, J. M. 1966. Species Relationship in *Triticum*, *Proceedings of 2nd International Wheat Genetics Symposium Hereditas*, Mac Key, J.M., Ed., Lund: 237–275. In, Haider, N. 2013. The Origin of the B_Genome of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) *Russian Journal of Genetics*,. 49(3): 263–274.
- MacRitchie, F. 1983. Role of lipids in baking. *Lipids in cereal technology*, ed. Barnes, H.A., London: Academic Press.
- Madhava Rao, K.V., Raghavendra, A.S. and Janardhan Reddy, K. (Eds.) 2006. *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Springer Netherlands.p.337
- Majumdar, S., Ghosh, S., Glick, B. R. and Dumbroff, E. B. 1991 Activities of chlorophyllase, phosphoenolpyruvate carboxylase and ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase in the primary leaves of soybean during senescence and drought. *Physiol Planta*, 81: 473-480.
- Malik, A. H. 2009. *Nutrient uptake, transport and translocation in cereals: influences of environmental and farming conditions*. Technical Report. Alnarp: Introductory paper at the Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science Swedish University of Agricultural Sciences.46p.
- Marinciu, C. and Saulescu, N.N. 2008. Cultivar effects on the relationship between grain protein concentration and yield in winter wheat. *Romanian Agricultural Research*, 25: 19-27.
- Martin, M. A., Brown, J. H. and Ferguson, H. 1989. Leaf water potential, relative water content, and diffusive resistance as screening techniques for drought resistance in barley. *Agronomy Journal*, 81: 100-105.
- McCormack, G., Panozzo, J. F., Bekes, F. and MacRitchie, F. 1991. Contributions to bread-making of inherent variations in lipids content and composition of wheat cultivars. I. Results of survey. *Journal of Cereal Science*, 13: 255-261.
- McFadden, E.S. and Sears, E.R. 2004. The Artificial Synthesis of *Triticum spelta*, *Rec. Genet. Soc. Am.*, 13: 26–27.
- McKeivith, B. 2004. Nutritional aspects of cereals. *Nutrition Bulletin*, 29: 111-142.
- Meng, W., Yu, Z., Zhang, Y., Shi, Y. and Wang, D. 2015. Effects of supplemental irrigation on water consumption characteristics and grain yield in different wheat cultivars. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(2): 216-223. DOI:10.4067/S0718-58392015000200011
- Merouche, A., Debaeke, P., Messahel, M. and Kelkouli, M. 2014. Response of durum wheat varieties to water in semiarid Algeria. *African journal of agricultural research*, 9(38): 2879-2892. DOI: 10.5897/AJAR2013.7318
- Mirnoff, N. 1993. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytol.*, 125: 27-58.
- Mishra, S. P. and Mohapatra, P. K. 1987. Soluble carbohydrates and floret fertility in wheat in relation to population density stress. *Annals of Bot.*, 60: 269-277.
- Morgan, J. M. and Condon, A. G. 1986. Water use, grain yield, and osmoregulation in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 523-532.

- Morgan, J. M. 1980. Osmotic adjustment in the spikelets and leaves of wheat. *Journal of Experimental Botany*, 31: 655–665.
- Morgan, J. M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 35: 299–319.
- Mu, H., Jiang, D., Wollenweber, B., Dai, T., Jing, Q. and Cao, W. 2010. Long-term low radiation decreases leaf photosynthesis, photochemical efficiency and grain yield in winter wheat. *J. Agron. Crop Sci.*, 196: 38–47.
- Muralikrishna, G. and Rao, M. V. 2007. Cereal non-cellulosic polysaccharides: Structure and function relationship - An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47: 599-610.
- Mushtaq, T., Hussain, S., Bukhsh, M. A., Iqbal, J. and Khaliq, T. 2011. Evaluation of two wheat genotypes performance of under drought conditions at different growth stages. *Crop Environ.*, 2(2): 20-27.
- Nachit, M., Nachit, G., Keteta, H., Gauch, H. G. and Zobel, R. W. 1992. Use of AMMI and linear regression models to analyze genotype environment interaction in durum wheat. *Theor. Appl. Genet.*, 83: 597-601.
- Nachit, M., Picard, E., Monneveux, P., Labhilili, M., Baum, M. and Rivoal, R. 1998. Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin méditerranéen. *Cah. Agricultures*, 7: 510-515.
- Nelson, J. H. 1985. Wheat: its processing and utilization. *American Journal of Clinical Nutrition*, 41: 1070–1076.
- Nevo, E., Korolm, A. B., Beiles, A., and Fahima, T. 2002. Evolution of Wild Emmer and Wheat Improvement: Population Genetics, Genetic Resources, and Genome Organization of Wheat's Progenitor, *Triticum dicoccoides*, London. Springer Verlag.
- Nezhadahmadi, A., Prodhan, Z. H. and Faruq, G. 2013. Drought tolerance in wheat. *Scientific World Journal.*, 2013:1-12.
- Nguyen, G. N., Hailstones, D. L. and Wilkes, M. 2010. Drought stress: Role of carbohydrate metabolism in drought-induced male sterility in rice anthers. *J Agron Crop Sci.*, 196 (5): 346–57.
- Nicholas, S. 1998. Plant resistance to environmental stress. *Current Opinion in Biotechnology*, 9:214–219.
- Noctor, G. and Foyer, C. H. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49: 249–279.
- OMAS. 1988. Official Methods of Analysis, *Slùbeni list SFRJ* 74: 1854–1887.
- ONFAA. 2017. l'observatoire national des filières agricoles et agroalimentaires. Production de céréales : Une superficie de plus de 3,5 millions d'ha emblavée. Algérie Eco Newsletter. Apparu le 19/07/2017. <https://www.algerie-eco.com/2017/07/19/production-de-cereales-superficie-de-plus-de-35-millions-dha-emblavee/>
- ONM (Office National de la Météorologie). 2014. Rapport annuel du climat en Algérie. Station météorologique de Sétif. disponible sur l'adresse : <https://fr.tutiempo.net/setif.html> . Consulté le 26/06/2014
- ONM (Office National de la Météorologie). 2015. Rapport annuel du climat en Algérie. Station météorologique d'El-eulma. disponible sur l'adresse : <https://fr.tutiempo.net/el-eulma.html> . Consulté le 03/07/2015
- O'Toole, J. C. and Cruz, R. T. 1980. Response of leaf water potential, stomatal resistance, and leaf rolling to water stress. *Plant Physiol.*, 65: 428 – 432.

- Oweis, T. 1994. Supplemental irrigation: An option for improved water use efficiency. p. 115–131. *In Proc. Regional Seminar on the Optimization of Irrigation in Agriculture*, Amman, Jordan. 21–24 Nov. 1994.
- Oweis, T., Pala, M. and Ryan, J. 1998. Stabilizing rainfed wheat yields with supplemental irrigation in a Mediterranean-type climate. *Agron. J.*, 90: 672–681.
- Oweis, T., Pala, M. and Ryan, J. 1999. Management alternatives for improved durum wheat production under supplemental irrigation in Syria. *Eur. J. Agron.* 11: 255-266.
- Oweis, T., Zhang, H. and Pala, M. 2000. Water Use Efficiency of Rainfed and Irrigated Bread Wheat in a Mediterranean Environment. *Agron. J.*, 92:231-238.
- Oweis, T., Ziedan, H. and Taimeh, A. 1992. Modeling approach for optimizing supplemental irrigation management. *Proc. Int. Conf. on Supplementary Irrigation and Drought Water Management*, Valenzano, Italy. 27 Sept.–2 Oct. 1992. Inst. Medit. Agron., Valenzano, Bari, Italy.
- Ozturk, A. and Aydin, F. 2004. Effect of Water Stress at Various Growth Stages on Some Quality Characteristics of Winter Wheat. *J. Agronomy and Crop Science*, 190 : 93- 99.
- Panozzo, J. F. and Eagles, H. A. 2000. Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat. II. Protein. *Aust. J. Agric. Res.*, 51: 629–636.
- Papantoniou, E., Hammond, E. W., Scriven, F., Gordon, M. H. and Schofield, J. D. 2004. Effects of endogenous flour lipids on the quality of short-dough biscuits. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84 : 1371-1380.
- Parker, R. and Ring, S. G. 2001. Aspects of the Physical Chemistry of Starch. *Journal of Cereal Science*, 34 : 1-17.
- Passioura, J. 1996. Drought and drought tolerance. In: Belhassen, E.(editor). *Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic. pp. 3–12.
- Passioura, J. 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *Exp. Bot.*, 581: 13-117.
- Perrier, E. R. and Salkini, A.B. 1991. Supplemental irrigation in the Near East and North Africa. Kluwer Acad. Publ., Netherlands.
- Perten, H., Bondesson, K. and Mjorndal, A. 1992. *Cereal Foods World*, 37:655-660.
- Petersen, G., Seberg, O., Yde, M., and Berthelsen, K. 2006. Phylogenetic Relationships of *Triticum* and *Aegilops* and Evidence for the Origin of the A, B, and D Genomes of Common Wheat (*Triticum aestivum*), *Mol. Phylogenet. Evol.*, 39 (1): 70–82.
- Pinheiro, C., Passarinho, J.A. and Ricardo, C. P. 2004. Effect of drought and rewatering on the metabolism of *Lupinus albus* organs. *Journal of Plant Physiology*, 161: 1203–1210.
- Pirzad, A., Shakiba, M. R., Zehtab-Salmasi, S., Mohammadi, S. A., Darvishzadeh, R. and Samadi, A. 2011. Effect of water stress on leaf relative water content, chloro-phyll, proline and soluble carbohydrates in (*Matricaria chamomilla* L.). *J. Med. Plant. Res.*, 5: 2483–2488.
- Pittman, U. J. and Tipples, K. H. 1978. Survival, yield, protein content and baking quality of hard red winter wheats grown under various fertilizer practices in Southern Alberta. *Can. J. Plant Sci.*, 58: 1049–1060.

