République Algérienne Démocratique et Populaire
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI CONSTANTINE

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

N° d'ordre……..

N° de série……..

THESE
EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE
DOCTEUR EN SCIENCES

OPTION

LES BASES BIOLOGIQUES DE LA PRODUCTION VEGETALE

Thème

Interactions génotype-milieu de variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous stress hydrique

Présentée par
KARA Karima

Devant le jury

Président :	KHELIFI Douadi	Professeur, Université Mentouri Constantine
Encadreur :	BRINIS Louhichi	Professeur, Université Badji Mokhtar Annaba
Examinateurs :	BENBELKACEM Abdelkader	Directeur de Recherche, INRA-Constantine
	KARA Youcef	Professeur, Université Mentouri Constantine
	TAHAR Ali	Professeur, Université Badji Mokhtar Annaba

Année : 2014/2015

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé sous la direction du Prof. Brinis L. de l'université Badji Mokhtar de Annaba, avec la précieuse coopération de l'Institut Technique des Grandes Cultures (I.T.G.C) du Khroub, de Guelma et de Sétif et de l'INRA de Constantine qui ont mis à notre disposition un panel diversifié de variétés de blé tendre et des parcelles expérimentales pour réaliser sur champ des séries d'essais.

Bien que cette page soit très ordinaire, elle a pourtant une importance capitale. A titre personnel, je suis heureuse d'avoir l'occasion ici d'exprimer ma gratitude vis-à-vis de personnes qui ont eu à jouer un rôle dans la réalisation de cette thèse. J'espère que mes mots réussiront à retranscrire fidèlement mes sentiments à leur égard.

Mes premiers remerciements vont au Professeur BRINIS Louhichi de la faculté des Sciences de l'Université Badji Mokhtar d'Annaba pour m'avoir accueillie au sein de son équipe et avoir accepté de diriger et d'orienter ce travail de recherche.

Je tiens à exprimer mes remerciements au Professeur KHELIFI Douadi de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Constantine 1 qui a accepté d'évaluer ce travail de thèse et de présider ce jury. Qu'il soit ici remercié de l'intérêt qu'il a porté à ce travail.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Mr TAHAR Ali, Professeur à l'université Badji Mokhtar d'Annaba d'avoir accepté d'examiner ce travail comme membre du jury. Je le remercie aussi pour son accueil, son aide et ses conseils très précieux dans l'exploitation statistique des résultats. Il m'est agréable de lui exprimer ma pleine gratitude pour sa simplicité et sa générosité, preuve de ses qualités humaines et scientifiques.

J'adresse mes plus vifs remerciements à Monsieur BENBELKACEM Abdelkader, Directeur de recherche à l'INRA de Constantine, d'avoir bien voulu participer à ce jury.

J'exprime ma reconnaissance à Monsieur le Professeur KARA Youcef de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Constantine 1 d'avoir bien voulu évaluer cette thèse en qualité d'examinateur.

Mes vifs remerciements s'adressent également à Madame KANOUNI-RACHED Malika, Maître de conférences à la faculté des Sciences de la Nature de l'Université Constantine 1 pour sa disponibilité, son soutien permanent et son aide. Qu'elle soit assurée de ma profonde reconnaissance et de mon amitié.

Des remerciements affectueux vont exclusivement à mon mari le Professeur BOUSSEBOUA Hacene Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure de Biotechnologie qui m'a soutenue et poussée à finaliser ce travail. Ses conseils et son soutien indéfectible m'ont accompagné tout au long de ce parcours. Merci pour tout.

DEDICACES

A la mémoire de Papa

A ma Mère

A mon Mari

A mes Sœurs

A ma Famille et ma Belle-Famille

Que ce travail soit aussi le vôtre

Sommaire

Introduction …… 1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1. Le blé…….. 4

1.1. Historique ……..... 4

1.2.Origine et Caractères génomiques du Blé tendre……..….. 5

1.3.Production et importance de la culture du blé……..……..... 7

1.3.1. Production mondiale ……..….. 7

1.3.2. Production et Consommation en Algérie……..…. 7

1.3.3. Utilisation du blé ……..…. 8

1.4. Effets de l'Environnement et Réaction au Stress hydrique……..….. 10

1.4.1. Effets de l'environnement climatique et édaphique ……...….... 10

1.4.2. Notion d'Adaptation et de Tolérance au Stress hydrique……...…… 11

1.4.3. Effets du Déficit hydrique sur les différents Organes du Blé…… 11

1.5. Réponse physiologique au Déficit hydrique (Tests indirects prédictifs)……. 13

1.5.1. Potentiel hydrique……..…… 14

1.5.2. Teneur en Chlorophylle……..… 14

1.5.3. Accumulation d'osmolytes (Sélection indirecte)……...……...….. 14

1.6. Protection de l'Intégrité cellulaire au Stress……..….. 16

1.6.1. Protéines chaperonnes HSP (Heat Shock Proteins)……...…. 16

1.6.2. Protéines LEA (LateEmbryognesis Abundant)……..……...…. 16

1.7. Approche moléculaire**:** Régulation des Gènes lors du Stress hydrique…..…. 17

1.8. Amélioration Rendement et Sélection directe du blé……..... 19

2. Structure et Caractères Technologiques du blé ……..... 20

2.1. Structure……...…… 20

2.1.1. Les enveloppes et la couche à aleurone……..... 21

2.1.2. Le Germe…..……...… 21

2.1.3. L'Albumen…….…… 22

2.2. Classification des Protéines du Grain de Blé tendre…… 22

2.2.1 Protéines métaboliques…….……..…. 23

2.2.2. Protéines de réserve (protéines du gluten)…….…….... 23

2.2.3. Gènes codant pour les Gluténines ……. 26
2.3. Amidon du Blé……. 27
2.4. Humidité……... 28
2.5. Caractéristiques technologiques (qualité boulangère)…….. 28
2.5.1. Test de Pelshenke…… 28
2.5.2. Test de sédimentation « SDS »…….. 29
2.5.3. Valeur boulangère par Alvéographe Chopin…….. 29
2.6. Dureté du grain de blé…….. 31
3. Caractères Moléculaires de qualité du blé ……..……. 32

Chapitre II : Matériel et méthodes

1. Expérimentation1 ……..……..…… 34
1.1. Matériel végétal……..….. 34
1.2. Essai expérimental 1……..... 35
1.2.1. Essai au champ…… 35
1.2.2. Expérimentation en conditions semi contrôlées……..... 37
2. Essai Expérimental 2……..……..… 40
2.1. Matériel végétal……..….. 40
2.2. Localisation des sites expérimentaux……..…. 40
2.3. Mise en place de l'essai……...…. 41
2.4. Mesures et Notation sur champ……...…. 43
2.5. Analyse technologiques des semences……..……..…….. 43
2.5.1. Taux de Protéines……..…. 43
2.5.2. Taux d'Amidon…….……. 44
2.5.3. Taux d'Humidité…..……..… 44
2.6. Tests technologiques……. 44
2.6.1. Test de sédimentation SDS……..……...…. 44
2.6.2. Test de Pelshenke……..…. 44
2.6.3. Propriétés rhéologiques des Glutens et des Farines……..…… 45
2.7. Technique d'Electrophorèse……...….. 48
2.7.1. Principe……..…. 48
2.7.2. Extraction des protéines de réserve……..….. 48
2.7.3. Electrophorèse monodimensionnelle des gluténines par SDS-PAGE.... 49

2.7.4. Coloration et décoloration……..…… 50
3. Méthodes d'analyse statistique…….…..... 50
3.1. Analyse univariée ……..….. 50
3.1.1. Description des Données…….. 50
3.1.2. Le test *t* de Student pour échantillons indépendants…..…….. 51
3.1.3. L'analyse de la Variance (ANOVA)…… 51
3.1.4. Le test de Tukey…… 51
3.2. Méthodes statistiques bivariées : Coefficient de corrélation…….….. 52
3.3. Méthodes statistiques multivariées…….. 52
3.3.1. Analyse en composantes principales (ACP)……. 52
3.3.2. Analyse hiérarchique ou classification hiérarchique……...…. 53

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Résultats……... 54
1. Expérimentation 1…….…….... 54
1.1. Description des données…….…….... 54
1.2. Résultats des analyses statistiques univariées……..…….. 55
1.2.1. Comparaison entre variétés témoins et stressées de blé tendre de chacune des variables physiologiques. Test *t* de Student…..... 55
1.2.2. Comparaison entre les variétés, des valeurs moyennes de chacune des variables, pour l'année 2009/2010. Test d'analyse de la variance……..……... 55
1.2.3. Recherche de groupes de variétés homogènes par variable…….. 56
1.3. Analyse statistique bivariée : Coefficients de Corrélations :……...…… 57
1.4. Analyse statistique multivariée……..…….. 57
1.4.1. Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) des paramètres agronomiques……..…... 57
1.4.2. Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) des traits physiologiques chez les variétés de blé tendre stressées……..…… 63
2. Expérimentation 2……..... 68
2.1. Résultats agronomique au cours des campagnes 2010-2011 et 2011-2012 sur le site de Sétif……..….. 68
2.1.1. Description des données……..……. 68
2.1.2. Résultats des analyses statistiques univariées……...…… 68

2.1.3. Analyse statistique bivariée : Coefficients de Corrélations ……..…. 72
2.1.4. Analyse statistique multivariée…….……...…… 73
2.2. Résultats agronomique au cours des campagnes 2010-2011 et 2011-2012 sur le site du Khroub à Constantine……..…….……..…….. 79
2.2.1. Description des données…….. 79
2.2.2. Résultats des analyses statistiques univariées…….…….. 79
2.2.3. Analyse statistique bivariée : Coefficients de Corrélations …… 83
2.2.4. Analyse statistique multivariée…….……...……. 83
2.3. Résultats agronomique au cours des campagnes 2010-2011 et 2011-2012 sur le site de Guelma……...…… 89
2.3.1. Description des données…..…. 89
2.3.2. Résultats des analyses statistiques univariées……...… 89
2.3.3. Analyse statistique bivariée : Coefficients de Corrélations ……...…. 93
2.3.4. Analyse statistique multivariée…….……..….. 93
2.4. Comparaison entre site des résultats agronomique…….……..…….. 99
2.4.1. Comparaison, entre sites, par année. Test analyse de la variance…...…. 99
2.4.2. Comparaison, entre sites, pour l'ensemble des deux années. Test d'analyse de la variance……..….. 101
2.4.3. Recherche de groupes de sites homogènes par variable et par variété durant deux années sur les trois sites: Résultats du test de Tukey…….…….. 103
2.4.4. Effet années sur les paramètres agronomiques sur les 3 sites étudiées… 109
2.4.5. Classification des moyennes et groupes homogènes des données agronomiques établis par Tukey, chez les 10 variétés de blé tendre par lieu sur les 2 années…… 110
2.5. Interaction génotypes-milieu des paramètres agronomiques sur les 3 sites au cours de l'année 2010-2011…….. 111
2.6. Interaction génotypes-milieu des paramètres agronomiques sur les 3 sites au cours de l'année 2011-2012…….. 111
2.7. Résultats des données biochimiques……... 112
2.7.1. Analyse des paramètres biochimiques par variété…… 112
2.7.2. Effet du lieu et du génotype……. 114
2.8. Etude de la variation des paramètres technologique……... 115
2.8.1. Analyse des caractéristiques technologiques par variété…….. 115

2.8.2. Effet du lieu et du génotype sur les caractéristiques technologiques….. 116
2.9. Analyse statistique bivariée : Coefficients de Corrélations……... 118
3. Etude de la variabilité des sous-unités de gluténines SG-HPM chez le blé tendre…. 118
3.1. Indice de similarité des diagrammes variétaux chez le blé tendre…….. 121
3.2. Etablissement de diagramme type variétal……. 123
3.3. Classification hiérarchique du blé tendre…… 123
3.4. Effet des Glutenines HPM sur la qualité des blés tendres…….. 125
II. Discussion…….. 129
Conclusion et perspectives…… 143
Référence bibliographique
Annexe

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ABA	Acide abscissique
ACP	Analyse en composantes principales
Am	Amidon
cM	centiMorgan
CBF:	Crepeat Binding Factor
CBL	Calcineurin B-like protéine
C.C	Capacité au champ
CHL	Chlorophylle
CIMMYT	International Maize and Wheat Improvement Center
CIC	Conseil Internationale des Céréales
CDPK	protéines kinases dépendantes du calcium
dNTP	désoxyribonucléotides Triphosphates
EPS	Date d'épiaison
FAO	Food and Agriculture Association (Organisation des nations unis pour l'alimentation)
FPM	gluténines à faible poids moléculaire
G	Gonflement de la pate
G*E	Interaction génotype-environnement
Glu	Gluténine
GH	Gluten humide
GS	Gluten sec
GlyBet	glycine betaïne
H	Humidité
HSP	Heat Shock Proteins
HTR	hauteur de la plante
HPM	gluténines a haut poids moléculaire
ITGC	Institut techniques des Grandes Cultures
kDa	Kilo Dalton
L	extensibilité de la pate
LEA	Late-Embryogenesis-Abundant proteins
MAPK	Mitogen Activated Protein Kinase
NEM²	Nombre d'épi par mètre
NGE	Nombre de grains par épi
OEC	Oxygene volving complex
P	Ténacité de la pate
Pel	Pelshenke
PM	Poids molécuaire
PMG	Poids de mille grains
Prol	Proline
Prot	Proteine
QTL	Quantitative Trait Loci (locus à effets quantitatifs)
RDT	Rendement en grains
SAU	Surface Agricole Utile
SDS	Sodium Dodécyl Sulfate
SF	surface foliaire
SOS	Salt Overly Sensitive
SG-FPM	Sous unités de gluténines de faible poids moléculaire
SG-HPM	Sous unités de gluténines de haut poids moléculaire
SPS	Saccharose Phosphate Synthétase
TRE	Teneur en eau Relative
UPGMA	Unweighted Pair Groups Method of Analysis)
W	Force de la pate

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Production mondiale de blé (CIC, 2009)..... 6bis

Tableau 2 : Teneur en vitamines et en minéraux de la couche à aleurone (Lopez *et al.,* 2001)……..... 20bis

Tableau 3 : Différentes classes de protéines du grain de blé (Osborne et *al.,*1907)..... 22bis

Tableau 4 : Résultats du test *t* de Student de la Comparaison entre les variétés témoins et stressées de blé tendre, de chacune des variables physiologiques étudiés……. 55