- Pokharel, D. and Pandey, M. 2012. Genetic variability of drought adaptive traits in Nepalese wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. *Hydro Nepal: J. Water Energy Environ.*, 11(1): 64-68.
- Pomeranz, Y., Huang, M. and Rubenthaler, G. L. 1991. Steamed bread. III. Role of lipids. *Cereal Chemistry*, 68: 353-356.
- Porembski, S. 2000. Granitic and gneissic outcrops (inselbergs) as centers of diversity for desiccation-tolerant vascular plants. *Plant Ecol.*, 151(1): 19–28.
- Preston, K. R., March, P. R. and Tipples, K. H. 1982. An assessment of the SDS-sedimentation test for the prediction of Canadian bread wheat quality. *Can. J. Plant Sci.*, 62: 545—553.
- Rad, M. R. N., Kadir, M. A. and Yusop, M.R. 2012. Genetic behaviour for plant capacity to produce chlorophyll in wheat (*Triticum aestivum*) under drought stress. *Aus. J. Crop. Sci.*, 6(3): 415-420.
- Rad, M. R. N., Kadir, M. A. Rafii, M. Y. Jaafar H. Z. E. and Danaee, M. 2013. Gene action for physiological parameters and use of relative water content (RWC) for selection of tolerant and high yield genotypes in F2 population of wheat. *Aus. J. Crop. Sci.*, 7(3): 407-413.
- Randall, P. J. and Moss, H. J. 1990. Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality. *Aust. J. Agric. Res.*, 41: 603—617.
- Rane, J. M. and Maheshwari, S. N. 2001. Effect of pre-anthesis water stress on growth, photosynthesis and yield of six wheat cultivars differing in drought tolerance. *Indian Journal of Plant Physiology*, 6: 53–60.
- Rao, A. C. S., Smith, J. L., Jandhyala, V. K., Papendick, R. I. and Parr, J. F. 1993. Cultivar and climatic effects on the protein content of soft white winter wheat. *Agron. J.*, 85: 1023-1028.
- Rao, R. C. N., Williams, J. H., Wadia, K. D. R., Hubikk, K.T. and Fraquhar, G. D. 1993. Crop growth, water use efficiency and carbon isotope discrimination in groundnut genotypes under end season drought conditions. *Annals of Applied Biology*, 122: 357–367.
- Richards, R. A. 1992. The effect of dwarfing genes in spring wheat in dry environment: I. Agronomic characteristics. *Aust. J. Agric. Res.*, 43: 517-527.
- Richards, R. A. 1996. Defining selection criteria to improve yield of winter wheat under drought. *Plant Growth Regul.*, 20: 157-166.
- Richards, R. A., Condon, A. G. and Rebetzke, G. J. 2001. Traits to improve yield in dry environments. In: Reynolds, M. P., Ortiz-Monasterio, J. I. and McNab, A. (Eds.). Application of physiology in wheat breeding. Mexico, DF: CIMMYT.
- Richards, R.A., Rebetzke, G. J., Condon, A. G. and Watt, M. 2009. Physiological traits for water-limited environments. What are the success stories? *Csiro PTT series*, 52pages.
- Ristic, Z., Bukovnik, U. and Vara Prasad, P. V. 2007. Correlation between heat stability of thylakoid membranes and loss of chlorophyllin winter wheat under heat stress. *Crop Sci.*, 47: 2067–2073.
- Ritchie, S. W., Nguyen, H. T. and Holaday, A. S. 1990. Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30: 105–111.
- Rizza, F., Badeck, F. W., Cattivelli, L., Lidestri, O., di Fonzo, N. and Stanca, A. M. 2004. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Science*, 44(6): 2127–2137.

10.2135/cropsci2006.10.0674

- Rouphael, Y., Mouneimne, A. H., Ismail, A., Mendoza-DeGyves, E., Rivera, C.M. and Colla, G. 2010. Modeling individual leaf area of rose (*Rosa hybrida* L.) based on leaf length and width measurement. *Photosynthetica*, 48: 9-15.
- Rucker, K. S., Kevin, C. K., Holbrook, C. C. and Hook, J. E. 1995. Identification of peanut genotypes with improved drought avoidance traits. *Peanut Science*, 22:14–18.
- Ruibal-Mendieta, N. L., Rozenberg, R., Delacroix, D. L., Petitjean, G., Dekeyser, A., Baccelli, C., Marques, C., Delzenne, N. M., Meurens, M. and Habib-Jiwan, J. L. (2004). Spelt (*Triticum spelta* L.) and Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) Whole meals Have Similar Sterol Profiles, As Determined by Quantitative Liquid Chromatography and Mass Spectrometry Analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 4802-4807.
- Saeedipour, S. 2011. The relationship between the senescence induced by water deficits and C remobilization during grain filling in two wheat cultivars differing in drought resistance. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 1990-2001.
- Saeedipour, S. and Moradi, F. 2011. Effect of drought at the post-anthesis stage on remobilization of carbon reserves and some physiological changes in the flag leaf of two wheat cultivars differing in drought resistance. *J. Agric. Sci.*, 3: 81–92.
- Saeedipour, S. and Moradi, F., 2012. Relationship of endogenous ABA and IAA to accumulation of grain protein and starch in two winter wheat cultivars under post-anthesis water deficit. *J. Agric. Sci.*, 4: 147–156.
- Saeidi, M., Moradi, F. and Jalali-Honarmand, S. 2012. The effect of post anthesis source limitation treatments on wheat cultivars under water deficit. *Aust. J. Crop Sci.*, 6: 1179–1187.
- Saini, H. S. and Aspinall, D. 1981. Effect of water deficit on sporogenesis in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ann. Bot.*, 43: 623-633.
- Saint-Pierre, C., Peterson, C. J. Ross, A. S. Ohm, J. B. Verhoven, M. C., Larson, M. and Hofer, B. 2008. Winter wheat genotypes under different levels of nitrogen and water stress: Changes in grain protein composition. *J. Cereal Sci.*, 47: 407-416.
- Sakumona, M., Lungu, D. M. and Munyinda, K. 2014. Evaluation of Twelve Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes for Water Use Efficiency under Varying Water Regimes. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 4(8): 63-70.
- Saleem, S., Kashif, M., Ashraf, M. Y. and Saleem, U. 2017. Assessment of genetic effects of some physiological parameters on spring wheat under water stress. *Pak. J. Bot.*, 49(6): 2133-2137.
- Saleem, S., Kashif, M., Hussain, M., Khan, A. S. and Saleem, M. F. 2016a. Genetic behavior of morpho-physiological traits and their role for breeding drought tolerant wheat. *Pak. J. Bot.*, 48(3): 925-933.
- Saleem, S., Kashif, M., Hussain, M., Khan, A.S. and Saleem, M.F. 2016b. Genetics of water deficit tolerance for some physiological and yield variables in *Triticum aestivum* L. *J. Anim. Plant Sci.*, 26(3): 731-736.
- Savic, J., Dodig, D., Kandic, V., Glamoclija, D. and S. Quarrie. 2012. Bread wheat traits related to yield under post-anthesis stress. 47th Croatian and 7th International Symposium on Agriculture. Section 5. Field Crop Production. pp: 539 – 542. Opatija. Croatia.

- Scheer, C., Grace, P. R., Rowlings, D. W. and Payero, J. 2012. Nitrous oxide emissions from irrigated wheat in Australia: impact of irrigation management. *Plant Soil*, 359: 351–362.
- Schlemmer, M. R., Francis, D. D., Shanahan, J. F. and Schepers, J. S. 2005. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agron. J.*, 97:106-112.
- Schofield, J. D. 1994. Wheat proteins: structure and functionality in milling and bread-making. In: *Wheat, Production, Properties and Quality*, (ed. Bushuk, W. and Rasper, V.F.), Blackie Academic and Professional, pp73-106.
- Schonfeld, M. A., Johnson, R. C., Carwer, B.F. and Mornhinweg, D. W. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop. Sci.*, 28: 526-531.
- Shahryari, R., Valizadeh, M. and Mollasadeghi, V. 2011. Evaluation of irrigation levels and its impact on quality and quantity performance of wheat. *Adv. Environ. Biol.*, 5: 528-534.
- Shangguan, Z. P., Shao, M. A., Lei, T. W. and Fan, T.L. 2002. Runoff water management technologies for dryland agriculture on the Loess Plateau of China. *Int. J. Sustainable Dev. World Ecol.*, 9: 341-350.
- Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A. and Zhao, C. X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Geoscience*, 331(3): 215–225.
- Shao, H. B., Chen, X.Y., Chu, L.Y., Zhao, X.N., Wu, G., Yuan, Y.B., Zhao, C. X. and Hu, Z.M. 2006. Investigation on the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits. *Coll. Surf. B Bio interf.*, 53:113-119.
- Sharma, I., Tyagi, B.S., Singh, G., Venkatesh, K. and Gupta, O.P. 2015. Enhancing wheat production- A global perspective. *Indian J. Agri. Sci.*, 85 (1): 3–13.
- Sharp, R. E. and Davis, W. J. 1989. Regulation of growth and development of plants growing with a restricted supply of water. In: Jones, H. G., Flowers, T. J. and Jones, M. B. (editors). *Plant under Stress*. Cambridge, UK: Cambridge University Press; pp. 71–93.
- Sheoran, I. S. and Saini, H. S. 1996. Drought-induced male sterility in rice: Changes in carbohydrate levels and enzyme activities associated with the inhibition of starch accumulation in pollen. *Sexual Plant Reprod.*, 9(3): 161–169.
- Shewry, P. R. 2003. *Wheat gluten proteins*. *Wheat Gluten Protein Analysis*, ed. Shewry, P. R. and Lookhart, G. L. St Paul, MN: AACC. 1–17.
- Shewry, P. R. and Halford, N.G. 2002. Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, 53: 947-958.
- Shewry, P. R., Halford, N. G. and Tatham, A. S. 1992. High molecular weight subunits of wheat glutenins. *J. Cereal Sci.*, 15:105-120.
- Shi, J. F., Mao, X. G., Jing, R. L., Pang, X. B., Wang, Y. G. and Chang, X. P. Gene expression profiles of response to water stress at the jointing stage in wheat. *Agricultural Sciences in China*, 9(3): 325–330.
- Shimazaki, Y., Ookawa, T. and Hirasawa, T. 2005. The root tip and accelerating region suppress elongation of the decelerating region without any effects on cell turgor in primary roots of maize under water stress. *Plant Physiology*, 139(1): 458–465.

- Siadat, H. 1987. Supplemental irrigation systems in Iran, pp. 327-364. In: Perrier, E. R. and Salkini, A. B. 1987. Supplemental irrigation in the near east north Africa, Kluwer Academic publisher, Boston, London.
- Siddique, M. R. B., Hamid, A. and Islam, M. S. 2000. Drought stress effects on water relation of wheat. *Bot. Bull. Acad. Sci.*, 41: 35-39.
- Sieling, K., Christen O., Richter-Harder, H. and Hanus, H. 1994. Effects of temporary water stress after anthesis on grain yield and yield components in different tiller categories of two spring wheat varieties. *J. Agron. and Crop Sci.*, 173: 32-40.
- Singh, S., Gupta, A. K. and Kaur, N. 2012. Differential responses of antioxidative defense system to long-term field drought in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes differing in drought tolerance. *J. Agron. Crop Sci.*, 198: 185–195.
- Sio-se Mardeh, A., Ahmadi, A., Poustini, K. and Mohamadi, V. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. *Field Crop Res.*, 98: 222-229.
- Smith, C. and Wayne, A. 1995. Crop Production. John Wiley and Sons; 60-62.
- Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E. and Latifi, N. 2002. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Sci Technol.*, 30: 51–60.
- Soltner, D. 2012. Phytotechnie spéciale : les grandes productions végétales : céréales, plantes sarclées, prairies. Sciences et techniques agricoles, 21^{ème} Edition. Angers.472 p. (Collection Sciences et techniques agricoles).
- Southgate, D. A. T. 1991. Determination of Food Carbohydrates, Elsevier Applied Science, London. pp 109-112.
- Sowers, K. E., Miller, B.C. and Pan, W.L. 1994. Optimizing grain yield in soft white winter wheat with split nitrogen applications. *Agron. J.*, 86: 1020-1025.
- Spagnoletti-Zeuli, P. L. and Qualset, C. O. 1990. Flag Leaf Variation and the Analysis of Diversity in Durum Wheat. *Plant breeding*, 105(3): 189-202.
- Spano, G., Di Fonzo, N., Perrotta, C., Platani, C., Ronga, G., Lawlor, D. W., Napier, J. A. and Shewry, P. R. 2003. Physiological characterization of ‘stay green’ mutants in durum wheat. *Journal of Experimental Botany*, 54: 1415–1420.
- Spollen, W. G., Sharp, R. E., Saab, I. N. and Wu, Y. 1993. Regulation of cell expansion in roots and shoots at low water potentials. In: Smith, J. A.C. and Griffiths, H. (editors).1993. *Water Deficits, Plant Responses from Cell to Community*. Oxford, UK: Bios Scientific Publishers. pp. 37–52.
- Stapper, M. and Harris, H.C. 1989. Assessing the productivity of wheat genotype in a Mediterranean climate, using a crop-simulation model. *Field Crops Res.*, 20: 129–152.
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H. and Dickey, D. A. 1997. Principles and Procedures of Statistics. A biometrical approach. 3rd Ed., McGraw Hill Book, INC., New York, USA.
- Stoddard, F. L. and Marshall, D.R. 1990. Variability in grain protein in Australian hexaploid wheats. *Aust. J. Agric. Res.*, 41: 277-288.
- Sylvester-Bradley, R., Scott, R. K. and Wright, C. E. 1990. Physiology in the Production and Improvement of Cereals. *Home-grown Cereals Authority Research Review*, HGCA, London, 18.

- Tahir, I. S. and Nakata, A.N. 2005. Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling. *J. Agron. Crop Sci.*, 191:106-115.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. 4th ed. Sinauer Associates Inc. Publishers, Massachusetts, 211-224p.
- Tardieu, F. 2005. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress. *Comptes Rendus Geoscience*, 337: 57–67.
- Tas, S. and Tas, B. 2007. Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkiye. *World. J. Agric. Sci.*, 3 (2): 178 – 183.
- Tayyar, Ş. 2008. Grain yield and agronomic characteristics of Romanian bread wheat varieties under the conditions of Northwestern Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 7(10): 1479-1486.
- Tayyar, Ş. 2010. Variation in grain yield and quality of Romanian bread wheat varieties compared to local varieties in northwestern Turkey. *Romanian Biotechnological Letters*, 15(2): 5189-5196.
- Tayyar, Ş. and Gül, M. K. 2008. Evaluation of 12 bread wheat varieties for seed yield and some chemical properties grown in Northwestern Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 20(5): 3715-3725.
- Tipples, K. H., Kilborn, R. H. and Preston, K. R. 1994. Bread-wheat quality defined. In: *Wheat, Production, Properties and Quality*, (ed. Bushuk, W. and Rasper, V.F.), Blackie Academic and Professional, pp. 25-36.
- Tracey, M. V. 1967. Gluten: New light on an old protein. *Cereal Science*, 12: 193-197.
- Van Ginkel, M., Calhoun, D. S., Gebeheyehu, G., Miranda, A. and Rajaram, S. 1998. Plant traits related to yield of wheat in early, late or continuous drought conditions. *Euphytica*, 100: 109-121.
- Van Slageren, M. W. 1994. *Wild Wheats: A Monograph of Aegilops L. and Amblyopyrum (Jaub. and Spach) Eig (Poaceae): A Revision of All Taxa Closely Related to Wheat, Excluding Wild Triticum Species, with Notes on Other Genera in the Tribe Triticeae, Especially Triticum*, Wageningen: Wageningen Agric. Univ.
- Waines, J. G. and Barnhart, D. 1992. Biosystematic research in *Aegilops* and *Triticum*. *Hereditas*, 116: 207-212.
- Wang, D., Yua, Z. and White, P. J. 2013. The effect of supplemental irrigation after jointing on leaf senescence and grain filling in wheat. *Field Crops Research*, 151: 35–44.
- Wang, Q., Li, F. R., Zhao, L., Zhang, E. H., Shi, S. L., Zhao, W. Z., Song, W. X. and Vance, M. M. 2010. Effects of irrigation and nitrogen application rates on nitrate nitrogen distribution and fertilizer nitrogen loss, wheat yield and nitrogen uptake on a recently reclaimed sandy farmland. *Plant Soil*, 337: 325–339.
- Waraich, E. A., Ahmed, R., Ali, A. and Ullah, S., 2007. Irrigation and nitrogen effects on grain development and yield in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Pak. J. Bot.*, 39(5): 1663-1672.
- Wieser, H. 2007. Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24:115-119.
- Williams, R. M., O'brien, L., Eagles, H. A., Solah, V. A. and Jayasena, V. 2008. The influences of genotype, environment and genotype x environment interaction on wheat quality. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59(2): 95-111.

- Wrigley, C. W. 1994. Developing better strategies to improve grain quality for wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 45: 1–17.
- Wrigley, C. W. and Bietz, J. A. 1988. Proteins and amino acids. St. Paul *American Association of Cereal Chemistry*.
- Xu, Z. Zhou, G. and Shimizu, H. 2009. Are plant growth and photosynthesis limited by pre drought following rewatering in grass? *Journal of Experimental Botany*, Vol. 60, No. 13, pp. 3737–3749.
- Xue, Q., Zhu, Z., Musick, J. T., Stewart, B. A. and Dusek, D. A. 2003. Root growth and water uptake in winter wheat under deficit irrigation. *Plant Soil*, 257: 151–161.
- Yang, J. C., Zhang, J. H., Wang, Z. Q., Liu, L. J. and Zhu, Q. S. 2003a. Post anthesis water deficits enhance grain filling in two-line hybrid rice. *Crop Sci.*, 43: 2099–2108.
- Yang, J. C., Zhang, J. H., Wang, Z. Q., Zhu, Q. S. and Liu, L. J., 2003b. Involvement of abscisic acid and cytokinins in the senescence and remobilization of carbon reserves in wheat subjected to water stress during grain filling. *Plant Cell Environ.*, 26: 1621–1631.
- Yang, J. C., Zhang, J. H., Wang, Z. Q., Zhu, Q. S. and Liu, L. J. 2004. Activities of fructan and sucrose-metabolizing enzymes in wheat stems subjected to water stress during grain filling. *Planta*, 220: 331–343.
- Yong'an, L., Quanwen, D., Zhigou, C. and Deyong, Z. 2010. Effects of drought on water use efficiency, agronomic traits and yield of spring wheat landraces and modern varieties in Northwest China. *Africa. J. Agric. Res.*, 5(13): 1598 – 1608.
- Zadocks, J. C., Chang, T. T. and Konzak, C. F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.*, 6: 415-421.
- Zhang, H. and Oweis, T. 1999. Water–yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agric. Water Manage.*, 38: 195-211.
- Zhang, H., Oweis, T., Garabet, S. and Pala, M. 1998. Water use efficiency and transpiration efficiency of wheat under rainfed and irrigation conditions in a Mediterranean environment. *Plant Soil*, 201: 295–305.
- Zhang, J. Y., Sun, J. S., Duan, A. W., Wang, J. L., Shen, X. J. and Liu, X. F. 2007. Effects of different planting patterns on water use and yield performance of winter wheat in the Huang-Huai-Hai plain of China. *Agricultural Water Management*, 92: 41-47. DOI:10.1016/j.agwat.2007.04.007.
- Zhang, X. Y., Pei, D. and Chen, S. Y. 2004. Root growth and soil water utilization of winter wheat in the North China Plain. *Hydrol. Process*, 18: 2275–2287.
- Zhang, X. Y., Wang, Y. Z., Sun, H. Y., Chen, S. Y. and Shao, L.W. 2013. Optimizing the yield of winter wheat by regulating water consumption during vegetative and reproductive stages under limited water supply. *Irrigation Science*, 31: 1103-1112.
- Zhu, L., Li, S. H., Liang, Z. S., Xu, X. and Li, Y. 2010. Relationship between carbon isotope discrimination, mineral content and gas exchange parameters in vegetative organs of wheat grown under three different water regimes. *J. Agron. Crop Sci.*, 196: 175–184.

ANNEXES

ANNEXE1 : Principaux stades repères de la végétation en céréales

Échelle BBCH améliorée, les échelles individuelles

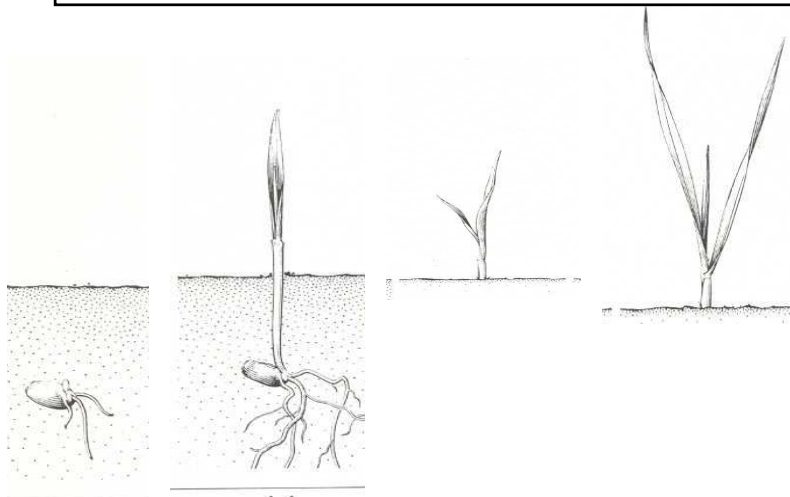
Céréales Witzemberger et al., 1989; Lancashire et al., 1991

Échelle BBCH des stades phénologiques des céréales

(froment, blé = *Triticum* sp. L., orge = *Hordeum vulgare* L., avoine = *Avena sativa* L., seigle = *Secale cereale* L.)