Tableau 5 : Comparaison, entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des variables mesurées pour l'année 2009/2010. Résultats de l'analyse de la variance……..... 56

Tableau 6 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2009/2010 : Résultats du test de Tukey……. 57

Tableau 7 : Résultats de l'ACP des premiers axes, obtenus à partir de variables agronomiques chez les 10 variétés de blé tendre durant l'année 2009/2010…….. 58

Tableau 8 : Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les 2 premières composantes principales et information sur le premier plan factoriel 1-2……... 59

Tableau 9 : Valeurs des scores des deux premiers axes, valeurs des cosinus carrées correspondants en % et valeurs des cosinus carrés du premier plan factoriel 1-2……. 61

Tableau 10 : Résultats de l'ACP des premiers axes, obtenus à partir de variables physiologiques chez les 10 variétés de blé tendre stressées durant l'année 2009/2010……. 63

Tableau 11 : Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les 2 premières composantes principales et information sur le premier plan factoriel 1-2……... 64

Tableau 12 : Valeurs des scores des trois premiers axes, valeurs des cosinus carrées correspondants en % et valeurs des cosinus carrés du premier plan factoriel 1-2……. 67

Tableau 13 : Résultats du test de Student de la Comparaison entre deux années des moyennes de chacune des 5 variables pour chacune des 10 de blé tendre, pour le site de Sétif…… 69

Tableau 14 : Comparaison entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques étudiées, pour l'année expérimentale 2010/2011 à Sétif. Résultats du test d'analyse de la variance……. 70

Tableau 15 : Comparaison entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques étudiées, pour l'année expérimentale 2011/2012 à Sétif. Résultats du test d'analyse de la variance…… 70

Tableau 16 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2010/2011 à Sétif : Résultats du test de Tukey……... 71

Tableau 17 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2011/2012 à Sétif : Résultats du test de Tukey……..... 72

Tableau 18 : Résultats de l'ACP des trois premiers axes, obtenus pour l'ensemble des deux années à partir des 6 variables mesurés sur les 10 variétés de blé tendre du site de Sétif……..…….. 73
Tableau 19 : Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les 3 premières composantes principales et information sur le premier plan factoriel 1-2 pour l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Sétif……..... 74
Tableau 20 : Valeurs des scores des trois premiers axes, valeurs des cosinus carrées correspondants en % et valeurs des cosinus carrés du premier plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Sétif……... 77
Tableau 21 : Résultats du test de Student de la Comparaison entre deux années des moyennes de chacune des 5 variables pour chacune des 10 variétés de blé tendre, pour le site de Constantine…….. 80
Tableau 22 : Comparaison entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques étudiées, pour l'année expérimentale 2010/2011 à Constantine. Résultats du test d'analyse de la variance……. 81
Tableau 23 : Comparaison entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques étudiées, pour l'année expérimentale 2011/2012 à Constantine. Résultats du test d'analyse de la variance……. 81
Tableau 24 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2010/2011 à Constantine : Résultats du test de Tukey……. 82
Tableau 25 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2011/2012 à Constantine: Résultats du test de Tukey……. 82
Tableau 26 : Résultats de l'ACP des trois premiers axes, obtenus pour l'ensemble des deux années à partir des variables mesurés sur les variétés de blé tendre du site de Constantine…… 83
Tableau 27 : Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les 3 premières composantes principales et information sur le premier plan factoriel 1-2 pour l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Constantine……. 85
Tableau 28 : Valeurs des scores des trois premiers axes, valeurs des cosinus carrées correspondants en % et valeurs des cosinus carrés du premier plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Constantine…… 87
Tableau 29 : Résultats du test de Student de la Comparaison entre deux années des moyennes de chacune des variables pour chacune des variétés de blé tendre, pour le site de Guelma..... 90
Tableau 30 : Comparaison entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques étudiées, pour l'année expérimentale 2010/2011 à Guelma. Résultats du test d'analyse de la variance…. 91
Tableau 31 : Comparaison entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques étudiées, pour l'année expérimentale 2011/2012 à Guelma. Résultats du test d'analyse de la variance…. 91

Tableau 32 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2010/2011 à Guelma : Résultats du test de Tukey….. 92
Tableau 33 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2011/2012 à Guelma : Résultats du test de Tukey….. 93
Tableau 34 : Résultats de l'ACP des trois premiers axes, obtenus pour l'ensemble des deux années à partir des variables mesurés sur les variétés de blé tendre du site de Guelma……..... 94
Tableau 35 : Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les 3 premières composantes principales et information sur le premier plan factoriel 1-2 pour l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Guelma……. 95
Tableau 36 : Valeurs des scores des trois premiers axes, valeurs des cosinus carrées correspondants en % et valeurs des cosinus carrés du premier plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années du site de Guelma……..……. 97
Tableau 37 : Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison, entre les trois sites, des moyennes de chacune des 6 variables étudiées sue les 10 variétés de blé tendre pour l'année 2010/2011. Classement des variétés par niveaux de signification…….. 100
Tableau 38 : Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison, entre les trois sites, des moyennes de chacune des 6 variables étudiées sur les 10 variétés de blé tendre pour l'année 2011/2012. Classement des variétés par niveaux de signification……..……... 100
Tableau 39 : Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison, entre les trois sites, des moyennes de chacune des 6 variables étudiées sur les 10 variétés de blé tendre pour l'ensemble des deux années. Classement des variétés par niveaux de signification……... 101
Tableau 40 : Nombre de variétés de blé tendre présentant des différences très hautement significatives, entre les trois sites, par année, pour les deux années et par variable…….…….. 102
Tableau 41 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par la variable EPS durant deux années sur les trois sites: Résultats du test de Tukey……. 104
Tableau 42 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par la variable HTR durant les deux années sur les trois sites : Résultats du test de Tukey……. 105
Tableau 43 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par la variable NE/M² durant deux années sur les trois sites : Résultats du test de Tukey……. 106
Tableau 44 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par la variable NGE durant deux années sur les trois sites: Résultats du test de Tukey……. 107
Tableau 45 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par la variable PMG durant deux années sur les trois sites: Résultats du test de Tukey……. 108
Tableau 46 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par la variable RDT durant deux années sur les trois sites: Résultats du test de Tukey…..... 109

Tableau 47 : Effet année sur la moyenne des variables agronomiques étudiées sur les 10 variétés de blé tendre sur les trois sites: Résultats du test de Tukey…… 110
Tableau 48 : Classification des moyennes et groupes homogènes des données agronomiques établis par Tukey, chez les 10 variétés de blé tendre par lieu sur les 2 années…… 110
Tableau 49 : Analyse de la variance des paramètres agronomiques des 10 variétés de blé tendre. Interaction génotypes-milieu au cours de l'année 2010-2011……. 111
Tableau 50 : Analyse de la variance des paramètres agronomiques des 10 variétés de blé tendre. Interaction génotypes-milieu au cours de l'année 2011-2012……. 112
Tableau 51 : Valeurs moyennes des paramètres biochimiques (teneurs en protéines totales % de M.S, en en amidon en % M.S et en humidité % M.S) des 10 variétés de blé tendre sur les 3 sites d'étude. Analyse de la variance test de Tukey……. 113
Tableau 52 : Classification des moyennes et groupes homogènes des analyses biochimiques établies par Tukey, chez les variétés de blé tendre par site……... 114
Tableau 53 : Analyse de la variance des paramètres biochimiques. Interaction génotypes-milieu chez les 10 variétés de blé tendre……. 114
Tableau 54 : Valeurs moyennes des caractéristiques technologiques des blés tendres (Moyenne sur les 3 sites expérimentaux). Analyse de la variance et Test de Tukey……. 115
Tableau 55 : Classification des moyennes et groupes homogènes des analyses technologiques établis par Tukey, chez les variétés de blé tendre par site ……..... 117
Tableau 56 : Analyse de la variance des caractéristiques technologiques. Interaction génotypes-milieu chez les 10 variétés de blé tendre…... 117
Tableau 57 : Type de diagrammes des SG-HPM observées chez les variétés de blé tendre……... 120
Tableau 58 : Fréquences alléliques au niveau des 3 locus Glu-A1, Glu-B1 et Glu-D1 chez les 10 variétés de blé tendre……. 120
Tableau 59 : Indices de similarité des blés tendres……..……. 122
Tableau 60 : Diagramme des SG-HPM des Blés tendres révélées par SDS-PAGE…… 123
Tableau 61 : Comparaison intra locus des effets des allèles des Gluténines HPM sur les valeurs moyennes des tests technologiques. (Allèles du locus Glu A1)…… 125
Tableau 62 : Comparaison intra locus des effets des allèles des gluténines HPM sur les valeurs moyennes des tests technologiques. (Allèles du locus Glu B1)…… 126
Tableau 63 : Comparaison intra locus des effets des allèles des gluténines HPM sur les valeurs moyennes des tests technologiques. (Allèles du locus Glu D1)……..... 127
Tableau 64 : Comparaison inter-loci des effets des 10 allèles des gluténines HPM sur les variations des valeurs moyennes des tests technologiques. Allèles des loci Glu A1, Glu B1 et Glu D1. Comparaison selon la méthode de Tukey……. 128

Liste des Figures

Figure 1 :	Phylogénie schématique du blé tendre (Chen *et al.*, 1984) …….....	6
Figure 2 :	Localisation des zones céréalières en Algérie…..…..……....	9
Figure 3 :	Représentation schématique de la réponse aux stress chez les plantes (Wang *et al.*, 2003)……..	18
Figure 4 :	Histologie du grain de blé (Surget et Barron, 2005)……	21
Figure 5 :	Composition protéique de la farine du blé classifications d'Osborne (1924) et Shewry (1986)……..	25
Figure 6 :	Relevé pluviométrique sur Constantine, Sétif et Guelma…..……..	42
Figure 7 :	Diagramme de préparation de pâte pour le test alvéographique……..	47
Figure 8 :	Alvéogramme type de différents types de farines de blé tendre……..	47
Figure 9 :	Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux…….	59
Figure 10:	Représentation graphique des 6 variables à l'intérieur du cercle de corrélation du plan factoriel 1-2, obtenu à partir des données de la campagne 2009/2010…….....	60
Figure 11:	Représentation graphique des points individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenu au cours de la campagne 2009-2010……...	61
Figure 12:	Représentation graphique des variables et des individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenu au cours de la campagne 2009-2010……	62
Figure 13:	Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux des traits physiologiques chez les variétés stressées……	63
Figure 14:	Représentation graphique des 6 variables physiologiques à l'intérieur du cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 obtenu à partir des données des variétés de blé tendre stressées……..	64
Figure 15:	Représentation graphique des points individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenus chez les variétés stressées……..……	65
Figure 16:	Représentation graphique des variables et des individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, chez les variétés de blé tendre stressées…...	67
Figure 17:	Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des deux années du site Sétif……	74
Figure 18:	Représentation graphique des 6 variables physiologiques à l'intérieur du cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 obtenu à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Sétif…….	75
Figure 19:	Représentation graphique des points individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Sétif……	76
Figure 20:	Représentation graphique des variables et des individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011et 2011/2012 du site de Sétif…….……	78
Figure 21:	Dendrogramme du regroupement des 10 variétés de blé tendre obtenu à l'aide de la méthode du lien simple et de la distance carrée de Pearson, sur les données des deux années pour le site de Sétif…….	79

Figure 22: Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des deux années du site Constantine…… 84
Figure 23: Représentation graphique des 6 variables physiologiques à l'intérieur du cercle de corrélation du plan factoriel 1-2, obtenu à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Constantine……. 85
Figure 24: Représentation graphique des points individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Constantine……. 86
Figure 25: Représentation graphique des variables et des individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenues à partir des données de l'ensemble des deux années2010/2011 et 2011/2012 du site de Constantine……. 88
Figure 26: Dendrogramme du regroupement des 10 variétés de blé tendre, obtenu à l'aide de la méthode du lien simple et de la distance carrée de Pearson sur les données des deux années pour le site de Constantine…….. 89
Figure 27: Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des deux années du site de Guelma…….. 95
Figure 28: Représentation graphique des 6 variables physiologiques à l'intérieur du cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 obtenu à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Guelma……. 96
Figure 29: Représentation graphique des points individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Guelma…… 96
Figure 30: Représentation graphique des variables et des individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Guelma……. 98
Figure 31: Dendrogramme du regroupement des 10 variétés de blé tendre obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson, sur les données des deux années pour le site de Guelma……... 99
Figure 32: Histogramme du nombre de variétés de blé tendre présentant des différences très hautement significatives, entre les trois sites, par années et pour l'ensemble des deux années…… 103
Figure 33: Profils électrophorétique de 10 variétés de blé tendre par SDS-PAGE.. 119
Figure 34: Classification hiérarchique de 10 variétés de blés tendres selon la méthode UPGMA……... 124

INTRODUCTION

Les bouleversements climatiques constatés au siècle dernier se confirment amplement en ce début du 21ème siècle, avec les mêmes répercussions sur les productions agricoles et sur les équilibres de leurs marchés. La croissance continue de la population mondiale, qui dépasse désormais les 7 milliards d'individus, conjuguée à la mutation rapide des modes de consommation et des besoins des pays émergeants, engendrent une hausse considérable de la consommation de viandes, de céréales et de produits laitiers. Ce qui a induit une crise majeure de l'offre, aggravée encore par le développement des biocarburants. Cette situation engendre une baisse conséquente des stocks agricoles mondiaux et une flambée record des prix.

Compte tenu de ces facteurs exogènes objectifs, qui semblent désormais irréversibles, l'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales a engagé des achats anticipés et massifs de céréales : 1,6 million de tonnes de blé dur et de blé tendre en quelques mois, sachant que les aléas de la pluviométrie du pays conditionnent largement sa production céréalière qui varie entre 2 et 6 millions de tonnes/an (http://www.algerie-focus.com). A l'échelle mondiale et à moyen terme, l'OCDE et la FAO estimaient en 2009 que la croissance de la production agricole des 10 prochaines années n'égalera pas celle de la décennie écoulée, la croissance annuelle moyenne passant de 2 % en 1999-2008 à 1,7 % en 2009-2018.

Le blé a toujours occupé une place primordiale dans l'alimentation mondiale, avec les trois quarts de sa production destinés à la consommation humaine. Compte tenu des projections sur la hausse croissante de sa demande mondiale, les producteurs de céréales tentent de répondre aux exigences de la demande et de la compétitivité qu'elle implique. L'augmentation de l'offre passe certainement par l'amélioration des rendements mais elle est aussi liée aux économies des facteurs de productions et à la qualité du produit fourni.