Stade principal 0: germination, levée

- 00 semence sèche (caryopse sec)
- 01 début de l'imbibition de la graine
- 03 imbibition complète
- 05 la racine sort de la graine
- 06 élongation de la racine, apparition de poils absorbants et développement des racines secondaires
- 07 le coléoptile sort de la graine
- 09 levée: le coléoptile perce la surface du sol



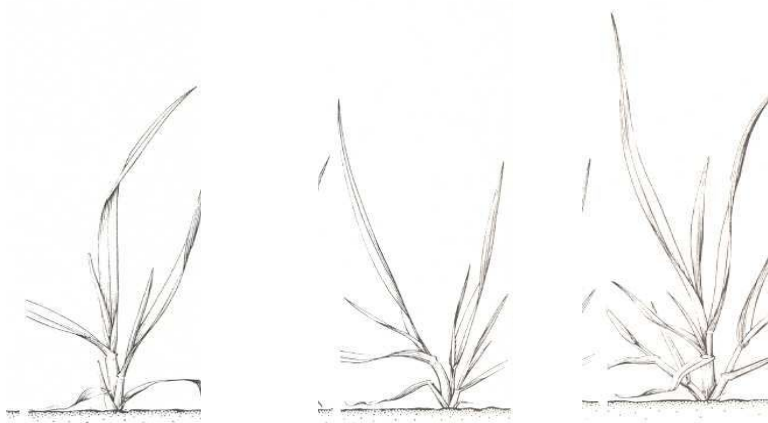
Stade principal 1: développement des feuilles 1, 2

- 10 la première feuille sort du coléoptile
- 11 première feuille étalée
- 12 2 feuilles étalées
- 13 3 feuilles étalées
- 1. et ainsi de suite ...
- 19 9 ou davantage de feuilles étalées

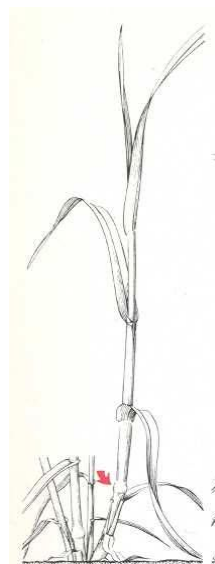
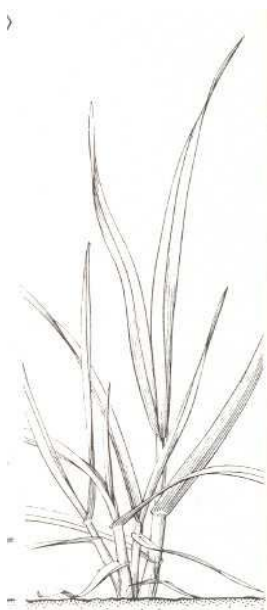
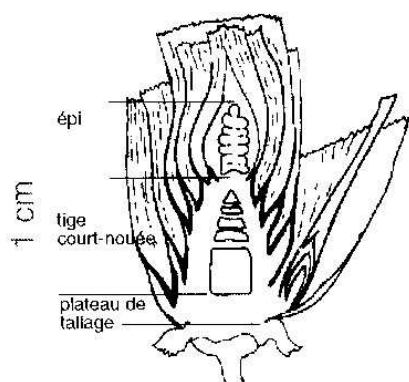
	Levée ³	Une feuille	Deux feuilles	Trois feuilles
Zadoks	10	11	12	13
Keller et Baggioloni	A	B	C	D
Feekes et Large	1	1	1	1

Stade principal 2: le tallage³

- 20 aucune talle visible
- 21 début tallage: la première talle est visible
- 22 2 talles visibles
- 23 3 talles visibles
- 2. et ainsi de suite ...
- 29 fin tallage
- 1 Une feuille est étalée si sa ligule est visible ou si l'extrémité de la prochaine feuille est visible
- 2 Le tallage ou l'élongation de la tige principale peut intervenir avant le stade 13, dans ce cas continuez avec le stade 21
- 3 Si l'élongation de la tige principale commence avant la fin du tallage alors continuez au stade 30.



	Début tallage	Plein tallage	Fin tallage
Zadocks	21	26	30
Keller et Baggioloni	E	F	H
Feekes et Large	2	3	4



	Redressement	Premier nœud
Zadocks	30	31
Keller et Baglioloni	H	I
Feekes et Large	5	6

Stade principal 3: élongation de la tige principale

30 début montaison: pseudo-tiges et talles dressées, début d'élongation du premier entre-nœud, inflorescence au plus à 1 cm au-dessus du plateau de tallage.

31 le premier nœud est au plus à 1 cm au-dessus du plateau de tallage

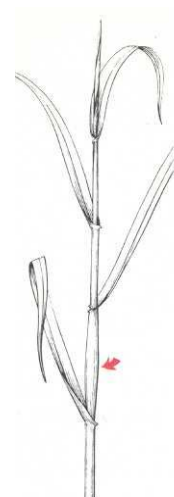
32 le deuxième nœud est au plus à 2 cm au-dessus du premier nœud

33 le troisième nœud est au plus à 2 cm au-dessus du deuxième nœud

3 . et ainsi de suite ...

37 la dernière feuille est juste visible, elle est encore enroulée sur elle-même

39 le limbe de la dernière feuille est entièrement étalé, la ligule est visible



	Deuxième nœud	Apparition de la dernière feuille
Zadocks	32	37
Keller et Baglioloni	J	K
Feekes et Large	7	8

Stade principal 4: gonflement de l'épi ou de la panicule, montaison

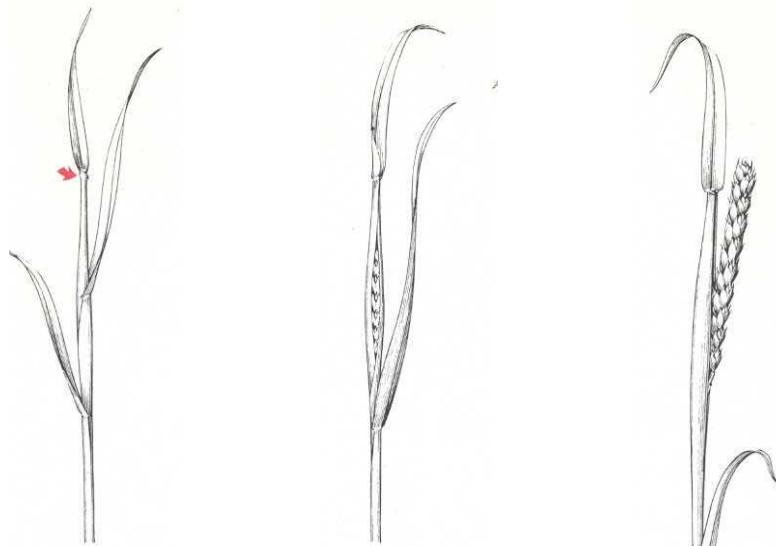
41 début gonflement: élongation de la gaine foliaire de la dernière feuille

43 la gaine foliaire de la dernière feuille est visiblement gonflée

45 gonflement maximal de la gaine foliaire de la dernière feuille

47 la gaine foliaire de la dernière feuille s'ouvre

49 les premières arêtes (barbes) sont visibles (pour les variétés aristées)



	Ligule visible	Gaine éclatée	Emergence de l'épi
Zadocks	39	45	50
Keller et Baggioloni	L	M	N
Feekes et Large	9	10	10.1

Stade principal 5: sortie de l'inflorescence ou épisaison

51 début de l'épisaison: l'extrémité de l'inflorescence est sortie de la gaine, l'épillet supérieur est visible

52 20% de l'inflorescence est sortie

53 30% de l'inflorescence est sortie

54 40% de l'inflorescence est sortie

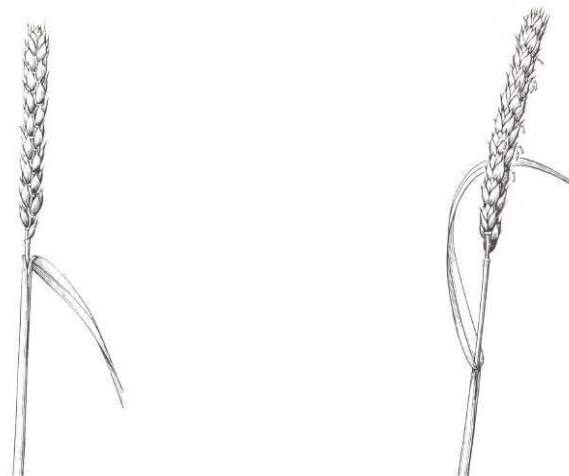
55 mi-épisaison: 50% de l'inflorescence est sortie

56 60% de l'inflorescence est sortie

57 70% de l'inflorescence est sortie

58 80% de l'inflorescence est sortie

59 fin de l'épisaison: l'inflorescence est complètement sortie de la gaine



	Epi dégagé	Début floraison
Zadocks	58	60
Keller et Baggioloni	O	P
Feekes et Large	10.5	10.5.1

Stade principal 6: floraison, anthèse

61 début floraison, les premières anthères sont visibles

65 pleine floraison, 50% des anthères sont sorties

69 fin floraison, tous les épillets ont fleuri, quelques anthères desséchées peuvent subsister

Stade principal 7: développement des graines

71 stade aqueux: les premières graines ont atteint la moitié de leur taille finale

73 début du stade laiteux

75 stade mi-laiteux: contenu de la graine laiteux, les graines ont atteint leur taille finale mais sont toujours vertes

79 fin du stade laiteux

Stade principal 8: maturation des graines

83 début du stade pâteux

85 stade pâteux mou: contenu de la graine tendre mais sec, une empreinte faite avec l'ongle est réversible

87 stade pâteux dur: contenu de la graine dur, une empreinte faite avec l'ongle est irréversible

89 maturation complète: le caryopse est dur et difficile à couper en deux avec l'ongle

Stade principal 9: sénescence

92 sur-maturité: le caryopse est très dur, ne peut pas être marqué à l'ongle

93 des graines se détachent

97 la plante meurt et s'affaisse

99 produit après récolte

ANNEXE 2: Données climatiques des deux campagnes agricoles.

Tableau 1 : Situation climatique de la campagne agricole 2013-2014

Month	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin
Precipitation (mm)	28.9	49.3	22.4	31.0	37.7	16.9	74.0	2.2	60.8	38.4
Temperature (°C)	21.5	19.5	9.1	5.7	6.6	7.3	7.5	13.1	17.4	24.0
Humidity (%)	62.0	58.1	72.8	77.1	74.6	67.1	71.5	57.1	65.8	41.0

■ : Pluviométrie moyenne mensuelle supérieure à 30mm,

■ : Température moyenne mensuelle inférieure à 10°C.

Tableau 2 : Situation climatique de la campagne agricole 2014-2015

Month	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai	Juin
Precipitation(mm)	7.4	6.1	21.6	62.0	68.8	61.0	52.8	5.1	25.9	26.2
Temperature (°C)	23.8	17.9	12.3	5.3	4.6	4.5	8.6	14.0	18.4	21.6
Humidity (%)	42.6	47.5	63.4	82.1	76.8	80.0	66.7	55.6	49.9	44.5

■ : Pluviométrie moyenne mensuelle supérieure à 30mm,

■ : Température moyenne mensuelle inférieure à 10°C.

ANNEXE 3 : Données pédologiques des sites d'expérimentation.

Annexe 3.1 : Description du site de la ferme de démonstration et de production de semences – ITGC de Sétif

1. Géomorphologie

Les glacis constituent l'unité géomorphologique de ce site et donne une morphologie mamelonnée au terrain, ils se présentent en pente moyenne (3-5%) et sont orientés Nord-Sud où l'encroutement friable ou induré est toujours présent.

2. Pédogénèse et classification du sol

Les sols sont développés sur un matériau tendre (marne calcaire) surmonté le plus souvent par un encroutement calcaire. Les sols des glacis, de texture fine, sont moyennement à très peu profonds. Leur texture est limono-argileuse. Selon la classification française, ces sols sont classés en *sols calcimagnésiques bruns calcaires sur des marnes altérées*.