La qualité technologique du blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et son amélioration sont parmi les principales préoccupations des céréaliers nationaux. La satisfaction des besoins de l'industrie agroalimentaire et des consommateurs est la condition de la qualité requise dans la transformation du blé. Ainsi, les variations des qualités technologiques des récoltes, liées particulièrement aux taux de protéines, peut pénaliser leur valorisation à l'exploitation. En fait, la qualité est un concept multiforme en totale évolution depuis quelques années, notamment pour les céréales comme le blé tendre. La qualité technologique du blé tendre dépend essentiellement de ses protéines de réserve, dont principalement le groupe des prolamines qui englobent les gliadines et les gluténines (Zahid, 2010). En effet, ces protéines sont déterminantes à la capacité du gluten de former son réseau viscoélastique, essentiel aux processus technologiques. Dans le gluten, les gliadines sont responsables de la viscosité du réseau alors que les gluténines agissent davantage sur son élasticité (Shewry, 1995).

L'étude de la qualité technologique du blé se doit d'être complétée par une meilleure connaissance de ses propriétés physiologiques. Cette approche englobe la compréhension de l'adaptation des différentes variétés à la diversité, à la fluctuation et à la rudesse des conditions climatiques locales. La pertinence de cette étude est d'analyser aussi la réaction du blé tendre face aux évolutions et aux contraintes du climat et des stress qui en découlent.

Dans les zones méditerranéennes, la faiblesse, l'irrégularité et le caractère souvent erratique des précipitations (200 à 600mm/an) peuvent être des facteurs d'une perte partielle ou totale de production, en particulier dans le cas des céréales (Francia *et al.*, 2011). Une telle situation est particulièrement constatée en Algérie, où les rendements sont faibles et ne permettent pas de pourvoir à la totalité des besoins alimentaires locaux. Le rendement dans des régions soumises au déficit hydrique est toutefois difficile à améliorer directement car il s'agit d'un caractère fortement influencé par l'environnement et peu héritable (Schroter *et al.,* 2005 ; Ryan *et al.*,2008). Des travaux sur des variétés, soumises à différentes conditions de stress hydrique et autres, apportent des conclusions intéressantes. Des expérimentations similaires portent sur la tolérance du grain à la canicule et aux carences en azote liées à un manque de pluie (Gate, 2007). Les modifications génétiques développées dans les années 1980 constituent aussi une alternative. Elles ont permis de produire des céréales résistantes à des conditions climatiques défavorables, avec aussi des valeurs nutritives améliorées. De ce fait, dans les régions à forte contrainte environnementale (déficit hydrique, hautes températures), l'étude de nombreux caractères phénologiques et morpho-physiologiques d'adaptation s'avère nécessaire en vue de définir une combinaison de caractères à sélectionner pour améliorer la productivité et le rendement.

C'est dans cette vision que s'inscrit globalement le travail mené dans cette thèse. L'objectif est l'étude de la variabilité génotypique de variétés de blé tendre soumises à un stress hydrique, afin d'en dégager les plus performantes, éventuellement adaptées à différents étages bioclimatiques. Dans ce cadre, deux séries d'essais sont réalisés :

- La première série d'essais consiste à estimer, sous conditions semi-contrôlées, l'adaptation au déficit hydrique de variétés locales et de variétés introduites, par le biais d'analyses de paramètres physiologiques : teneur relative en eau, teneur en chlorophylles. Ces données sont confortées de paramètres biochimiques : teneurs en proline et en sucres solubles, ainsi que de la détermination de l'effet du milieu sur le rendement et ses composantes par des essais au champ.

- La seconde série d'essais compare au champ dix variétés de blé tendre en trois sites de différents étages bioclimatiques sur deux années, en abordant l'interaction génotypes-milieux. Elle est suivie d'une étude de plusieurs caractères biochimiques des grains de blé : teneur en protéine en amidon et en humidité. Des tests à caractères technologiques sont également réalisés : test de sédimentation, test de Pelshenke et test à l'alvéographe Chopin, afin de déterminer les propriétés rhéologiques de transformation des variétés de blé étudiées. Lors de cette seconde série d'essais, est également réalisée une étude des interactions génotypes-milieux et de la variation de la qualité technologique des variétés en fonction du milieu de culture. Elle est complétée par une analyse des corrélations entre les différents tests technologiques et suivie d'une appréciation de la similarité (ou éloignement) génétique entre les cultivars.

CHAPITRE I

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Le Blé

1.1. Historique

Le blé est une céréale autogame appartenant au groupe des angiospermes monocotylédones, de la famille des *Poaceae*, tribu des *Triticées* et genre *Triticum*. Les espèces du genre *Triticum* sont des herbacées annuelles produisant un fruit sec indéhiscent, le caryopse. Le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) sont les deux espèces les plus cultivées dans le monde et en Algérie.

La domestication des blés a constitué un jalon essentiel dans l'Histoire des sociétés humaines, elle a marqué le début de l'ère Néolithique qui a conduit à l'adoption d'une économie de production fondée sur l'agriculture et l'élevage. C'est vers -10 000 ans av. J-C que les blés ont été domestiqués avec pour centre d'origine la région du "croissant fertile" localisé entre le Tigre et l'Euphrate (Shewry, 2009). Les données archéologiques fournissent des preuves tangibles de la synchronie entre les débuts de la culture des blés et l'organisation de sociétés sédentaires, marquant ainsi la fin de la période nomade au cours de laquelle chasse et cueillette constituaient les principaux moyens de subsistance (Diamond, 2002). Selon Kislev (1984), l'histoire de la culture des blés peut être découpée en trois phases majeures : la révolution agro-technique, la révolution de la domestication et l'expansion de l'agriculture.

La révolution agro-technique s'est déroulée alors que les sociétés humaines étaient encore dépendantes de la chasse et de la cueillette, jusqu'au 11ème millénaire avant J-C. Elle est attestée par de nombreuses traces archéologiques de la culture des blés telles que celles exhumées sur le site de Tell Abu Hureyra (Nord de la Syrie).

La seconde phase est marquée par le processus de domestication, une modification radicale du matériel végétal ou animal d'origine sauvage en un matériel adapté à la sédentarité et aux conditions d'élevage et aux utilisations qui en découlent (Diamond, 2002). Dans le blé, la fixation au sein de l'espèce de plusieurs gènes, dits de domestication, traduit la pression de sélection appliquée inconsciemment par les premiers agriculteurs (Zohary et Hopf, 1988). Une explication originale avancée pour la fixation du caractère "épis non cassant" (gène *Br*) dans les populations de blé repose sur l'application inconsciente de pression de sélection par les femmes du néolithique (Kislev, 1984).

La troisième phase de l'histoire de la culture des blés est la phase d'expansion. La culture des blés s'est propagée vers l'Europe et l'Asie, simultanément au fil des migrations et des échanges commerciaux (Balfourier *et al*., 2007). Elle apparaît en Grèce, à Chypre et en Inde dès 6 500 av. J-C, en Egypte vers 6 000 ans av. J-C, l'Allemagne et l'Espagne vers 5 000 ans av. J-C , l'Angleterre et la Scandinavie vers 3 000 av. J-C et enfin la Chine vers 2000 av. J-C. La

culture du blé sur le continent américain n'est apparue qu'après l'arrivée de Christophe Colomb, au cours du XVIIe siècle.

De nos jours, les principales espèces cultivées du genre *Triticum* sont *Triticum aestivum* L. (blé tendre) et *Triticum durum* (blé dur). Elles diffèrent principalement par l'aspect et la composition du grain, ainsi que par leur aire de répartition agroécologique, le blé dur étant cultivé en zones méditerranéennes tandis que le blé tendre est cultivé en zones plus tempérées.

1.2. Origine et Caractères génomiques du Blé tendre

Il apparait que la polyploïdisation a joué un rôle majeur dans l'évolution de la famille des Poacées (Salse *et al*., 2008; Bolot *et al*., 2009) et plus largement dans celle des Angiospermes (Soltis, 2005). La nature polyploïde du génome des blés aurait également contribué au succès de leur domestication (Dubcovsky et Dvorak, 2007).

Le blé tendre a une composition complexe. Il est constitué de trois génomes possédant chacun 7 paires de chromosomes homéologues, soit 42 chromosomes au total. Il possède une structure génomique hexaploïde (**AA BB DD**) et le blé dur une structure tétraploïde (**AA BB**). La détermination de l'origine de chacun des génomes du blé est réalisée par des études cytogénétiques et par le développement des outils moléculaires (Brancourt-Humel et Lecomte, 1994). Le blé tendre, d'un point de vue phylogénétique, est issu de deux hybridations interspécifiques suivies d'un doublement chromosomique (Figure1). Le croisement entre *Triticum monococcum* var. *boeoticum* ou var. *urartu* (**A**) et un Aegilops (**B**) a donné un individu de structure génomique (**AB**) avec 14 chromosomes. Une étude basée sur le polymorphisme de séquences répétées a établi que *Triticum urartu* est le donneur du génome (**A**) pour tous les blés polyploïdes. Quant au génome **(B),** son origine demeure encore incertaine et controversée. Après doublement chromosomique est apparu *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccoides* (**AA BB**), ancêtre du blé dur (Gill et Kimber, 1974 ; Chen *et al.,* 1984 et Chapman 2009). Le second croisement interspécifique a eu lieu entre *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccoides* et *Aegilops tauschii* (**D**), ce qui a donné un individu (**ABD**) possédant 21 chromosomes il y a environ 10 000 ans. Ce dernier a lui aussi subi un doublement chromosomique (**AA BB DD**) et il est l'ancêtre de *Triticum aestivum*. Chaque génome (**A), (B)** ou **(D)** provient d'une espèce diploïde ancestrale différente. Cette triple origine lui a sans doute conféré cette souplesse d'adaptation, d'où sa culture dans de très nombreuses régions du monde (Picard, 1988).

Le génome du blé tendre est constitué de 17 milliards de paires de base (cinq fois le génome humain) dont plus de 80% de séquences répétées. La taille, ainsi que la forte proportion de séquences répétées, constituent des obstacles importants pour le séquençage du génome du blé (Paux *et al.,* 2008).

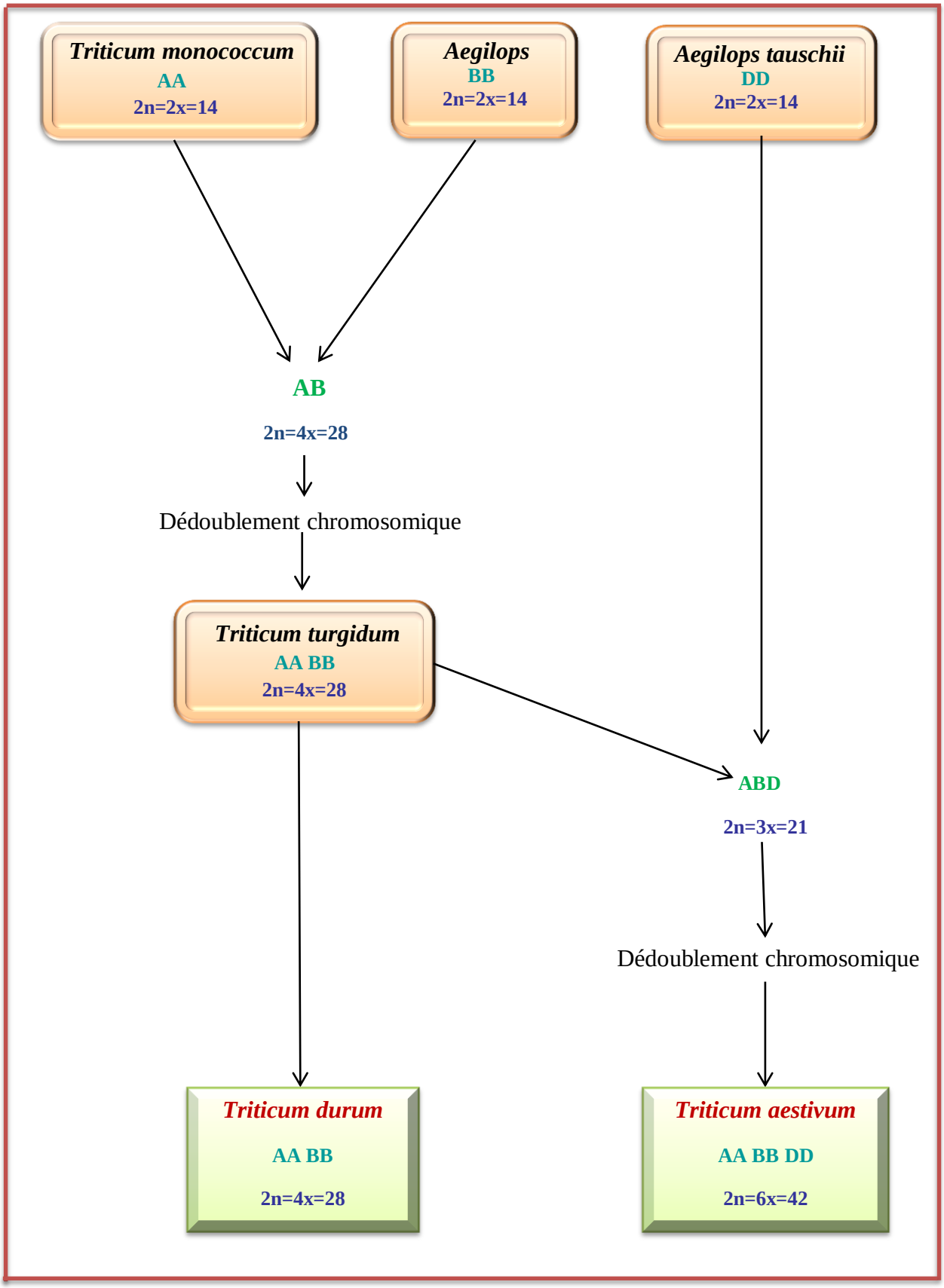


Figure 1. Phylogénie schématique du blé tendre (Chen *et al.*, 1984).

1.3. Production et importance de la culture du blé

1.3.1. Production mondiale

Le blé est de loin la céréale la plus cultivée au Monde parmi l'ensemble des cultures céréalières, avec 30% des récoltes totales. Le commerce mondial du blé représente entre 18 et 20% de la production mondiale des céréales, contre 3 à 4% du commerce du riz. En volume de production, c'est la quatrième culture mondiale derrière la canne à sucre, le maïs et le riz (CIC, 2010). La production mondiale est passée de 270 millions de tonnes en 1965 à 660 millions de tonnes en 2010, c'est-à-dire près de 100 kg par habitant et pour l'ensemble de la population mondiale (CIC, 2010). Les surfaces cultivées à travers les continents se mesurent en millions d'hectares et les récoltes en millions de tonnes (FAO, 1999). Après la seconde guerre mondiale, le marché du blé était dominé essentiellement par les Américains et les Canadiens (Kellou, 2008). Selon la FAO (2006), les cinq premiers pays producteurs de blé mondiaux de 2003 à 2005 sont : La Chine, au premier rang avec19 % de la production mondiale, devant l'Inde (11,7 %), les États-Unis (10,7 %), la France (6,5 %), la Russie (5,5 %) et le Canada (4,3 %). Le tableau 1 illustre la production mondiale de blé de 2007 à 2009, par zone géographique selon le conseil international des céréales (CIC, 2009).

Les exportations de blé tendre furent de 42% en 2009 (18.5% pour les pays membres de l'Union Européenne et 23.5% pour les pays hors Union Européenne). Concernant les utilisations nationales du blé tendre, l'alimentation animale est le plus gros débouché (5.6 Mt), suivie de l'alimentation humaine avec 5 Mt (Debiton, 2010).

1.3.2. Production et Consommation en Algérie

La production algérienne de blé reste très relativement faible et instable d'une année sur l'autre, principalement en raison des conditions climatiques très variables et souvent défavorables (pluviométrie irrégulière, maladies…). D'où des variations importantes de la production et du rendement. Ainsi, le manque de précipitations et la mauvaise répartition des pluies pendant l'année expliquent en grande partie la forte variation de la production céréalière. Selon Chehat (2012) la superficie moyenne consacrée au blé se situe à environ 1,9 Millions Ha mais avec un faible rendement (18qx/ha de blé dur et 17qx/ha de blé tendre). Selon le même auteur (2005), on distingue en Algérie trois zones céréalières en fonction des quantités de pluie reçues au cours de l'année et des quantités de céréales produites (Figure 2) :

- **Une zone à hautes potentialités (Z1)** : on y constate une pluviométrie moyenne supérieure à 500 mm/an, avec des rendements moyens de 20qx/ha (plaines de l'Algérois et de la Mitidja, bassin des Issers, vallées de la Soummam et de l'Oued El Kébir, vallée

de la Seybouse…). Cette zone couvre une SAU de 400 000ha, dont moins de 20% sont consacrés aux céréales.

- **Une zone à moyennes potentialités (Z2) :** caractérisée par une pluviométrie supérieure comprise entre 400 et 500 mm/an mais sujette à des crises climatiques élevées, les rendements peuvent varier de 5 à 15qx/ha (coteaux de Tlemcen, vallées du Chélif, massif de Médéa…). La zone englobe une SAU de 1 600 000 ha, dont moins de la moitié est réservée aux céréales.

- **Une zone à basses potentialités (Z3) :** caractérisée par un climat semi-aride, située dans les hauts plateaux de l'Est et de l'Ouest et dans le Sud du Massif des Aurès. La moyenne des précipitations est inférieure à 350 mm par an. Ici, les rendements en grains sont le plus souvent inférieurs à 8qx/ha. La SAU de la zone atteint 4,5 millions d'ha, dont près de la moitié est emblavée chaque année en céréales.

La production relativement faible de blé a rendu l'importation nécessaire. A cet effet, l'Algérie est l'un des premiers importateur mondial de blé en mobilisant 65 % du marché africain (Maggie, 2000). Selon l'OAIC, l'Algérie a importé en Août 2012 près de 500.000 tonnes de blé dur, qui s'ajoutent à 600.000 tonnes de blé tendre importés en juin de la même année. Les ressources nettes en équivalent grain par habitant se traduisent en chiffre à environ 77,15 Kg /habitant/an en 1962-1967 contre 59 Kg/ habitant/an en 2011-2012 (Chehat, 2012). Le blé constitue un apport majeur de la ration alimentaire des algériens, à la fois en un apport énergétique et protéique : 60% de l'apport calorique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire. Un kilogramme de matière sèche de blé tendre apporte 130g de matière azotées, 23g de matières grasses, 27g de cellulose, 18g d'éléments minéraux (Forgeois *et al.*, 1993)

1.3.3. Utilisation du blé

Le blé constitue l'épine dorsale du système alimentaire algérien. Il est la base du modèle de consommation alimentaire national, comme dans la plupart des pays méditerranéens.

- **Dans l'alimentation humaine :** Le blé dur est destiné au pain traditionnel (galettes), à la biscuiterie, à la fabrication de semoule pour le couscous et les pâtes. Quant au blé tendre, il est utilisé principalement en meunerie pour obtenir la farine nécessaire à la production de pain commercial, de viennoiseries ou de pâtisseries. Ces produits sont

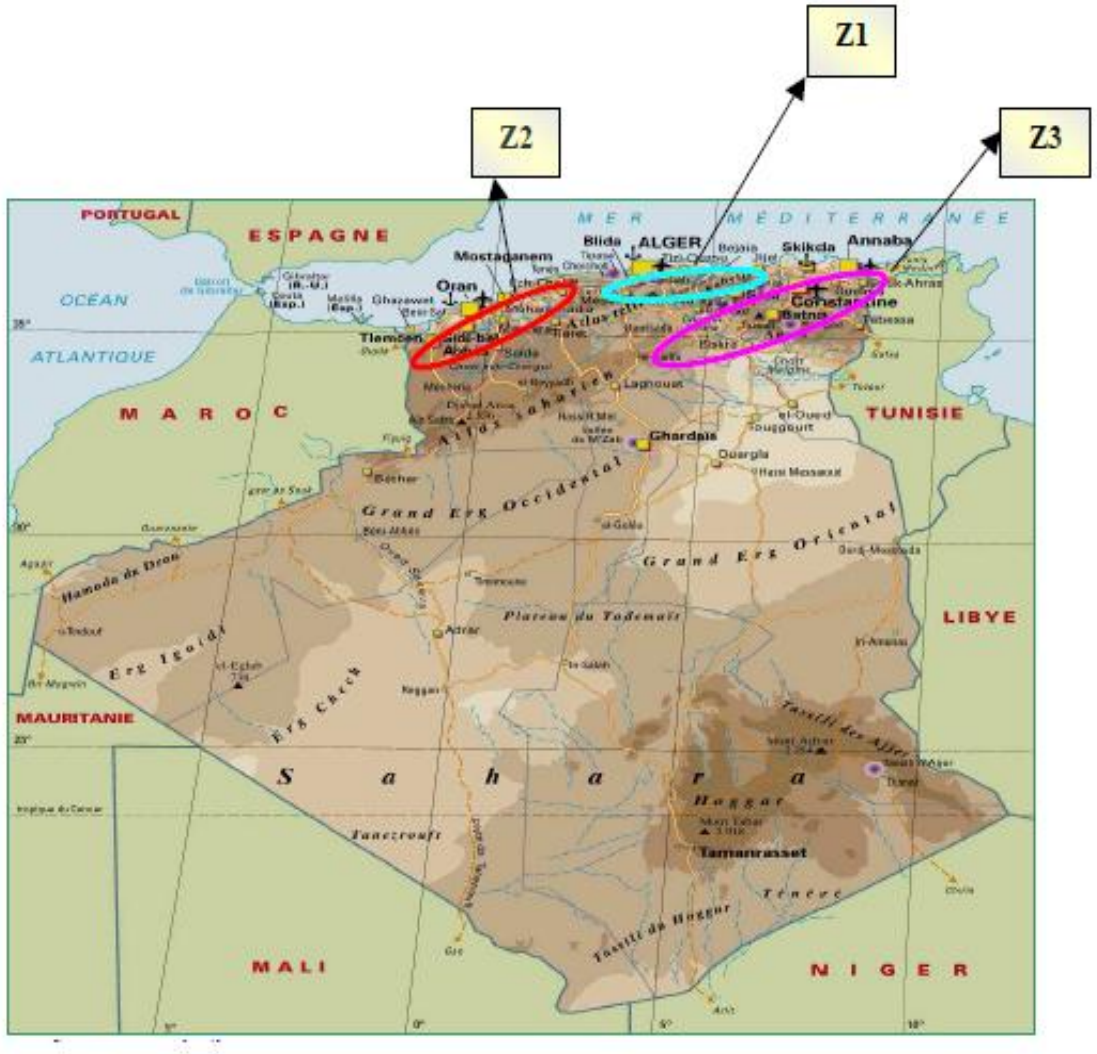


Figure 2 : Localisation des zones céréalières en Algérie. Source : www.lexilogo.com

qualifiés de stratégiques et font de ce fait l'objet d'une politique gouvernementale de subvention très active. La farine obtenue à partir de blé tendre doit avoir des caractéristiques panifiables, avec un produit fini de qualités visuelles et gustatives conformes à l'attente. Le pain obtenu est noté selon 3 grandes familles de critères qui concernent la pâte, la mie et le pain fini (Canadas, 2006). Outre ces utilisations classiques du blé, de nouvelles utilisations à échelle industrielle apparaissent depuis quelques années, telles que la fabrication de bioplastiques à base de gluten ou d'amidon. Les principaux débouchés sont les sacs plastiques, les plastiques agricoles, les emballages et certains produits d'hygiène. Ces bioplastiques ont l'avantage, par rapport à leurs homologues d'origine fossile, d'être biodégradables et renouvelables (Debiton, 2010). A travers les données disponibles actuellement, les consommateurs algériens apparaissent particulièrement diversifiés. Soumis à des influences

culturelles contradictoires, ils peuvent être attachés aux traditions (consommation préparée d'une manière traditionnelle) ou plus au moins tentés par les signes de modernité (restauration de masse et consommation de produits issus de l'industrie alimentaire). Le modèle de consommation algérien change donc en fonction de l'évolution de la composition de la population et ce par rapport à l'évolution démographique (taux de croissance annuel : 2,28%), au tassement des revenus et à la libéralisation des prix des produits de première nécessité (Chehat, 2005).

- **Dans l'alimentation animale :** Le blé, outre ses applications en alimentation humaine, est largement utilisé en alimentation animale où ses sous-produits sont également valorisés : les sons et remoulages, non utilisés en alimentation humaine. Leur intérêt dans l'alimentation animale, consommés sous forme de poudres ou granules, est lié à leur richesse en vitamines, protéines et minéraux en quantités intéressantes (Canadas, 2006).

1.4. Effets de l'Environnement et Réaction au Stress hydrique

1.4.1. Effets de l'environnement climatique et édaphique

- **Exigences climatiques :** Le climat méditerranéen est caractérisé par une répartition annuelle des précipitations marqué avec un maximum en automne, en hiver et en début de printemps et un minimum en été, entrainant une répartition en une saison sèche et chaude plus ou moins longue et une saison humide et froide. Les pluviométries saisonnières d'automne, d'hiver et de printemps sont importantes à connaître afin de les ajuster au cycle phénologique des céréales et de déterminer les besoins réels des principales espèces céréalières. Elles conditionnent à tout moment la physiologie du blé. Pour la germination du blé, une température supérieure à 0°C est nécessaire. Une baisse de la température pendant l'hiver est requise aux variétés de blé dites d'hiver (Qio *et al.*,2010). Cependant, une chute brutale de la température, souvent associée à un dessèchement intense en surface, provoque des dégâts tels que la nécrose des tissus. De même que l'intensité lumineuse agit directement sur l'intensité de la photosynthèse, sur la résistance des tiges à la verse et sur le rendement. La diminution de la durée d'éclairement, réduit la hauteur de la plante, alors qu'une insuffisance d'éclairement retarde la floraison et donc l'épiaison.

- **Les exigences édaphiques :** Les conditions pédologiques peuvent être déterminantes dans l'influence de l'adaptation du blé et sa répartition dans l'espace. Le sol est donc

un facteur déterminant pour la réussite d'une culture. Il intervient par sa composition minérale et sa matière organique sur la nutrition ainsi que par sa structure sur la profondeur des lits de semence. Ainsi, une bonne terre de blé se caractérise par une texture fine limono-argileuse, assurant aux racines fasciculées une grande surface de contacte pour une bonne nutrition minérale et une structure stable, résistante à la dégradation des pluies d'hiver (Shao *et al.,* 2006a).

Les efforts doivent donc concourir en matière de maitrise des conditions climatiques, de connaissance et de préservation des sols, de maitrise des techniques d'irrigation, et finalement de caractérisation des zones céréalières car l'agriculture est liée d'une manière significative à l'ensemble des contraintes d'origine édaphiques et climatiques

1.4.2. Notion d'Adaptation et de Tolérance au Stress hydrique

La sécheresse a toujours été assimilée au stress hydrique. Ce stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants de la productivité agricole. Selon Wang *et al.*, (2003), le déficit hydrique est lié à la faiblesse des précipitations sur une période prolongée, par rapport à la moyenne des apports habituellement observés sur cette période. Lorsque ce déficit de pluviométrie est systématique sur une région donnée, cette région devient une zone aride. Dans ce contexte, une plante tolérante à la sécheresse est une plante qui survit à des situations de contrainte hydrique sévère. Cependant, en agronomie, la sécheresse ou le déficit hydrique est le manque d'eau qui empêche les plantes cultivées d'exprimer le rendement, qui serait attendu en situation favorable, ou qui peut affecter la qualité des produits récoltés (Grieu *et al.,* 2008).

La sécheresse se traduit en général chez la plante par une série de modifications qui touchent les caractères morphologiques, physiologiques (Langridge *et al.*,2006 ; Noorka *et al.*,2009), biochimiques et moléculaires (Chinnusamy *et al.*,2006 ; Verslues *et al.*,2006 ; Talame *et al.*,2007), à partir du moment où les besoins en eau de la plante sont supérieurs aux quantités disponibles. Ce stress affecte négativement la croissance de la plante et sa productivité. La nature de l'étendue des effets de la contrainte hydrique dépend de sa durée et de son intensité, ainsi que des potentialités génétiques des plantes à faire face à ce stress (Wang *et al.,* 2001 ; Araus *et al.,* 2002).