3. Caractéristiques physico-chimiques de la parcelle d'essai.

Profond. (cm)	Granulométrie terre fine (%)			MO (%)	pH 1/5	CaCO ₃ Total (%)	Calcaire actif (%)	Complexe adsorbant (mg/kg)			
	A	L	S					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
0-20	38	48	14	1.18	8.2	32.0	76.5	23.47	6.02	0.50	0.50
20-40	34	48	18	1.34	8.0	49.0	62.0	22.61	4.80	0.45	0.60
40-60	30	52	18	0.52	7.3	60.0	48.0	46.86	2.19	0.47	1.30

Annexe 3.2 : Description du site de la ferme pilote Bouteraa Mahmoud - El-Oueldja- W. Sétif.

1. Géomorphologie

La géomorphologie est marquée par la présence d'une surface d'aplanissement haute 950-970m caractérisée par une charge caillouteuse abondante constituée de fragments de croute calcaire dure, de cailloux et de pierres arrondie. Les terres s'étendent sur des terrains plats avec des pentes de 0-3%.

2. Pédogénèse et classification du sol

Ce sont des sols moyennement profonds (40-60cm) reposant sur un encroutement calcaire induré, situés en surface plane et caillouteuse (galets, fragments de croute). Ces sols sont caractérisés par une texture fine argileuse à limono-argileuse renfermant 22% de sable a l'horizon A, à capacité de rétention modéré pour l'eau et les fertilisants, pas sensible à la battance mais présente un risque à l'asphyxie. La charge caillouteuse est présente sur toute la profondeur composée essentiellement de galets, gravillons. Selon la classification française, ces sols sont classés en *sols calcimagnésiques bruns calcaires sur encroutement*.

3. Caractéristiques physico-chimiques de la parcelle d'essai

Profond. (cm)	Granulométrie terre fine (%)			MO (%)	pH 1/5	CaCO ₃ Total (%)	Azote total (%)	C/N	Complexe adsorbant (mg/kg)			
	A	L	S						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
0-20	44	36	22	2.05	7.7	16.05	0.15	8.1	57.34	7.05	2.18	9.19
20-40	40	44	16	1.53	7.8	37.99	0.11	9.9	42.41	3.41	1.46	6.78
40-60	42	40	18	0.25	8.1	49.53	0.06	14.3	53.96	2.32	0.85	2.64

ANNEXE 4: Fiche technique du Matériel végétal expérimenté

Génotype1 : Hidhab

Origine : Mexique

Pédigrée : HD1220/3*Kal/NacCM40454

Obtenteur : Cimmyt

Demandeur : ITGC

Année d'inscription : 1998

CARACTERISTIQUES AU CHAMP

Coléoptile

Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

Plante

Port au tallage : Demi étalée

Hauteur (tige, épi et barbes) : Longue

Dernière feuille :

Port : Droit

Pigmentation anthocyanique des oreillettes : Nulle ou très faible

Glaucescence du col de la gaine : Forte

Glaucescence du limbe : Moyenne

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Moyenne

Epi :

Glaucescence : Moyenne

Tige :

Glaucescence du col de l'épi : Moyenne

Pilosité du dernier nœud : Moyenne

Anthères :

Pigmentation anthocyanique : Absente

CARACTERISATION SUR EPI SEC

Paille

Section (à mi-chemin entre l'épi et le nœud) : Peu épaisse

Epi

Couleur (à maturité) : Blanc

Forme : Pyramidale

Compacité : Lâche

Pilosité de la face externe de l'article terminal du rachis : Forte

Barbes ou arrêtes

Barbes ou arrêtes : Barbes présentes

Distribution : Epi entier

Longueur de l'aristation de l'extrémité de l'épi : Très courte

Longueur barbes à l'extrémité de l'épi :

Longues

Glume inférieure

Largeur de la troncature : Nulle ou très faible

Forme de la troncature : Inclinée

Longueur du bec : Très court

Forme du bec : Droit

Etendue de la pilosité interne : Moyenne

Empreinte interne : Moyenne

Glumelle inférieure

Forme du bec : Droit

Grain

Forme : Allongée

Couleur : Blanc

Long des poils de la brosse vue dorsale : moyenne

Coloration au phénol : Nulle ou très faible

Type de développement : Hiver

CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement : Elevé

PMG : 39.70g

Teneur en protéines : 13.9%

Caractéristiques alvéographiques

Force boulangère W : 222.3

Gonflement G : 18.32

Elasticité P/L : 1.98

RESISTANCES AUX MALADIES

Oidium sur feuille : Résistante

Oidium sur épi : Résistante

Rouille brune : Moyennement sensible

Rouille jaune : Moyennement sensible

Fusariose : Résistante

Septoriose : Moyennement sensible

Génotype 2 : El-wifak

Origine : Mexique

Pédigrée :

K134/4/Tob/Bman/Bb/3/Cal/5/Bucc

Obtenteur : Cimmyt

Demandeur : ITGC

Année d'inscription : 2011

CARACTERISTIQUES AU CHAMP

Coléoptile

Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

Plante

Port au tallage : Dressé

Hauteur (tige, épi et barbes) : Moyenne

Dernière feuille :

Port : Droit

Pigmentation anthocyanique des oreillettes : Nulle ou très faible

Glaucescence du col de la gaine :

Moyenne

Glaucescence du limbe : Moyenne

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Moyenne

Epi :

Glaucescence : Moyenne

Tige :

Glaucescence du col de l'épi : Moyenne

Pilosité du dernier nœud : Faible

Anthères :

Pigmentation anthocyanique : Absente

CARACTERISATION SUR EPI SEC

Paille

Section (à mi-chemin entre l'épi et le nœud) : Peu épaisse

Epi

Couleur (à maturité) : Blanc

Forme : A bord parallèles

Compacité : Lâche

Pilosité de la face externe de l'article terminal du rachis : Forte

Barbes ou arrêtes

Barbes ou arrêtes : Barbes présentes

Distribution : Epi entier

Longueur de l'aristation de l'extrémité de l'épi : Très courte

Longueur barbes à l'extrémité de l'épi :

Longues

Glume inférieure

Largeur de la troncature : Moyenne

Forme de la troncature : Droite

Longueur du bec : Longue

Forme du bec : Droite

Etendue de la pilosité interne : Moyenne

Empreinte interne : Faible

Glumelle inférieure

Forme du bec : Droit

Grain

Forme : Allongée

Couleur : Roux

Long des poils de la brosse vue dorsale : longue

Coloration au phénol : Faible

Type de développement : Hiver

CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement : Elevé

PMG : 49.78g

Teneur en protéines : 12.83%

Caractéristiques alvéographiques

Force boulangère W : 191.86

Gonflement G : 16.88

Elasticité P/L : 1.49

RESISTANCES AUX MALADIES

Oidium sur feuille : Résistante

Oidium sur épi : Résistante

Rouille brune : Résistante

Rouille jaune : Moyennement résistante

Fusariose : Résistante

Septoriose : Faiblement sensible

Génotype 3 : Djemila(ACSAD969)

Origine : Syria

Pédigrée : Acsad 529// pr14S4/ VEE's'

Obtenteur : ACSAD

Demandeur : ITGC

Année d'inscription : 2012

CARACTERISTIQUES AU CHAMP

Coléoptile

Pigmentation anthocyanique : Faible

Plante

Port au tallage : Dressé

Hauteur (tige, épi et barbes) : longue

Dernière feuille :

Port : Légèrement récurvé

Pigmentation anthocyanique des

oreillettes : Faible

Glaucescence du col de la gaine :

Moyenne

Glaucescence du limbe : Nulle ou très

faible

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur

50% des plantes : Précoce

Epi :

Glaucescence : Faible

Tige :

Glaucescence du col de l'épi : Moyenne

Pilosité du dernier nœud : Moyenne

Anthères :

Pigmentation anthocyanique : Absente

CARACTERISATION SUR EPI SEC

Paille

Section (à mi-chemin entre l'épi et le

nœud) : Moyenne

Epi

Couleur (à maturité) : Blanc

Forme : Pyramidale

Compacité : Lâche

Pilosité de la face externe de l'article

terminal du rachis : Moyenne

Barbes ou arrêtes

Barbes ou arrêtes : Barbes présentes

Distribution : Epi entier

Longueur de l'aristation de l'extrémité de

l'épi : Très courte

Longueur barbes à l'extrémité de l'épi :

Moyenne

Glume inférieure

Largeur de la troncature : Moyenne

Forme de la troncature : Echancrée

Longueur du bec : Court

Forme du bec : Droite

Etendue de la pilosité interne : Faible

Empreinte interne : Nulle ou très faible

Glumelle inférieure

Forme du bec : Droit

Grain

Forme : Ovoïde

Couleur : Blanc

Long des poils de la brosse vue dorsale :

Moyen

Coloration au phénol : Faible

Type de développement : Hiver

CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement : Elevé

PMG : 36.75g

Teneur en protéines : 13.9%

Caractéristiques alvéographiques

Force boulangère W : 128.5

Gonflement G : 14.77

Elasticité P/L : 1.97

RESISTANCES AUX MALADIES

Oidium sur feuille : Faiblement sensible

Oidium sur épi : Faiblement sensible

Rouille brune : Faiblement sensible

Rouille jaune : Résistante

Fusariose : Résistante

Septoriose : Faiblement sensible

Génotype 4 : Djanet (ACSAD899)

Origine : Syria

Pédigrée : Acsad529/4/C182.24/C168.3
/3/Cno*2/7C//CC/Tob-1s

Obtenteur : ACSAD

Demandeur : ITGC

Année d'inscription : 2012

CARACTERISTIQUES AU CHAMP

Coléoptile

Pigmentation anthocyanique : Nulle ou très faible

Plante

Port au tallage : Dressé

Hauteur (tige, épi et barbes) : Moyenne

Dernière feuille :

Port : Légèrement récurvé

Pigmentation anthocyanique des oreillettes : Faible

Glaucescence du col de la gaine : Moyenne

Glaucescence du limbe : Nulle ou très faible

Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) : Précoce

Epi :

Glaucescence : Faible

Tige :

Glaucescence du col de l'épi : Moyenne

Pilosité du dernier nœud : Moyenne

Anthères :

Pigmentation anthocyanique : Absente

CARACTERISATION SUR EPI SEC

Paille

Section (à mi-chemin entre l'épi et le nœud) : Peu épaisse

Epi

Couleur (à maturité) : Blanc

Forme : Fusiforme

Compacité : Lâche

Pilosité de la face externe de l'article terminal du rachis : Nulle ou très faible