1.4.3. Effets du Déficit hydrique sur les différents Organes du Blé

Le déficit hydrique a un effet dépressif sur le rendement des cultures et de ses composantes (Bandurska et Stroinski, 2003). Pour le blé dur, la diminution du rendement est d'environ 2q/ha, chaque fois que le déficit hydrique s'élève de 10mm (Kara, 2001). L'organe qui

est touché en premier lieu est le limbe de la feuille. Il cesse sa croissance, s'enroule et après le stade anthèse, accélère sa sénescence en cas de stress prolongé. Il se produit alors une réduction de la taille et de la surface des feuilles. Le stress hydrique diminue l'indice foliaire et la durée de vie de la feuille ainsi que la capacité photosynthétique (Shao *et al.,* 2005). Il peut également diminuer la pression de turgescence de la plante et provoquer une perte d'eau du contenu cellulaire. Cette perte de l'état de turgescence peut engendrer à son tour des effets physiologiques très importants.

Le degré de sensibilité au déficit hydrique varie avec le stade de développement du blé (périodes végétative, reproductrice et maturation).

- **La période végétative**
  - Le stress hydrique réduit l'émission de la survie des talles en début de tallage, par contre en plein tallage il affecte le nombre de talles herbacées (Yordanov *et al.*,2003).
  - Au cours de la montaison, le stress provoque une régression plus importante des talles déjà apparus (Wang *et al.*, 2003).
  - Selon Dhanda *et al.*,(2004) une date de levée tardive suite à un déficit hydrique affecte le rendement par absence totale du tallage.
  - Un déficit hydrique survenant après la levée induit une période plus courte de formation des ébauches d'épillets et diminue ainsi leur nombre par épi (Tambussi *et al.*, 2007).

- **La période reproductrice**
  - Le stress hydrique affecte la feuille soit par réduction de la surface foliaire après la floraison, soit par son enroulement et son flétrissement total (Martinez *et al.*,2003).
  - Selon Foulkes *et al.,* (2007), la hauteur des tiges enregistre de nettes diminutions en cas de stress hydrique, selon les variétés.
  - Au cours de la montaison, le manque d'eau affecte le rendement suite à la diminution de la fertilité, ce qui réduit le nombre de talles fertiles (talles épis) et le nombre de grains par épi. Il accentue ainsi la senescence des fleurs et des épillets (Tambussi *et al.*, 2007).

- A la fin montaison, le déficit hydrique pénalise considérablement le remplissage du grain de blé (Maydup *et al.,* 2010).

- **La période de maturation**
  - Durant cette période le stress hydrique affecte le poids de 1000 grains PMG, cause essentielle de la chute du rendement. Ainsi la migration des photoassimilats et la translocation des réserves de la tige vers le grain est perturbée (Blum, 1998 ; Foulkes *et al.,* 2007 ; Alvaro *et al.,* 2008 ; Ehdaie *et al.,* 2008).

  - Au cours du remplissage des grains, le manque d'eau a pour conséquence une réduction de la taille des grains (échaudage), réduisant par conséquent le rendement en grain et la qualité du grain (Zhang *et al.*,2010)

1.5. Réponse physiologique au Déficit hydrique (Tests indirects prédictifs)

Les plantes mettent en œuvre des stratégies d'adaptation et de défense aux stress (Netting, 2002). Pour cela, elles possèdent de mécanismes de perception et de signalisation très complexes, leur permettant de produire une réponse plus ou moins spécifique au type de stress (Wang *et al.,* 2003) . A l'échelle cellulaire, les principaux mécanismes mis en place par la plante lors d'un stress hydrique se résument ainsi :

- Diminution de la croissance, traduite au niveau cellulaire par une réduction du nombre de polysomes (Kawaguchi *et al*., 2004), un ajustement osmotique (Shao *et al*., 2006b ; Fana *et al*., 2008), une modification de l'extensibilité des parois accompagnée d'un changement au niveau des fonctions des aquaporines (Bramley *et al*., 2008) et d'une altération du métabolisme du carbone et de l'azote (Xu *et al*., 2005).

- Diminution de la photosynthèse, reliée à une augmentation du taux d'acide abscissique (ABA) (Schachtman et Goodger, 2008) et aux dommages des thylakoïdes (Tambussia *et al*., 2000 ; Huseynova *et al*., 2007). En parallèle, la transpiration diminue (fermeture des stomates) en même temps que s'accumulent des solutés compatibles (Zhu *et al*., 2005, Bousba *et al.,* 2006 ; Robredo *et al*., 2007).

- Activation des mécanismes liés à la tolérance à la sécheresse, tels que l'accumulation de LEA (Late Embryogenesis Abundant proteines) (Labhilili *et al*., 1995), de disaccharides, ainsi que l'activation des enzymes impliquées dans la détoxification (Beck *et al*., 2007).

1.5.1. Potentiel hydrique

Au fur et à mesure que la transpiration augmente au niveau des feuilles, le potentiel hydrique foliaire diminue. Si le potentiel hydrique du sol est important, alors un courant d'eau depuis le sol jusqu'aux feuilles compense les pertes d'eau lors de la transpiration.

- **Teneur Relative en Eau (TRE) :** La régulation stomatique est le principal contrôleur cellulaire des pertes en eau, de la résistance cuticulaire, de la réduction de la surface foliaire. Elle induit chez les plantes stressées une diminution du contenu relatif en eau et une réduction significative de la production de la biomasse totale. L'analyse de la teneur relative en eau permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique en réponse au stress hydrique et d'évaluer l'aptitude à réaliser un bonne osmorégulation en maintenant une turgescence cellulaire (Zerrad, 2008).

- **Surface foliaire :** En cas de stress hydrique, la réduction de la croissance foliaire est un mécanisme important de réduction des besoins en eau (Martinez *et al.,* 2003). La transpiration peut être affectée par le phénomène d'enroulement foliaire, considéré comme indicateur de perte de turgescence en même temps qu'un caractère d'évitement à la déshydratation (Clarke, 1986). L'enroulement des feuilles entraine une diminution de 40% à 60% de la transpiration (O'Toole et Cruze, 1980). Selon Hameed et *al.,* (2011), les feuilles étroites et/ou verticales sont plus aptes à tolérer un stress hydrique que des feuilles larges.

1.5.2. Teneur en Chlorophylle

La tolérance de l'appareil photosynthétique, révélée par la survie des plantes au manque d'eau et à l'entretien de la capacité photosynthétique des feuilles, permet le rétablissement rapide des plantes à la suite d'une période de déficit hydrique (Shao *et al.,* 2005). Pour limiter les pertes en eau par évaporation et aussi augmenter la résistance à l'entrée du CO_2 atmosphérique nécessaire à la photosynthèse, l'économie de l'eau se traduit par une turgescence relative moins affectée par le stress conduisant à une dilution de la chlorophylle. Le rapport Chlorophylles (a/b) est un bon indicateur du seuil de tolérance au stress hydrique. Selon Kara et Brinis (2012) l'augmentation de la teneur en proline foliaire, sous l'effet du stress, est suivie par un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (chlorophylles a et b).

1.5.3. Accumulation d'osmolytes (Sélection indirecte)

- **Proline :** Pour maintenir la balance de la force osmotique après la chute du potentiel hydrique, les plantes accumulent des osmoticums tels que la proline (Wang *et al.*,2003 ; Shao *et al.*, 2006a ; Shao *et al.*, 2006b ; Zerrad, 2008). En réalité, le rôle de l'accumulation de la proline reste encore mal connu. S'agit-il d'un simple symptôme de souffrance ou d'un véritable mécanisme de tolérance (Leal *et al.*, 2003) dont les causes peuvent être multiples : stimulation de la synthèse, détérioration de la capacité de synthèse protéique et de la réduction du taux de translocation de l'acide aminé à travers la tige ?

  Parmi les facteurs impliqués dans cette accumulation on note l'induction des gènes impliqués dans la synthèse d'acides aminés, tels que la proline (Δ^1-pyrroline-5-carboxylate synthetase : *P5CS)* ou la glycine-betaine (bétaine aldehyde deshydrogénase). L'augmentation de transcrits de la P5CS, corrélée à une augmentation de la proline a été démontrée chez *Arabidopsis* (Savoure *et al.*, 1995). Ces auteurs stipulent que cette augmentation est directement reliée à l'application du stress. En effet, lors de la phase de récupération juste après l'application du stress, le contenu en proline diminue en même temps que la quantité des transcrits correspondant à la P5CS. L'induction de ces gènes est directement reliée à la régulation du taux de proline dans les cellules, en fonction du stress. De même, l'accumulation de la proline est un phénomène commun chez les plantes soumises au stress osmotique (Gleeson *et al.*, 2004). Ainsi, la proline agirait comme un stabilisateur de la membrane plasmique et jouerait un rôle dans la protection du système oxydatif chez les blés transgéniques (Vendruscolo *et al.*, 2007). L'accumulation de la proline et de la glycine-betaine joue un rôle important dans le réajustement osmotique du cytoplasme des plantes en réponse aux stress osmotiques (Iqbal *et al.*, 2011). Selon De Ronde *et al.*, (2004) leur rôle réside particulièrement dans la protection de l'OEC (Oxygene volving complex : complexe de dégagement d'oxygène). En plus de cet effet protecteur sur le complexe de dégagement d'oxygène, il est probable que ces deux osmolytes soient impliqués dans la protection des centres de réaction (RC) de PSII, comme il a été rapporté par Allakhverdiev *et al.*,(1996). Selon Ma *et al*, (2006) le traitement des feuilles de blé tendre par la glycine bétaïne protège la photoinhibition du système PS II engendrée par le stress hydrique.

- **Sucres solubles :** Les sucres sont qualifiés d'osmolytes compatibles. Ces osmolytes s'accumulent principalement dans le cytosol. Les principaux sucres qui s'accumulent sont le glucose, le fructose et le saccharose. Le saccharose synthétisé dans le cytoplasme

des organes chlorophylliens est la première forme stable de glucides formés par la photosynthèse et la forme majoritaire du transport de carbone. Le saccharose est donc un composé dont la concentration dans la plante est extrêmement régulée. Cette régulation est complexe et passe par le contrôle des enzymes participant à sa synthèse et à sa dégradation (invertases, SPS : Saccharose Phosphate Synthétase) mais aussi par le contrôle de son exportation. Il peut jouer un rôle de molécule signal dans les processus morphogénétiques et notamment dans le contrôle de la morphogénèse foliaire (Xiao *et al.,* 2006). Les sucres protègent les membranes contre la déshydratation et participent au maintien des réactions de phosphorylations et de production d'énergie (Loretti *et al.,* 2001). Ils protègent les processus de synthèse des enzymes, ce qui impliquerait une meilleure tolérance de la plante à la sécheresse.

1.6. Protection de l'Intégrité cellulaire au Stress

1.6.1. Protéines chaperonnes HSP (Heat Shock Proteins)

Les HSP (Heat Shock Proteins) jouent un rôle dans la protection des cellules. Elles s'accumulent lors d'un stress hydrique, salin ou sous des températures extrêmes (Wang *et al.,* 2003). Les HSP sont dites molécules chaperonnes car elles permettent d'éviter l'accumulation dans les cellules de protéines altérées et de maintenir la conformation des protéines, voire de réactiver des enzymes inactivées par le stress. Elles stabilisent les membranes et les protéines. Les principales HSP sont divisées en cinq familles (Kampinga *et al.,* 2009), selon leur poids moléculaire et leur homologie de séquence : les HSP 70, les (HSP 60), les HSP 100, et les SHSP « Small Heat Shock Proteins ». Selon Sung *et al.,* (2003), les HSP 70 s'expriment en réponse à différents stress (basse température, sécheresse, choc thermique), et leur induction est corrélée avec l'acquisition d'une tolérance thermique (Wirth *et al.,* 2003) ainsi qu'à une résistance accrue à différents stress environnementaux : forte température, stress salin, stress hydrique. Cependant, le mécanisme cellulaire de fonctionnement des HSP 70 reste largement inconnu.

1.6.2. Protéines LEA (Late Embryognesis Abundant)

Les protéines Late-Embryogenesis-Abundant (LEA) sont un groupe de protéines à faible poids moléculaire (10-30 kDa), riches en Glycine et Lysine (Shao *et al*., 2005). En réponse à la déshydratation, les LEA sont produites en abondance dans les dernières phases de développement des graines (Nylander *et al*., 2001). Différents gènes qui codent pour les LEA sont impliqués dans la tolérance au stress hydrique chez le blé dur (Rampino *et al*., 2006). Parmi

ces gènes ; les *pTd27e, pTd16, pTd25a, pTd38* (Labhilili *et al*., 1995) et *DHN-5* (Brini *et al*., 2007).

1.7. Approche moléculaire : Régulation des Gènes lors du Stress hydrique

L'évolution des stratégies adaptatives permet aussi aux cellules de la plante de sentir les stimuli environnementaux et d'activer les réponses de la survie. Pour répondre aux stress hydriques, les plantes doivent donc percevoir le stress, transmettre le signal au noyau et activer l'expression de gènes impliqués dans les mécanismes d'adaptation. L'intervention des gènes lors du stress hydrique, fait concourir des cascades de transduction de signaux allant de la perception jusqu'à l'expression des gènes (Figure 3).

Plusieurs travaux ont montré l'importance des racines dans la perception du déficit hydrique (Davies *et al*., 2002 ; Wilkinson et Davies, 2002). En effet, Urao *et al*. (1999) ont identifié chez *Arabidopsis thaliana* une protéine membranaire (AtHK1) qui intervient dans la perception du manque d'eau. Suite au changement d'osmolarité et causé par la restriction de cet élément vital, cet osmosenseur s'accumule fortement, sous sa forme active au niveau des membranes racinaires (Urao *et al*., 2000a). Il semblerait qu'il soit directement relié à une cascade de transduction du signal, faisant intervenir des MAP-kinases (Urao *et al*., 2000b). Les MAPK (Mitogen Activated Protein Kinase) sont aussi des médiateurs qui interviennent dans la scène de transduction du signal en cas de déficit hydrique (Ramanjulu et Bartels, 2002). Une fois que le signal atteint les noyaux des cellules cibles, il en résulte le déclenchement des facteurs de transcription qui régulent l'expression des gènes. Les MAP kinase présentent une activité induite par la sécheresse, le stress salin ou un traitement à l'ABA. Ces résultats mettent en avant l'implication de cette MAP kinase dans la réponse aux stress ou à la déshydratation cellulaire.

Une chaîne de phosphorylation/déphosphorylation se déclenche, par conséquent, contribuant ainsi à une alarme au sein de la plante. L'augmentation transitoire du Ca^{2+} cytoplasmique et son largage, sous un aspect d'oscillations régulières, constituent un messager secondaire dans la transduction du signal (Kacperska, 2004). Les protéines kinases dépendantes du calcium (CDPK) jouent également un rôle crucial dans la cascade de transduction, mettant la plante en état d'alerte contre le stress hydrique (Christmann *et al*., 2006). Les CDPKs possèdent une structure caractérisée par un domaine sérine / thréonine fusionné en C-terminal à un domaine calmoduline-like contenant des sites de fixation du calcium (Xiong et Zhu, 2001). Récemment, Gu *et al*., (2008) ont montré chez le riz, l'implication d'une autre famille de protéines dépendantes du calcium dans la transduction du signal suite au stress salin. Il s'agit de calcineurin B-like protéine (CBL) précisément CBL8 codé par le gène *OsCBL8* (Gu *et al*., 2008).

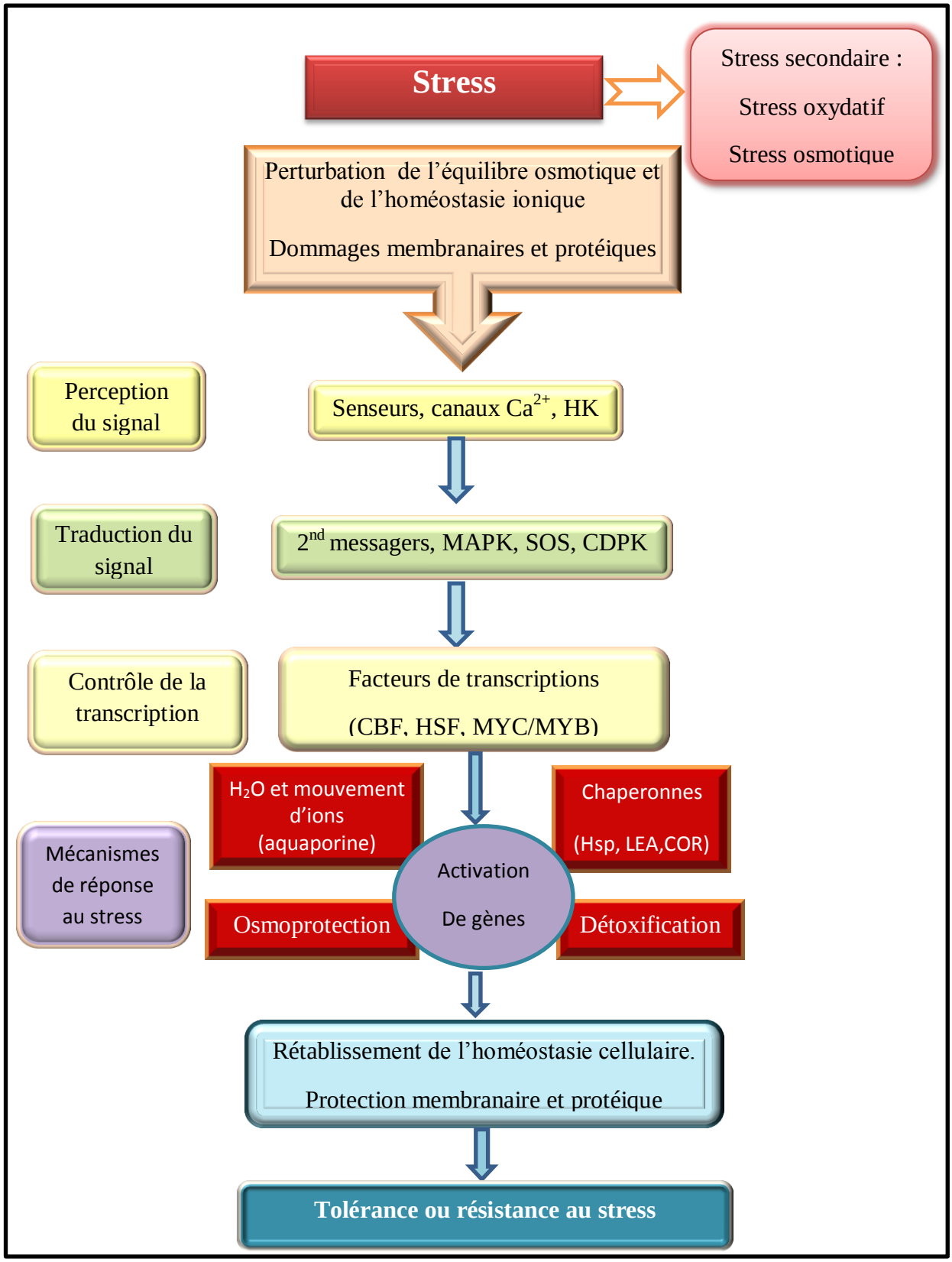


Figure 3 : Représentation schématique de la réponse aux stress chez les plantes (Wang *et al.*, 2003) Ca^{2+}: Calcium, HK: Histidine Kinase, MAPK: Mitogen Activated Protein Kinase, SOS: Salt Overly Sensitive, CDPK: Calcium Dependent Protein Kinase, CBF: Crepeat Binding Factor, HSF: Heat Shock Factor, MYC: Myélocytomatose, MYB: Myéloblastose, SOD: Superoxyde Dismutase, PX: peroxydase, Hsp: Heat Shock Proteins, LEA: Late Embryogenesis- Abundant, COR: Cold-Responsive Protein, GlyBet: glycine betaïne.

Un autre résultat fructueux a été obtenu après la transformation du riz par *Snac1* (Stress-responsive NAC1), gène membre de la famille de NAC (Hu *et al*., 2006). En effet, la surexpression de ce gène a induit une augmentation des taux de germination de 22 à 34 % chez le riz transgénique stressé par rapport aux témoins (Hu *et al*., 2006). Il est établi, également, que *Snac1* agit sur la fermeture des stomates *via* l'acide abscissique, sans pour autant affecter ni le phénotype ni la productivité de ces plantes (Hu *et al*., 2006).

A la fin de la cascade de signalisation et suite à l'activation de facteurs de transcription, certains gènes sont régulés afin de rétablir l'homéostasie cellulaire et contribuer ainsi à la résistance ou à l'adaptation de la plante aux conditions de pénuries d'eau.

Ces gènes codent généralement pour des enzymes impliquées dans la production de molécules osmorégulatrices, des transporteurs (Martre *et al.*, 2002), des enzymes de détoxification et des chaperonnes (Figure 3).

1.8. Amélioration du Rendement et Sélection directe du blé

L'amélioration pour le rendement et sa stabilité restent un objectif encore difficile à atteindre en condition de stress hydrique car l'interaction entre génotype-environnement (G*E) rend l'héritabilité faible et la sélection des génotypes performants difficile. Le rendement en grain est l'objectif final de tout programme d'amélioration quantitative des génotypes.

L'amélioration pour la tolérance à la sécheresse procédera avec plus d'efficience lorsque pour des cultures individuelles et pour des stress spécifiques, le rendement potentiel sous conditions de stress est contrôlé par les mêmes gènes pour un rendement sous conditions optimales. L'interaction (G*E) est l'un des problèmes majeurs que rencontrent les améliorateurs (Brancourt-Humel et Lecomte, 1994). Le plus important est de pouvoir comprendre l'interaction (G*E) permettant ainsi de comprendre la régulation des gènes et l'influence de l'environnement sur ces derniers.

Depuis les premières sélections faites par l'homme, basées uniquement sur certains aspects agronomiques du blé, la sélection a beaucoup évolué et recouvre un ensemble d'activités techniques et scientifiques très diversifiées. Les objectifs de la sélection ne sont pas uniquement d'obtenir de bons rendements avec des variétés bien adaptées aux techniques culturales hautement mécanisées. Elles tentent également d'améliorer les facteurs de régularité de ce rendement et la qualité intrinsèque et technologique du produit. Le sélectionneur devra donc réunir dans un même génotype des caractères souvent antagonistes, telle une production élevée régulière et une haute teneur en protéine (Picard, 1988). Les méthodes de sélection génétique sont responsables d'environ 50 à 60% de l'accroissement de productivité (Picard, 1988).

Cependant plusieurs problèmes se posent, comme une perte de la variabilité génétique due à l'élimination nécessaire de grandes quantités de lignées au cours de la sélection mais aussi par l'emploi d'un choix limité de géniteurs.

Le sélectionneur doit disposer d'outils lui permettant d'apprécier la qualité des produits et ceci à un stade précoce de la sélection. Des outils biochimiques (marqueurs biochimiques, moléculaires …) couplés aux outils technologiques (teneur en protéines, test de sédimentation SDS, test Pelshenke, alveogaphe CHOPIN, mixographe…) qui permettent de tester le potentiel « qualité » d'une variété.

En effet, les propriétés viscoélastiques du gluten sont reliées aux diagrammes électrophorètiques des gluténines du grain (Gobaa *et al.,* 2008 et Wang *et al.,* 2010). De plus, contrairement aux outils technologiques, leurs résultats ne sont pas influencés par les facteurs agro-climatiques et le déterminisme génétique est plus simple.

Cependant pour apprécier la qualité intrinsèque d'une variété, il est préférable de coupler l'analyse des protéines de réserve avec des tests technologiques appréciant la qualité de panification. En fin de cycle de sélection, le diagramme électrophorétique des gliadines et des gluténines constitue « l'empreinte digitale » des variétés qui doivent être inscrites au catalogue officiel des blés.

2. Structure et Caractères Technologiques du blé

2.1. Structure

Le grain de blé est constitué de 3 grandes parties : le germe, l'albumen et les enveloppes. (Figure 4). Il est constitué majoritairement d'amidon qui représente environ 70% de la matière sèche du grain et situé dans l'albumen. Les protéines représentent entre 10 et 15% de la matière sèche et se retrouvent dans tous les tissus du grain de blé avec une concentration plus importante dans le germe et la couche à aleurone (Pomeranz, 1988). Les pentosanes (polysaccharides non amylacés) représentent quant à eux entre 2 et 3% de la matière sèche et sont les principaux constituants des parois cellulaires de l'albumen (70 à 80%).

D'un point de vue morphologique, le grain de blé a une forme ovoïde et présente sur la face ventrale un sillon qui s'étend sur toute la longueur. A la base dorsale du grain, se trouve le germe qui est surmonté par une brosse. Le grain de blé mesure entre 5 et 7 mm de long, et entre 2,5 et 3,5 mm d'épaisseur, pour un poids compris entre 20 et 50 mg. Le grain est constitué de différentes couches. De la surface externe vers le centre du grain, on trouve l'enveloppe du fruit ou péricarpe, puis l'enveloppe de la graine ou testa, et enfin, à l'intérieur de la graine, la bande hyaline, l'albumen et le germe (Surget et Barron, 2005).

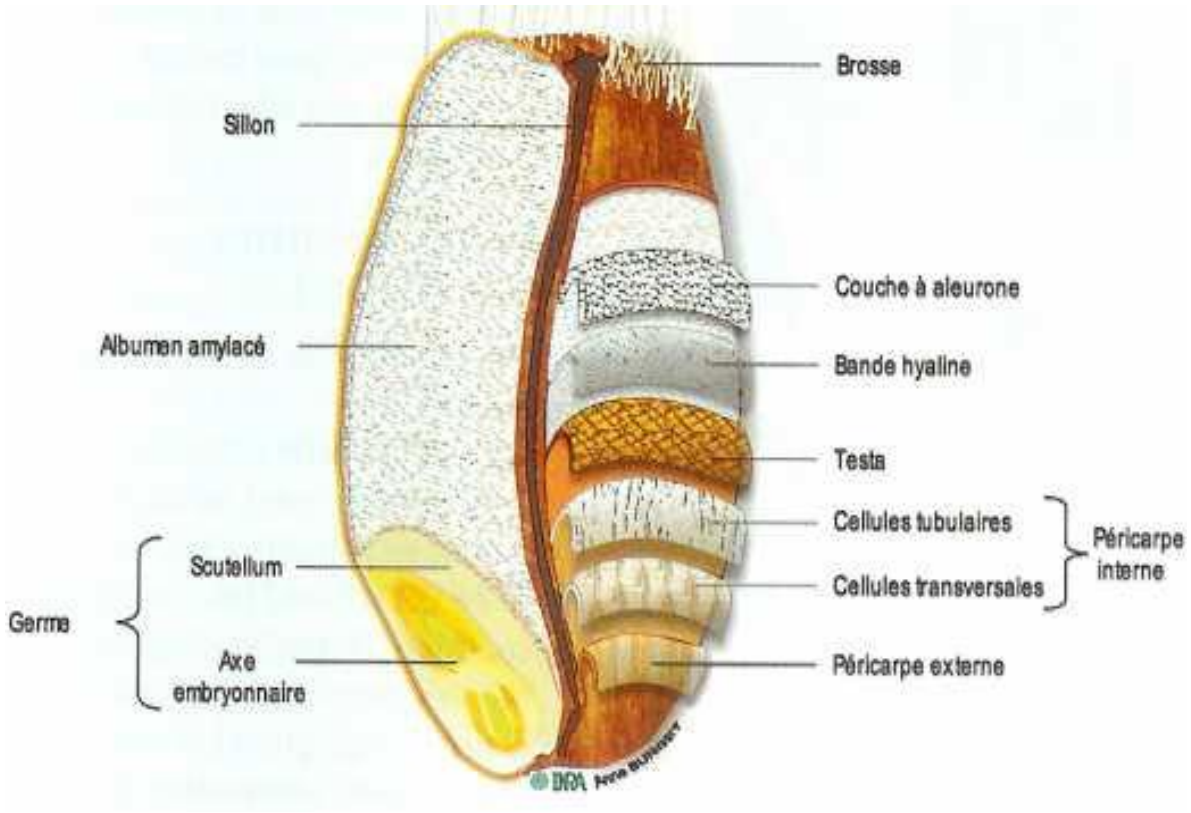


Figure 4. Histologie du grain de blé (Surget et Barron, 2005).