Barbes ou arrêtes

Barbes ou arrêtes : Barbes présentes

Distribution : Epi entier

Longueur de l'aristation de l'extrémité de l'épi : Très courte

Longueur barbes à l'extrémité de l'épi : Moyenne

Glume inférieure

Largeur de la troncature : Moyenne

Forme de la troncature : Inclivée

Longueur du bec : Moyen

Forme du bec : Droit

Etendue de la pilosité interne : Faible

Empreinte interne : Faible

Glumelle inférieure

Forme du bec : Droit

Grain

Forme : Ovoïde

Couleur : Blanc

Long des poils de la brosse vue dorsale : Moyen

Coloration au phénol : Faible

Type de développement : Hiver

CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Rendement : Elevé

PMG : 42.08g

Teneur en protéines : 12.61%

Caractéristiques alvéographiques

Force boulangère W : 143.25

Gonflement G : 18.6

Elasticité P/L : 1.07

RESISTANCES AUX MALADIES

Oidium sur feuille : Résistante

Oidium sur épi : Résistante

Rouille brune : Faiblement sensible

Rouille jaune : Résistante

Fusariose : Résistante

Septoriose : Faiblement sensible

Grain Yield and Quality Traits of Bread Wheat Genotypes under Mediterranean Semi-arid Conditions

Mohamed Ridha Aissaoui^{1,2,*}, Mohamed Fenni^{1,2}

¹Department of Biology and Plants Ecology, Faculty of Life and Nature Sciences, Ferhat Abbas University, Sétif-19000, Algeria

²Natural Biological Resources Valorization Laboratory, Ferhat Abbas University, Sétif-19000, Algeria

Original Research Article

*Corresponding author
Mohamed Ridha Aissaoui

Article History

Received: 11.03.2018

Accepted: 22.03.2018

Published: 30.03.2018

DOI:

10.21276/sjavs.2018.5.3.7



Abstract: A field experiment was carried out in the high plains of Sétif region (Northeastern Algeria) on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) to investigate the effect of water deficit at different growth stages on grains yield and quality with the aim to select the most appropriate varieties for the locally Mediterranean conditions. Two newly introduced genotypes from ACSAD (*The Arab Center for the Studies of Arid zones and Dry lands*) institution and two previously ameliorated ones were grown in the (2014-2015) growing season. The supplemental irrigation caused the grain yield to increase significantly up to 25%. The highest grain protein content, sedimentation volume, ash content and falling number values have been obtained for all varieties under rain-fed conditions. Increases in grain moisture content were observed with supplemental irrigation. Statistically, optimum levels of quality characteristics were obtained with W2 supplemental irrigation regime which also suited to a significant grain yield score. Nevertheless, the study also suggests that, under rain-fed conditions, the locally cultivated variety Hidhab with an acceptable grain yield and better quality traits, in comparison with introduced varieties, remains the most suitable variety for region.

Keywords: *Triticum aestivum* L., Supplemental irrigation, genotype introduction, Grain yield, Quality traits.

INTRODUCTION

Bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most widely grown and consumed food crops all over the world [1].

Compared to other cereals, it provides food for human with more calories and proteins in the daily diet. Its suitability and superiority in bread-making with viscoelastic dough properties has been well known and documented [2-5].

As reported by Tayyar [6] selection of new bread wheat genotypes with higher grain yield and quality is the primary aim of breeding programs. According to Feillet [2], the bread wheat flours derive from different histological regions of the grain and are differentiated by their chemical composition, quantitative (proteins and mineral contents), qualitative (gluten and degree of starch granules damage) and by their physical properties (color and particle size distribution). All these properties are genetically controlled but may vary widely depending upon both genetics and environmental conditions, as discussed by Johansson [4].

Wheat grain quality grown under Mediterranean rainfed conditions suffered largely from

differences in grain composition as a result of changes in relative rates of assimilates accumulation induced by water and heat stress. Due to such water deficit, low grain yield has been associated, in particular, with high grain protein content as reported by Ozturk and Aydin [7].

In fact, many efforts have been made to release new bread varieties with both high grain yield and good bread making quality that respond to improved agricultural practices [8, 6, 9] and which still, up today, the main priority for bread wheat breeding programs. The objective of the present investigation was (i) to compare the grain yield and grain quality of the local ameliorated varieties with two newly introduced varieties in respect of higher grain yield with better quality traits, and (ii) to examine the correlation coefficients between grain yield and grain quality parameters.

MATERIALS AND METHODS

Experimental site

The experiment was conducted in Bouteraa Mahmoud pilote farm, localized 36Km far from Sétif, Algeria (36° 06'N, 5°54' E) during the 2014-2015

growing season. The soil of the upper 30cm experimental field was a silty-clay texture with 7.4 pH reaction, 2.1% organic matter, 0.15% (1500ppm) total Nitrogen contents and 7.9 C/N ratios. Weather data of the experimental site are shown in table 1.

Table-1: Weather data during the growing season (2014-2015)

Month	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June
Precipitation(mm)	6.1	21.6	62.0	68.8	61.0	52.8	5.1	25.9	26.2
Temperature (°C)	17.9	12.3	5.3	4.6	4.5	8.6	14.0	18.4	21.6
Humidity (%)	47.5	63.4	82.1	76.8	80.0	66.7	55.6	49.9	44.5

The treatments comprised four bread wheat genotypes (G) and six water regimes (W). The plots were replicated three times in randomized complete block design. The selected area of an individual experimental unit was 1.20 m² (1.20 by 1.0m).

Plant material

Four bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars were used as plant materials as shown in table

2. Hidhab (HD1220) and El-wifak, two commonly ameliorated varieties grown locally by farmers in the high plains of Sétif region, as control, and two newly introduced varieties provided by ACSAD (The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, Aleppo, Syria) institution; Djemila (ACSAD 969) and Djanet (ACSAD 899). Crop development was categorized using the Zadoks scale [10].

Table- 2: Pedigree and source of plant materials

Genotype	Pedigree	Source of materiel
Hidhab (HD1220)	HD1220/3*Kal/Nac CM40454	CIMMYT ¹ (Mexico)
El-wifak	K134/4/Tob/Bman/Bb/3/Cal/5/Bucc	CIMMYT(Mexico)
Djemila (ACSAD 969)	Acsad 529// pr14S4/ VEE's ²	ACSAD ² (Syria)
Djanet (ACSAD 899)	Acsad529/4/C182.24/C168.3/3/Cno*2/7C// CC/Tob-1s	ACSAD (Syria)

¹CIMMYT: International Maize and Wheat Improvement Center;

²ACSAD: Arab Center for the Studies of Arid zones and Dry lands

Crop management

The seeds were planted in six 17 cm row's interval at a seed rate of 250seeds m². The seeds were planted on December, 8th 2014 and plots were harvested on June 25th 2015. Nitrogen application (urea) was splitting; half at sowing and half in the beginning of stem elongation stage (total 80kg.ha⁻¹). Phosphorus was applied at the sowing as basal dressing in triple-superphosphate form (46% P₂O₅) at the rate of 7g.m⁻² (70kg.ha⁻¹). Weed control was achieved both by application of post emergence herbicides and eventually by hand. Grain yield and other agronomic data (presented in another article) were determined by the four center rows in each plot to avoid edge effects.

- W3: Irrigated during three stages; tillering (Z21-Z29), (Z32-Z39) and milky grain filling (Z70-Z77).
- W4: Irrigated during four stages; (Z21-Z29), (Z32-Z39), (Z65-Z69) and (Z70-Z77).
- W5: Fully irrigated at the five grow stages; (Z21-Z29), (Z31), (Z32-Z39), (Z65-Z69) and (Z70-Z77).

Irrigation treatments

Six supplemental irrigation regimes (W), including a rain-fed regime as control, were applied to the various plots differing in amounts and timing (crop development stages) application to ensure:

- W0 : Rain-fed without irrigation;
- W1 :Irrigated only during the stem extension stage from the second node detectable to the flag leaf ligule\collar just visible (Z32-Z39);
- W2: Irrigated during two stages; jointing at the first node detectable (Z31) and flowering (half-way to complete anthesis) stage (Z65-Z69);

Quality characteristics analysis

Harvested grains were subjected to quality analysis in duplicate. Grain samples from two replicates of the investigated varieties were milled with a disc grinder mill (Buhler mod.cMLI-204) and evaluated for quality characteristics. Grain total protein content (TP) and Sedimentation volume (SV) values were determined on a dry weight basis by near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS), using a Percon Inframatic 8600 instrument (Perten Co., Huddinge, Sweden). Grain ash (AC) content and grain moisture (GM) content were performed according to standard procedures of the ICC [11], wet gluten content (GC) was determined by the ICC standards 137 [12] using a Perton Glutork 2020 instrument (NCI Co., North Dakota, USA). The Falling number (FN) values were determined according to the ICC standard method 107/1 [13] using a Falling Number 1400 Device for wheat/grain testing (Perten Co., Huddinge, Sweden).

Statistical Analysis

Data were analyzed using statistical software package SPSS Version 23.0. The Least Significant Differences among means were used at the $P < 0.05$ level of probability as described by Steel *et al.* [14].

RESULTS

Results from analysis of variance for the investigated characteristics are presented in Table 3. Effect of water Regime (W) was found to be significant for all parameters except for wet gluten content (GC) trait. Genotype (G) effect was also found to be significant for most traits except for falling number (FN) and grain moisture (GM). $W \times G$ interaction was no significant for all measured parameters.

Table-3: Analysis of variance for grain yield and quality traits

SOV	DF	GY	TP	SV	AC	GC	FN	GM
W	5	3368,06*	1,45***	53,72***	0,04**	25,38	14827,08**	1,08***
G	3	11104,41**	7,44***	235,12***	0,67***	107,94***	8195,14	0,07
W×G	15	462,69	0,23	8,59	0,01	5,85	3386,81	0,13
CV(%)		16.79	3.41	5,59	4,89	12,21	13,53	3,87
R ²		.661	.882	.901	.944	.708	.658	.695

GY= Grain yield, TP= Total proteins content, SV= Sedimentation volume, AC=Ash content, WG= Wet gluten content, FN= Falling number , GM= Grain moisture content.

*, ** and *** indicates the significance of 5, 1 and 0.1% respectively.

Effect of water regimes on grain yield and quality traits

Differences among the water regimes were significant for grain yield and all grain quality traits except for wet gluten content. Grain yield was significantly influenced by the supplemental irrigation. The grain yield depending on irrigation application

ranged between 161.14g.m⁻² in rain-fed treatment and 201.64 gm⁻² under fully irrigated treatment (Table 4). Comparatively to rain-fed treatment, grain yield should be in peak with supplemental irrigation regimes of W2, W4 and W5 which increased grain yield by 11%, 15% and 25% respectively.

Table-4: Mean grain yield and quality traits scores by the water regimes

Water regimes	GY (g.m ⁻²)	TP (%)	SV (ml)	AC (%)	GC (%)	FN (s)	GM (%)
W0	161,14b	13,64a	44,06a	1,68a	36,37	498a	10,17c
W1	168,54b	13,25a	43,44a	1,62ab	35,47	421b	10,14c
W2	179,03ab	12,67b	37,25c	1,56bc	33,19	426b	10,46bc
W3	173,11b	12,77b	39,25bc	1,62ab	34,19	386b	10,67ab
W4	185,38ab	12,68b	40,81b	1,54c	33,66	382b	10,94a
W5	201,64a	12,57b	39,81b	1,49c	31,61	395b	10,98a
Mean	178,14	12,93	40,77	1,59	33,76	417,71	10,56
LSD (5%)	24.21	0,36	1,88	0,06	NS	47,49	0,32

GY= Grain yield, TP= Total proteins content, SV= Sedimentation volume, AC=Ash content, GC= Wet gluten content, FN= Falling number, GM= Grain moisture content.