2.1.1. Les enveloppes et la couche à aleurone

Elles sont composées principalement de polysaccharides mais aussi d'acides phénoliques, de lignine et de protéines (principalement albumines et globulines localisées dans la couche à aleurone). Le péricarpe externe est constitué de 45% d'arabinoxylane, 25% de glucose, 10% de lignine et 6-7% de protéines (Pomeranz, 1988 ; Surget et Barron, 2005). Il permet d'éviter les pertes d'eau durant le développement du grain mais n'empêche pas sa pénétration (Evers *et al.*, 1999). Une seule couche à aleurone entoure l'albumen amylacé chez le blé. Elle est, avec le germe, la seule partie du grain constituée de cellules vivantes riches en vitamines : B1, B2, B3, B6, B9 et E et en minéraux : P, K, Mg, Mn et Fe (Pomeranz, 1988 ; Antoine *et al.*, 2002 ; Mc Kevith, 2004). La couche à aleurone a, par sa richesse en métabolites, un rôle nourricier et par sa structure un rôle de protection (Tableau 2).

2.1.2. Le Germe

Le germe provient de la fusion des gamètes mâles et femelles. Il est constitué, d'une part, de l'axe embryonnaire qui donne la tigelle, le mésocotyle et la radicule et, d'autre part, du scutellum qui donne le cotylédon (Evers et Millar, 2002 et Surget et Barron, 2005). Le germe est la partie du grain où le taux d'humidité et la concentration en lipides sont les plus importantes

(Pomeranz, 1988). Les protéines dans le germe sont des albumines et des globulines et représentent environ 35% de la matière sèche.

2.1.3. L'Albumen

L'albumen constitue le plus important compartiment du grain et représente environ 80% de son poids (Pomeranz, 1988). Il correspond au tissu de réserve. L'albumen amylacé est essentiellement constitué des granules d'amidon enchâssés dans une matrice protéique composée en grande partie de prolamines (gliadines, gluténines de hauts et faibles poids moléculaires) mais aussi d'albumines et de globulines. Ces deux familles protéiques, gluténines et gliadines, sont hydrolysées lors de la germination et du développement de la plantule par les enzymes produites dans l'embryon et la couche à aleurone. Elles constituent la source d'acides aminés nécessaires à la germination de la graine (Surget et Barron, 2005).

2.2. Classification des Protéines du Grain de Blé tendre

Osborne a été le premier à s'intéresser à la classification des protéines du grain de blé. Il définit quatre groupes de protéines caractérisés par leur solubilité dans différents types de milieux (Osborne, 1924).

- les albumines solubles dans l'eau ;
- les globulines solubles dans les tampons salins ;
- les gliadines solubles dans une solution d'alcool à 70% ;
- les gluténines solubles dans une base ou un acide ou des détergents en présence d'un réducteur.

Cette classification a été revue en 1986 par Shewry et col. qui ont proposé alors deux grandes catégories (Figure 5):

- les protéines métaboliques (fonctionnelles) : les albumines et globulines, les amphiphiles
- les protéines de réserves (protéines du gluten) : les gliadines et les gluténines. Ces protéines de réserve sont synthétisées dans la graine et stockées dans l'albumen, qui agit comme puit pour stocker le surplus d'azote de la plante en protéines (Popineau 1985). Elles sont accumulées dans les graines matures et forment des agrégats appelés corps d'inclusion ou « proteins bodies » (Shewry *et al.*, 1995)

2.2.1. Protéines métaboliques

- **Les Albumines et Globulines :** Les albumines et globulines représentent 15 à 20% des protéines présentes dans la farine de blé. Elles sont solubles respectivement dans l'eau et les tampons salins, et sont souvent regroupées sous le terme de protéines solubles ou d'albumines-globulines. Elles sont présentes dans l'embryon et dans l'endosperme de la graine (Mac Ritchie, 1985). Ce groupe de protéines est très diversifié de par ses propriétés physicochimiques (compositions en acides aminés, points isoélectriques et poids moléculaires compris entre 5 et 90 kDa) et fonctionnelles très diverses (activités enzymatiques : alpha et beta-amylase, protéases, oxydoréductases, inhibiteurs d'enzymes, pouvoir émulsifiant). Ces protéines participent à la formation du grain et à l'accumulation des réserves dans l'albumen (Vensel *et al.*, 2005).

- **Les Protéines amphiphiles :** Les protéines amphiphiles représentent entre 5 et 9% des protéines présentes dans la farine de blé. Elles possèdent un pôle hydrophobe et un pôle hydrophile et jouent un rôle important dans la qualité, notamment les puroindolines qui sont connues pour avoir un effet sur les propriétés technologiques de la pâte (Dubreil *et al.*, 1997 ; Igrejas *et al.*, 2001). Les travaux réalisés par Amiour et *al.* en 2003 ont permis d'assigner certaines de ces protéines sur les chromosomes du blé tendre.

2.2.2. Protéines de réserve (Protéines du Gluten)

Les protéines de réserves font partie des prolamines et sont constituées par un mélange complexe de protéines : les protéines du gluten. La macromolécule du gluten est, en effet, une agrégation de monomères de gliadines et de polymères de gluténines, qui constituent «les protéines de réserve» de l'albumen.

Les gliadines et les gluténines sont d'abord regroupées en une grande famille de prolamines (des protéines de réserve riches en proline et en glutamine). Les gluténines sont constituées de deux sous-groupes : les sous unités de gluténines de haut poids moléculaire (SG-HPM) et les sous unités de gluténines de faible poids moléculaire (SG-FPM). D'une manière générale, la proportion entre ces différentes prolamines est la suivante : 40% de gliadines, 40% SG-FPM et 20% de SG-HPM. Ces protéines ont aussi été classées selon leur composition et leurs séquences (Tableau 3). On distingue ainsi:

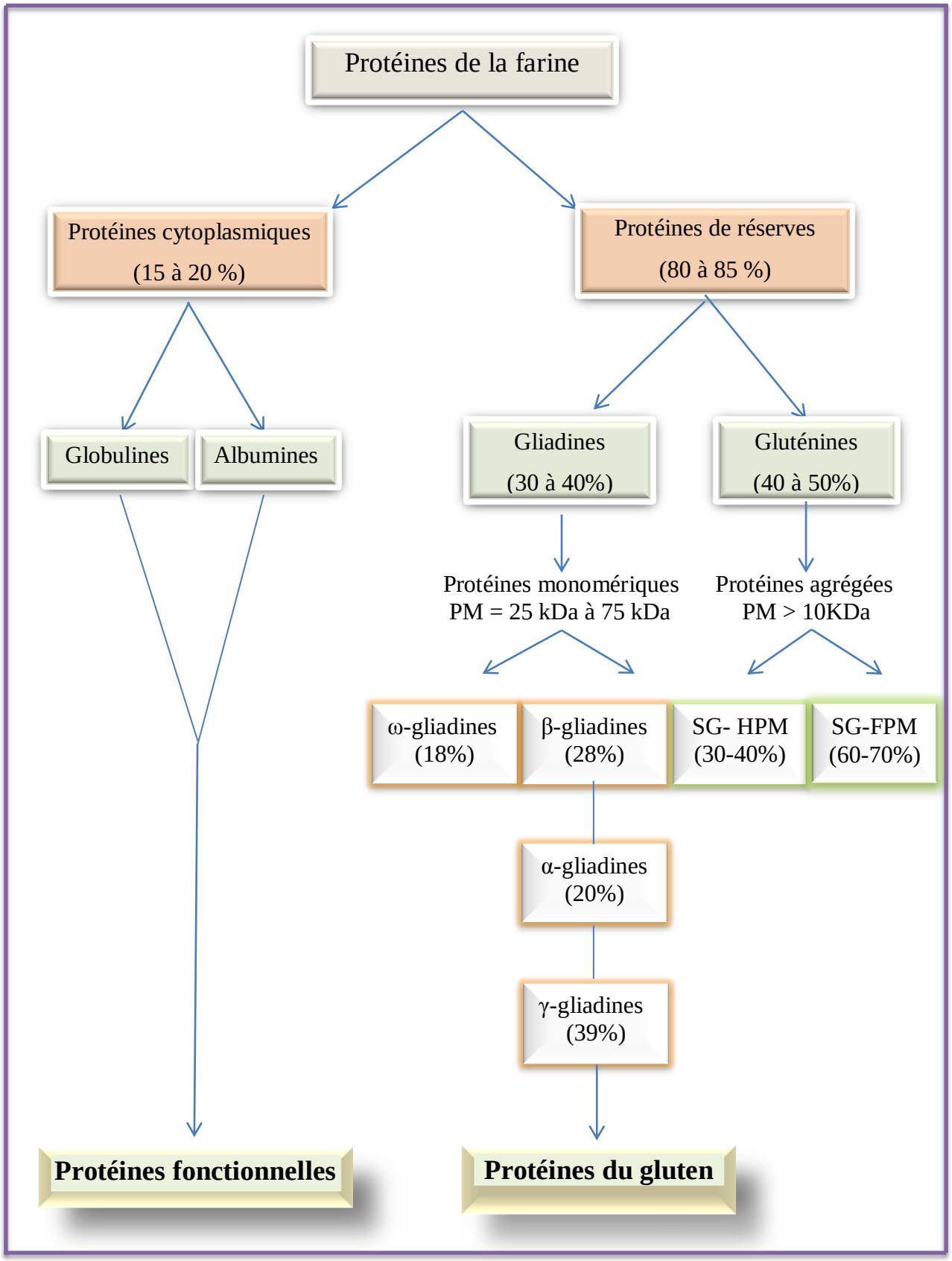


Figure 5. Composition protéique de la farine du blé (rapprochement des classifications d'Osborne (1924) et Shewry (1986).

- les prolamines riches en soufre qui représentent 70% des prolamines et sont constituées des gliadines de type α, β, γ et des SG-FPM.
- les prolamines pauvres en soufre qui représentent entre 10 et 12% des prolamines totales et sont exclusivement constituées des gliadines de type ω.
- les prolamines de haut poids moléculaire qui représentent 20% des prolamines. Les SG-HPM peuvent être de deux types différents : x et y.

La richesse en acides aminés soufrés et le degré de polymérisation des composantes du gluten sont les seuls critères de classification au sein de la famille des prolamines. Ces protéines ont largement été étudiées du fait de leur relation avec la qualité technologique du blé. Les prolamines servent de réserve d'azote, de carbone et de soufre pour la plantule au moment de la germination (Wrigley *et al.,* 2006).

- **Le Gluten :** Le gluten est un matériel viscoélastique obtenu par lixiviation (lavage par l'eau) d'une pâte de blé. Selon Dacosta, (1986), le gluten est principalement constitué de protéines (75 à 85%), il contient également de l'amidon (8 à 10 %), des sucres réducteurs (1 à 2%), des lipides (5 à 10%), des pentosanes (2%) et des matières minérales (1%). Les propriétés du gluten deviennent évidentes quand la farine est hydratée, donnant une pâte extensible, avec de bonnes propriétés de rétention de gaz (Gallagher et Coll, 2004) ; On peut remarquer que la ténacité (résistance à l'extensibilité) du gluten peut s'expliquer par la présence de nombreuses liaisons covalentes de types disulfure mais que celles-ci ne permettent pas de rendre compte de son élasticité (retour à l'état initial après déformation). Ce caractère élastique a récemment été attribué à la capacité des domaines des SG-HPM de former des liaisons hydrogène (Kerfal *et al.,* 2010).

- **Les Gliadines :** Les gliadines sont caractérisées par leur insolubilité dans l'eau. Les gliadines représentent 40 à 50% des protéines de réserve dans la graine de blé (Shewry *et al*., 1986). Ce sont des protéines monomères solubles dans 1'éthanol à 70% dont les ponts disulfures sont intramoléculaires (Kasarda, 1989). Elles ne peuvent s'associer que par la mise en jeu de liaisons faibles (liaisons hydrogène, liaisons hydrophobes). On distingue 4 classes de gliadines en fonction de leur mobilité éléctrophorétique croissante en Acide-PAGE (figure 4). Les α/β et γ-gliadines ont des masses moléculaires comprises entre 30 et 40 kDa, et entre 60 et 80 kDa pour les ω-gliadines (Bunce *et al.*,1985). Les α/β, les γet les ω-gliadines représentent respectivement 44-80%, 30-46% et 6-20% des gliadines totales (Wieser *et al.* 1994).

- **Les Gluténines :** Les gluténines totales représentent entre 40 à 50% des protéines de la farine. Elles jouent un rôle déterminant dans la qualité de la farine de blé (Payne *et al.*, 1987; Wrigley et Bietz, 1988 et Gupta *et al.,* 1990). Ce sont des protéines formant un matériel beaucoup plus complexe que les gliadines. Elles sont partiellement solubles dans les acides ou les bases dilués, dans des solutions d'urée ou des détergents. Les gluténines sont des polymères de protéines dont les chaînes polypeptidiques élémentaires, qualifiées de sous-unités de gluténines, sont réunies par des ponts bisulfures intermoléculaires (Shewry *et al.,* 1995). Ces gluténines peuvent être séparées en deux classes distinctes, qui sont les gluténines de haut poids moléculaire (SG-HPM), et les sous-unités gluténiques de faible poids moléculaire (SG-FPM). La classe des SG-HPM présente des masses moléculaires qui s'échelonnent en SDS-PAGE entre 100 kDa et 160 kDa (Shewry *et al.*, 1986). Les SG-FPM représentent 60 à 80% des gluténines totales, soit 20 à 30 % des protéines de la farine. Les sous–unités gluténiques de haut poids moléculaires sont les prolamines qui ont le plus faible polymorphisme. Il a été noté l'association de deux gènes à chaque locus Glu-A1, Glu-B1 et Glu-D1 (Payne *et al.*,1981**).**

2.2.3. Gènes codant pour les Gluténines

Ces gènes codent pour des sous unités de gluténines, à haut poids moléculaire (SG-HPM) et à faible poids moléculaire (SG –FPM).

- **Gènes codant pour les SG-HPM :** Les gènes sont situés sur le locus Glu-1 sur le bras long de chacun des chromosomes homéologues du groupe 1 : Glu-A1, Glu-B1 et Glu-D1 (Payne *et al.,* 1980 ; Lawrence et Shepherd, 1981). Orth et Bushuk (1974) ont été les premiers à décrire le contrôle chromosomique de sous unités gluténines et ont montré que quatre sous-unités de PM : 125kDa, 112kDa, 60kDa et 45kDa sont codées par des gènes situés sur le bras long du chromosome 1D de Chinese spring. Ensuite Bietz *et al.*,(1975) précisent que les gènes qui contrôlent la synthèse des quatre sous-unités HPM de Chinese spring sont situées sur le bras long des chromosomes 1B et 1D, données confirmées par Galili et Feldman, (1984). Ces derniers ont démontré également que le chromosome 1AL est aussi impliqué dans la synthèse des SG-HPM. Ainsi, la synthèse des SG-HPM est sous le contrôle de gènes situés sur le bras long des chromosomes homeologues du groupe 1 : 1AL, 1BL et 1DL.