Values with the same letter in one column are not significantly different from each other.

NS indicates that the differences were not significant

Quality parameters of rainfed varieties were found significantly higher than values obtained from the supplemental irrigation treatments, except for grain moisture content. Protein content ranged between 13.64% under rainfed conditions (W0) and 12.57% under fully irrigated treatment (W5). Sedimentation volume values of the varieties ranged between 44.1ml under rain-fed treatment (W0) and 37.3ml under W2 supplemental irrigation regime. Ash content values ranged between 1.68% under rain-fed treatment (W0) and 1.49% under fully irrigated treatment (W5). The highest average value of wet gluten content, even without significant differences, was found for the rain-fed treatment (W0) similar to the previously given

quality traits. Falling number values ranged between 498s under W0 (rain-fed treatment) and 382s under W4 water regime. As far as grain moisture content (GM) related to water regimes was considered, the fully irrigated regime W5 (10.98%) and W4 (10.94%) resulted in the highest grain moisture contents, whereas W0 (10.17%) and W1 (10.14%) resulted in the lowest.

Effect of genotype on grain yield and quality traits

Differences among varieties were significant for grain yield and all grain quality characteristics except for grain moisture (Table 5). Under the conditions of the experiment, grain yield varied among varieties from 138.12gm⁻² for local variety El-wifak to

around 200g.m⁻² for the introduced varieties ; Djanet (199.2 gm⁻²) and Djemila (200.6 gm⁻²) which had the highest grain yield, while the second local variety

Hidhab has average yielder (168.3 gm⁻²) compared to all varieties.

Table-5: Mean grain yield and quality traits scores by genotypes

Genotype	GY (g.m ⁻²)	TP (%)	SV (ml)	AC (%)	GC (%)	FN (s)	GM (%)
Hidhab	168,31b	13,86a	44,25a	1,63b	38,5a	421	10,64
El-wifak	138,12c	12,90b	44,42a	1,90a	32,3b	453	10,47
Djemila (ACSAD969)	200,62a	13,02b	39,21b	1,37d	34,0b	398	10,54
Djanet (ACSAD899)	199,25a	11,94c	35,21c	1,44c	32,1b	397	10,59
Mean	176,58	12,93	40,77	1,59	33,76	417	10,56
LSD(5%)	19,77	0,29	1,53	0,05	2,24	NS	NS

GY= Grain yield, TP= Total protein contents, SV= Sedimentation volume, AC=Ash content, GC= Wet gluten content, FN= Falling number, GM= Grain moisture content.

Values with the same letter in one column are not significantly different from each other.

NS indicates that the differences were not significant

Grain protein content was significantly different among the varieties. The local variety Hidhab had the highest protein content (13.86%), while the introduced one Djanet had the lowest (11.94%). Moreover it's important to note that Djemila with a notably high grain yield had relatively considerable grain protein content with 13.02%. With respect to sedimentation volume, local varieties El-wifak (44.4ml) and Hidhab (44.3ml) had the highest values, whereas Djanet (35.2ml) had the lowest value. In the same trend, El-wifak with 1.90% and Hidhab with 1.63% grain ash content had the highest values. The genotypes used in the study resulted in significant differences in gluten values; Hidhab (38.5%) had the highest wet gluten content value, while both varieties El-wifak (32.3%) and Djanet (32.1%) had the lowest values. The differences among the varieties were insignificant neither for falling number (FN) nor for grain moisture content; the highest FN value was obtained from the variety El-wifak (453s), while the lowest was equally

recorded from the two introduced varieties Djemila and Djanet (398s). Grain moisture content ranged around 10.5% for all varieties.

Correlation coefficients analysis, presented in table 6, revealed negative relationship between grain yield and most quality traits; sedimentation volume (r=-0.627**), ash content (r=-0.874***), total protein content (r=-0.310*) and wet gluten content (r=-0.046*). This confirmed the results of previous studies [7, 15] that correlated negative relationship of grain yield with both protein content and sedimentation volume. Protein was positively correlated with sedimentation volume (r=0.823***) and wet gluten content (r=0.758***), similar results were reported by Pittman and Tipples [17]. While ash content was positively correlated to sedimentation volume (r=0.685**) and falling number (r=0.477*), no relationships were observed between grain moisture and other investigated traits except with falling number (r=-0.512*).

Table-6: Correlation coefficients between grain yield and quality traits

Trait	GY	TP	GM	SV	AC	GC
TP	-,310*	1				
GM	,277 ^{ns}	-,272 ^{ns}	1			
SV	-,627**	,823***	-,218 ^{ns}	1		
AC	-,874***	,346 ^{ns}	-,237 ^{ns}	,685***	1	
GC	-,046*	,758***	-,081 ^{ns}	,526**	,012 ^{ns}	1
FN	-,266 ^{ns}	,344 ^{ns}	-,512*	,386 ^{ns}	,477*	,174 ^{ns}

GY= Grain yield, TP= total proteins, GM= Grain moisture content, SV= Sedimentation Volume, AC=Ash content, WG= Wet Gluten content, FN= Falling Number.

Ns not significant *, ** and *** indicates the significance of 5, 1 and 0.1% level of probability respectively.

DISCUSSION

During this study, relatively considerable whole winter-early spring rainfalls have stimulated the vegetative period, which shortened generative period and led to insufficient grain formation due to poor remobilization of carbohydrates during grain filling stage, which consequently reduced grain yields. This

approach is closely aligned with that given by Tahir and Nakata [20]. In addition, this has given extra time, so necessary for newly introduced varieties, to acclimate with the environmental conditions of the region and to restart growth into more favorable water statue. Furthermore, the supplemental irrigation amounts applied at the target stages of plant development,

particularly at flowering stage (half-way to complete anthesis), significantly increased the yield of the grown varieties. This seemed much more remarkable since the rainfalls were much lower in the early April. In the dry period, from April, scheduled supplemental irrigation improved the conditions of growth and development by stimulating the post-anthesis photosynthesis cadence and thereby increased the amount of remobilizable assimilates. Similar findings were recorded by Ozturk and Aydin [7]. Grain yield of introduced varieties was higher than that of local varieties reflecting their good response to applied water regimes.

Wheat grain quality is a combination of some physical and chemical characteristics. Their expression depends on their genetic nature as well as the influence of environment [4, 5]. According to Feillet [2], the grain protein content ranges between 8 and 18% of dry matter. The grain protein content of wheat is a critical factor in bread-making and high protein content of wheat is associated with good bread making characteristics [15]. Under rain-fed conditions, lowest grain yield was obtained (161.14g.m^{-2}) but with the highest protein content (13.64%). Similar results have been reported by Saint Pierre *et al.* [8]. Similarly, Gooding *et al.* [16] confirmed that high temperatures and water stress may lead to an increase in grain protein content. Furthermore, with the application of supplemental irrigation, the protein content of the varieties begins to decrease as expected.

Ereku *et al.* [9] reported that the sedimentation test indicates gluten swelling capacity and is largely influenced by proteins content. In all varieties, sedimentation volume values largely exceeded the accepted value (20 ml) for bread-making wheat. Sedimentation values ranged between 35 for Djanet variety and 44 ml for the two local varieties. The different water regimes had caused considerable differences in this trait. The high sedimentation values obtained under the rain-fed treatment plots (W0), indicating good flour quality, could be due to higher protein contents, which is in agreement with Saint Pierre *et al.* [8].

Measurement of ash content (mineral composition) is often used to characterize the degree of flour purity [2]. Bread wheat normally contains 1.20 to 2.30% whole-grain ash and flours presenting high ash content are not desirable [17]. In our study, ash contents exceeded 1.5% for all water regimes. Nevertheless, the new introduced varieties showed values around 1.4%. According to Feillet [2], Flours with a high ash content (>1.4%) are used to make whole wheat bread.

Generally, wet-gluten content of approximately 25% of dry matter is in the middle level [2]. In this trial the highest wet gluten content was measured under rain-fed treatment (36%). The supplemental irrigation caused gradually decreases in

gluten contents from 36% under W0 to 32% under W5. Similar results were reported by Shahryari *et al.* [18]. This situation indicated that some losses certainly happen in the quality of measured characteristics with application of supplemental irrigation, as reported by Ereku *et al.* [9]. Similarly, significant differences among the varieties were also observed for this trait, particularly, for Hidhab variety with a considerable high values (39%) which might reflect the adaptability of this variety to water stress under rainfed conditions.

According to Gooding and Davies [19], the falling numbers, representing the enzymatic state of the grain and the degree of pre-harvest sprouting and thereby estimating the expected baking volume, had the optimum range from 220–250 seconds for wheat. This optimal range exceeded by all the tested wheat genotypes and indicates flour relatively poor in enzymes going from 398seconds for the newly introduced varieties to 453seconds for Hidhab variety. The remarkable differences among rain-fed treatment (498seconds) and the supplementary water regimes until W5 treatment (395seconds), showed a decrease of about 25% in falling number values. According to Ereku *et al.* [9] this situation might be due to the high humidity caused by the microclimate formed in irrigated plots as a result of high temperature in that grain filling period.

The grain moisture content of bread wheat is of crucial importance for post-harvest processing. High grain moisture results in higher microbial activity which is not appreciable for conservation or milling industry. In this study, the supplemental irrigation increased significantly grain moisture content which stays, according to Feillet [2]; Ozturk and Aydin [7], in very acceptable values (<11%) more favorable for storage and/ mill processing conditions.

CONCLUSION

Based on the results of this study it could be concluded that under rainfed conditions, the lowest grain yield were obtained for all tested varieties while some of their quality traits such as protein content, sedimentation volume and wet gluten content have been found at high levels. The results of quality characteristics determination indicated that yield and quality could be combined in a suitable management practice; supplemental irrigation provided in two applications (W2); at jointing stage corresponding to the first node detectable (Z31), and flowering (half-way to complete anthesis) stage (Z65-Z69), was sufficient for a relatively high grain yields and acceptable grain quality characteristics and could be recommended for the region. Nevertheless, the study also suggested that, under rain-fed conditions, the local bread wheat variety Hidhab with an acceptable grain yield and better quality characters, in comparison with introduced varieties, remains the most suitable variety for the region.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Dr. Charafeddine Mouffok from, Department of Agriculture and livestock Sciences, Faculty of Life and Nature Sciences, Ferhat Abbas University-Sétif-Algeria, for his help in statistical analysis. Thanks are also extended to CNCCPS (Centre National de Contrôle et de Certification des Plantes et de Semences) Sétif-Algeria for supplying experimental plant material.

REFERENCES

1. FAO, 2016. Available from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed December 24th, 2017)
2. Feillet P. Le grain de blé, composition et utilisation. INRA Editions, Paris, France, 308p. 2000.
3. Branlard G, Dardevet M, Saccomano R, Lagoutte F, Gourdon J. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. In *Wheat in a global environment 2001* (pp. 157-169). Springer Netherlands.
4. Johansson E. Effect of two wheat genotypes and Swedish environment on falling number, amylase activities, and protein concentration and composition. *Euphytica*. 2002 Jul 1;126(1):143-9.
5. Johansson E, Prieto-Linde ML, Svensson G. Influence of nitrogen application rate and timing on grain protein composition and gluten strength in Swedish wheat cultivars. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2004 Jun 1;167(3):345-50.
6. Tayyar S. Variation in grain yield and quality of Romanian bread wheat varieties compared to local varieties in northwestern Turkey. *Romanian Biotechnological letters*. 2010; 15: 5189-5196.
7. Ozturk A, Aydin F. Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2004 Apr 1;190(2):93-9.
8. Saint-Pierre C, Peterson CJ, Ross AS, Ohm JB, Verboten MC, Larson M, Hoefler B. Winter wheat genotypes under different levels of nitrogen and water stress: Changes in grain protein composition. *J. Cereal Sci*. 2008; 47: 407-416.
9. Erekul O, Gotz KP, Gurbuz T. Effect of supplemental irrigation on yield and bread-making quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties under the mediterranean climatical conditions. *Turk. J. Field Crops*. 2012 Jan 1;17(1):78-86.
10. Zadoks JC, Chang TT, Konzak CF. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*. 1974 Dec 1;14(6):415-21.
11. International for Cereal Chemistry (ICC) Association. ICC Standard methods. Vienna, Austria. 1986.
12. International for Cereal Chemistry (ICC) Association. Standard method no.137: Mechanical determinations of the wet gluten content of wheat flour (Glutomatic). The Association: Vienna, Austria. 1982.
13. International for Cereal Chemistry (ICC) Association. Standard method no. 107: Determination of the falling number (according to Hagberg – Perten) as a measure of the degree of alpha-amylase activity in grain and flour. The Association: Vienna, Austria. 1995.
14. Steel RG, Torrie JH, Dickey DA. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach., 3rd edn (McGraw-Hill: New York).
15. Marinciu C, Săulescu NN. Cultivar effects on the relationship between grain protein concentration and yield in winter wheat. *Romanian Agricultural Research*. 2008 Jan 1;25:19-28.
16. Gooding M J, Smith G, Davies WP, Kettlewell PS. The use of residual maximum likelihood to model grain quality characteristics of wheat with variety, climatic and nitrogen fertilizer effects. *J. Agr. Sci*. 2003; 128: 135-142
17. Pittman UJ, Tipples KH. Survival, yield, protein content, and baking quality of hard red winter wheats grown under various fertilizer practices in southern Alberta. *Canadian journal of plant science*. 1978 Oct 1;58(4):1049-60.
18. Shahryari R, Valizadeh M, Mollasadeghi V. Evaluation of irrigation levels and its impact on quality and quantity performance of wheat. *Advances in Environmental Biology*. 2011 Feb 1:528-35.
19. Gooding MJ, Davies WP. *Wheat Production and Utilization: Systems, Quality and the Environment*. CAB International, Wallingford, UK, 355p. 1997.
20. Tahir IS, Nakata N. Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2005 Apr 1;191(2):106-15.

ملخص: تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الري الإضافي المجهز عند مراحل فسيولوجية محددة في تحسين الإنتاج الكمي و النوعي لمحصول القمح اللين (*Triticum aestivum* L.) تحت ظروف الإجهاد المائي بمنطقة سطيف شبه الجافة. تم فحص مجموعتين من الأنماط الوراثية تحت كل من الظروف المطرية والمروية خلال الموسمين الزراعيين المتتاليين 2014/2013 و 2015/2014، يمثل المجموعة الأولى صنفان محليان محسنان ومزروعان على نطاق واسع بالمنطقة هما (Hidhab HD1220) و El-wifak وتتألف المجموعة الثانية من صنفين أدرجا حديثا هما Djemila (ACSAD 969) و Djanet (ACSAD 899) التي جهزتهما مؤسسة ACSAD. من خلال هذه الدراسة، تم إثبات أن تطبيق الري الإضافي سوف يساهم بشكل فعال في تحسين إنتاج القمح اللين في منطقة سطيف، حيث ساهم الري الإضافي فعليا في زيادة مردود الحبوب بشكل ملحوظ بنسبة 24% و 25% على التوالي خلال سنتين من التجارب مقارنة مع الظروف المطرية، خاصةً للمنمطين الوراثيين المدخلين حديثا؛ Djemila (ACSAD 969) و Djanet (ACSAD 899). تحت ظروف الري المحدود، أدى تطبيق نظام الري بسقيتين (SI2)؛ الأولى عند نقطة الوصل المقابلة لمرحلة العقد الأولى من الاستطالة (Z31)، والثانية في مرحلة الإزهار عند ظهور الأسدية على 50% من السنابل (Z65- Z69) إلى زيادة مردود الحبوب بشكل كبير بنسبة 14.60% و 11.10% على التوالي خلال موسم التجارب، دون أن يكون مختلفا بشكل معنوي عن النظام الأكثر ريا SI5. ارتبطت هذه الزيادة بتحسين معظم الصفات الزراعية التي أظهرت ارتباطات معنوية وإيجابية مع مردود الحبوب، بما في ذلك مكوناته الرئيسية كعدد الحبوب في السنبل، عدد الحبوب لوحدة المساحة ووزن الحبوب في السنبل. من ناحية أخرى، و تحت الظروف المطرية، حيث تم الحصول على مردود حبوب منخفض نسبياً لجميع الأنماط الوراثية التي تم اختبارها، فإن تقييم معظم خصائص معايير الجودة للذيق الناتج عن هذه الطرز الوراثية، مثل محتوى البروتين، و مؤشر الترسيب لـ Zelény و محتوى الغلوتين الرطب كانت عند أعلى مستوياتها، خاصة لدى النمط الوراثي Hidhab (HD1220)، الذي أعطى أعلى نسبة من محتوى البروتين تراوحت ما بين 13.58% و 13.86% على التوالي لكتلتا سنتي التجارب.

الكلمات المفتاحية: الري الإضافي، القمح اللين (*Triticum aestivum* L.)، إدخال أنماط وراثية، تحسين الإنتاج، الصفات النوعية.

Résumé : La présente étude a pour objectifs l'évaluation de l'effet de l'irrigation d'appoint apportée à des stades physiologiques cibles bien précis, sous des conditions de stress hydrique dans la région semi-aride de Sétif, sur l'amélioration de la production du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) tant sur le plan quantitatif que qualitatif. Dans ce contexte deux ensembles de géotypes; le premier représenté par les deux variétés localement améliorées et largement cultivées Hidhab (HD1220) et El-wifak et le second constitué par deux variétés nouvellement introduites ; Djemila (ACSAD 969) et Djanet (ACSAD 899) fournies par l'institution ACSAD, ont été examinés sous des conditions pluviales et en irrigué au cours des deux campagnes agricoles consécutives 2013/2014 et 2014/2015. Sur la base de cette étude, il a été démontré que l'adoption de l'irrigation d'appoint contribuera effectivement à l'amélioration de la production du blé tendre dans la région de Sétif. En effet, l'irrigation d'appoint a contribué à augmenter significativement le rendement en grains de 24% et 25% consécutivement pour les deux années d'expérimentation, par rapport au régime pluvial principalement chez les deux géotypes nouvellement introduits ; Djemila (ACSAD 969) et Djanet (ACSAD 899). Sous conditions d'irrigation limitée, l'application d'un régime d'irrigation apporté en deux arrosages (SI2); le premier au point de jonction correspondant au stade montaison à 1^{er} nœud (Z31), et le second au stade floraison lorsque les anthères sont visibles sur 50% des épis (Z65-Z69) a significativement amélioré le rendement en grains de 14.60% et 11.10% consécutivement durant les deux années d'expérimentation, sans qu'il fût significativement différent du régime le plus arrosé SI5. Cette augmentation était liée à l'amélioration de la plupart des caractères agronomiques qui présentaient des corrélations significatives et positives avec le rendement en grains, notamment ses principales composantes à savoir ; le nombre de grains par épi, le nombre de grains par unité de surface et le poids de grains par épi. En revanche et sous conditions pluviales, où de relatives faibles rendements en grains ont été obtenu pour tous les géotypes testés, la plupart des caractéristiques d'appréciation de qualité des farines produites de ces géotypes, tels que la teneur en protéines, l'indice de sédimentation de Zelény et la teneur en gluten humide ont été à des niveaux plus élevés en particulier chez le géotype Hidhab (HD1220) qui présentait des teneurs élevées en protéines de l'ordre de 13.58% et 13.86% respectivement pour les deux années d'expérimentation.

Mots clés : Irrigation d'appoint, *Triticum aestivum* L., introduction de géotypes, amélioration de production, traits de qualité.

Abstract: The present study has for objectives to evaluate the effect of supplemental irrigation applied at specific target physiological stages, under the semi-arid water stress conditions of Sétif region, on the improvement of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) production both quantitatively as well as qualitatively. In this context two sets of genotypes; the first one represented by two locally improved and widely cultivated varieties Hidhab (HD1220) and El-wifak and the second consisting of two recently introduced varieties; Djemila (ACSAD 969) and Djanet (ACSAD 899) provided by ACSAD institution, was examined under both rain-fed and irrigated conditions during two consecutive wheat cropping seasons 2013/2014 and 2014/2015. On the basis of this study, it was demonstrated that the adoption of supplemental irrigation will effectively contribute to improve the production of bread wheat in the region of Setif. In fact, the supplemental irrigation contributed to significantly increase the grain yield by 24% and 25% consecutively for the two years of experimentation compared to rainfed conditions, principally for the two newly introduced genotypes; Djemila (ACSAD 969) and Djanet (ACSAD 899). Under conditions of limited irrigation, the application of an irrigation regime brought in two watering (SI2); the first at jointing corresponding to the 1st node stage (Z31), and the second at flowering stage when the anthers are visible on 50% of the spikes (Z65-Z69) significantly improved the grain yield by 14.60% and 11.10% consecutively during the two years of experimentation, without it being significantly different from the most watered regime SI5. This increase was related to the improvement of most agronomic traits that had significant and positive correlations with grain yield, including its major components namely; the number of grains per spike, the number of grains per unit area and the weight of grains per spike. On the other hand, and under rain-fed conditions, where relative low grain yields were obtained for all the tested genotypes, most of quality appreciation characteristics of flours produced from these genotypes, such as the protein content, the Zelény sedimentation index and wet gluten content were at higher levels, particularly for Hidhab (HD1220) genotype, which presented the highest protein contents of 13.58% and 13.86% respectively for the two years of experimentation.

Key words: Supplemental irrigation, *Triticum aestivum* L., genotypes introduction, production improvement, quality traits.