  Selon Branlard *et al.,* (1990) 6 sous-unités sont contrôlées par le chromosome 1A, 7 sont contrôlées par le chromosome 1D et 21 le sont par le chromosome 1B. Cross et Hay (1994) ont caractérisé par SDS-PAGE, 19 nouvelles SG-HPM correspondant soit à

des allèles nouveaux, soit à des bandes ayant des mobilités différentes des bandes témoins, soit à des associations nouvelles.

- **Gènes codant pour les SG-FPM :** Bien que représentant 60 à 80% des gluténines, les SG-FPM sont tardivement étudiées, du fait de la difficulté de leur séparation après électrophorèse, elles se trouvent souvent mélangées avec les gliadines. Une électrophorèse bidimensionnelle semble plus adaptée au contrôle génétique des gluténines de FPM (Radaelli *et al.,* 1995). Les gènes codant les sous-unités des groupes B, C, D sont situés sur les bras courts des chromosomes 1A, 1B et 1D, au niveau du locus Glu-3 (Sadouki, 2005). Selon Singh et Shepherd (1987). Certaines SG-FPM sont codées par le locus Glu-B3 très proche du locus Glu-B1 sur le bras court du chromosome 1B. Parmi 222 variétés de blé tendre étudiées, 20 blocs alléliques sont dénombrés par Singh et Shepherd (1988) et par Gupta et Shepherd (1990) : 6 sur Glu-A3, 9 sur Glu-B3 et 5 sur Glu-D3 correspondant à 40 sous-unités différentes.

Les principaux facteurs déterminant la qualité boulangère d'une farine de blé tendre est la qualité et la quantité de ses protéines (Goesaert *et al.,* 2005). Alors que les gluténines de haut poids moléculaires procurent la force (résistance à la déformation) et élasticité à la pâte (Veraverbeke et Delcour, 2002), les gliadines seraient plutôt responsables de son extensibilité (Eliasson et Larson, 1993). Pour assurer une bonne qualité en panification, un rapport adéquat entre viscosité de la pâte et son élasticité/force est nécessaire.

2.3. Amidon du Blé

Le grain de blé tendre est un organe de réserve contenant de l'amidon, des protéines, des lipides et des sels minéraux. L'albumen du grain de blé tendre (ou amande) représente en moyenne 84 % du poids de la graine. Cet albumen farineux se compose en moyenne de 76 % d'amidon, de 14 % de protéines et de 2% de lipides. L'amidon est la composante la plus abondante dans la graine. Sa teneur peut atteindre 85% du poids sec de la farine de blé. Celles des protéines varient de 8 à 16% du poids sec de la graine. Ainsi, le rapport amidon/protéines augmente de façon significative des régions périphériques aux régions centrales du grain (Behaji *et al.,* 2014).

L'amidon (*amylum*, fleur de farine) est un glucide de réserve utilisé pour stocker de l'énergie. Les granules d'amidon de blé sont en effet des entités semi-cristallines, formées principalement de deux types de molécules : l'amylose (en général, 26 à 28%) et l'amylopectine

(72 à 74%). Ces deux polymères ont des structures très différentes, l'amylose étant linéaire et l'amylopectine très ramifiée. Les teneurs respectives en amylose et en amylopectine influent sur les propriétés chimiques et technologiques d'un amidon et jouent chacun un rôle déterminant dans la fonctionnalité finale de l'amidon naturel et de ses dérivés, telles que sa susceptibilité à l'hydrolyse enzymatique, ses propriétés gélifiantes et épaississantes, sa solubilité, son pouvoir adhésif… Un lien a, par exemple, été établi entre de faibles teneurs en amylose, une viscosité à chaud élevée, une faible tenue de la viscosité à chaud et un faible pouvoir épaississant à froid de l'amidon de blé (Massaux *et al.,* 2006).

L'amidon intervient de différentes manières au cours de la fabrication du pain (panification). C'est une source inépuisable de sucres fermentescibles, assurant la multiplication et la croissance des levures. C'est également un fixateur d'eau car l'amidon absorbe environ 45% de l'eau rajoutée à la farine. C'est enfin une charge de remplissage assurant une fonction de dilution du gluten. Les interactions qui se développent entre l'amidon et les protéines du gluten peuvent modifier les propriétés de la pâte. Les glutens de qualité inférieure interagissent plus énergiquement avec l'amidon et, de ce fait, s'étirent plus difficilement sous la poussée gazeuse. A l'inverse, des interactions plus faibles se forment entre l'amidon et les protéines des farines de qualité supérieure et seraient un facteur favorable à un volume de pain levé (Feuillet, 2000).

2.4. Humidité

La teneur en eau des farines est une condition importante de leur conservation. La teneur en eau des farines ne doit pas être supérieure à 16%. Comme tous les produits dérivés des céréales, la farine est hygroscopique. Au cours du stockage, la teneur en eau de la farine peut varier mais sa matière sèche demeure constante, le produit garde alors la même valeur du point de vue technologique et nutritionnel (Colas, 1998).

2.5. Caractéristiques technologiques (qualité boulangère)

Le sélectionneur ne peut agir que sur les caractéristiques de la valeur technologique d'un blé qui correspondent à une variabilité génétique. Elle n'est pas toujours facile à dégager car, pour de nombreux critères et en particulier les tests technologiques utilisés en sélection, la valeur phénotypique appréciée sur un lot de blé dépend du cultivar (génotype), du milieu de culture (environnement sol-climat, techniques culturales) et de l'interaction génotypes-milieu.

2.5.1. Test de Pelshenke

Ce test indirect d'appréciation de la qualité boulangère donne le temps nécessaire pour obtenir la rupture d'une boule de pâte (mélange farine complète + levure) dans de l'eau. Sous

l'effet de la levure et de la température, les boulettes gonflent, remontent en surface, puis au bout d'un certain temps se disloquent et retombent.

L'indice Pelshenke représente le temps exprimé en minutes, écoulé entre la mise de la boulette dans le verre et sa dislocation. Cet indice varie en fonction de nombreux paramètres : température, temps de pétrissage, type de levure, type mouture…

On se réfère à l'échelle suivante :

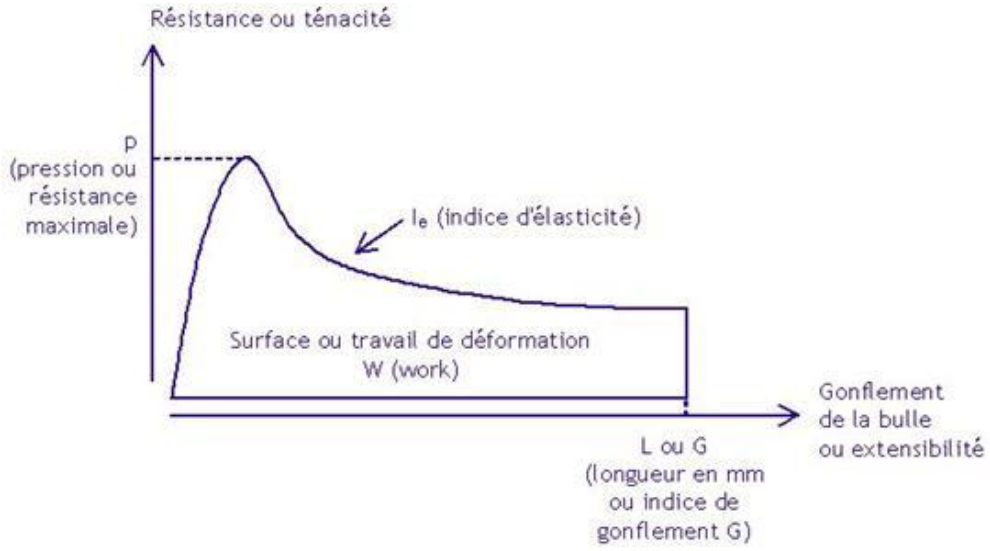
- 30min : mauvaise qualité boulangère,
- 30-50 : moyenne,
- 50-90 : bonne,
- 90-150 : très bonne,
- 150min : Blé améliorant.

2.5.2. Test de sédimentation « SDS »

Mis au point par Axford *et al.*,(1979), le test de sédimentation SDS est utilisé pour l'appréciation qualitative des protéines. Lié à leur pouvoir agrégatif, il se réalise en milieux aqueux en présence de SDS et d'acide lactique. L'indice de sédimentation mesure l'étendue de la formation du gel protéique (gonflement). Il correspond au volume en millilitres du dépôt de la farine complète après agitation puis repos. La valeur obtenue apprécie la force du gluten, étroitement corrélée à la viscoélasticité du blé (Monneveux, 1984).

2.5.3. Valeur boulangère par Alvéographe Chopin

L'approche de la valeur boulangère d'une pâte et la prédiction de ses propriétés panifiables peuvent se faire empiriquement, à travers la mesure de leur force et de leur expansion par l'Alvéographe Chopin (Del Frate, 2005). La méthode de l'Alvéographe Chopin consiste à enregistrer graphiquement la transformation d'un pâton préparé dans des conditions standardisées par la pression de l'air insufflé sous le pâton. Le pâton se distend et forme une bulle qui éclate lorsque la limite d'élasticité est atteinte. On obtient ainsi un courbe extensimétrique ou alvéogramme, à partir de laquelle on définit les caractéristiques suivantes :



- P (alvéographe) : Consistance de la pâte au pétrissage, ténacité de la pâte.
- L (alvéographe) : Elasticité de la pâte, allongement au façonnage, extensibilité de la pâte
- G (alvéographe) : Aptitude au gonflement, tissage de la pâte.
- *P/L* : ce rapport traduit l'équilibre entre la ténacité et l'extensibilité de la pâte.
- W : Force de la farine, elle correspond à la surface de l'alvéogramme et représente le travail de déformation de la pâte jusqu'à la rupture de la bulle.

Le rapport de la ténacité au gonflement P/L le W et ses composantes P et G, sont des caractéristiques variétales résultant de la qualité du gluten des grains. Mais cette qualité est aussi influencée par les conditions du milieu (nature du sol, climat, conditions de maturation), la fumure azotée (les apports tardifs augmentent le W), le précédent cultural.

Les principaux paramètres retenus sur les alvéogrammes (P/L et W) permettent d'orienter les farines en biscuiterie, en boulangerie ou pour d'autres préparations. Selon Guinet et Godon, (1994) les réglementations françaises en matière de boulangerie sont les suivantes :

- les farines destinées à la fabrication des biscuits présentent une faible ténacité («P» court) et une forte extensibilité (« L » long).
- les farines destinées à la panification sont assez tenace («P» moyen) et assez extensible (« L » moyen).

- les farines destinées à la fabrication des hamburgers présentent une ténacité élevée (« P » élevé) et une forte extensibilité.

La réglementation française selon Guinet et Godon (1994) en panification stipule que les paramètres alvéographiques pour la panification sont dans les normes suivantes:

- W = [200 - 250] x 10^{-4} J.
- *P/L* = [0,5 – 0,7].
- G > 20cm^3

La réglementation algérienne (J.O.R.A. 1991) stipule que la farine doit présenter les caractéristiques qui suivent :

- W = [130 - 180] x 10^{-4} J.
- *P/L* = [0,45 – 0,65]
- G > 20cm^3

L'Alvéographe Chopin permet donc la détermination de la force du gluten d'une pâte par la mesure de la force nécessaire à gonfler et à assurer la rupture de la bulle de pâte. Selon la forme de la courbe, il est possible de préjuger de la ténacité et de l'extensibilité d'une farine. Plus le rapport *P/L* est élevé (courbe plus haute que longue), plus la farine est tenace et forte. Par contre, si ce rapport est plus faible (courbe plus longue que haute), la farine sera extensible. Le W, quant à lui, peut être identique dans ces deux cas, ce qui indique que ce paramètre à lui seul ne permet pas de préjuger du comportement ultérieur d'une farine (Naega, 2005).

2.6. Dureté du grain de blé

La dureté du grain dépend de la texture de l'albumen, de l'amidon et des protéines. Ce caractère, fortement influencé par le génotype, fait partie des éléments mesurés par les sélectionneurs. La dureté d'un grain correspond à sa capacité à résister à l'écrasement et dépend de la force de liaison entre les composants de l'albumen. Il s'agit donc d'une propriété mécanique. Pour le blé, il ne faut pas confondre cette dureté physique avec la caractéristique génétique "*durum"*. Le blé dur "*Triticum durum*" est du groupe tétraploïde avec un équipement chromosomique 4n=28 chromosomes alors que le blé tendre "*Triticum aestivum*" du groupe

hexaploïde, à 6n=42 chromosomes. Cette caractéristique génétique fixe, fait que *Triticum aestivum* peut être vitreux et avec une amande dure. Mais il peut perdre sa vitrosité et du même coup sa dureté physique, bien souvent à cause des conditions culturales.

Les méthodes d'analyse de la dureté portent sur deux aspects du caractère : la résistance du grain à l'écrasement proprement dite et l'état des particules de la farine (Gale, 2005). La dureté des grains de blé mesurée en spectrométrie de réflexion dans le proche infrarouge est exprimée entre 0 et 100. La moyenne pour les grains de blé tendre de type « soft » se situe autour de 25. En comparaison, la moyenne pour les grains de blé tendre de type « hard » est de l'ordre de 75. La dureté est un caractère quantitatif, essentiellement d'origine végétale, mais pouvant également varier en fonction des conditions de culture. La distribution de tailles de particules de farine n'est pas la même entre blé Hard et blé Soft, ce qui modifie la rhéologie de la pâte et que, d'autre part, les granules d'amidon d'un grain Hard sont plus endommagés que ceux du grain Soft lors de la mouture, ce qui modifie la dynamique d'absorption de l'eau dans les pâtes et facilite la fermentation. Les farines issues de blé Hard ont une meilleure aptitude à la panification, tandis que les blés Softs sont mieux adaptés à la biscuiterie (Lesage, 2011). Les chercheurs montrent que les plus "célèbres" régions chromosomiques du blé, le locus *Ha* (hardness) qui contrôle la dureté du grain, leur a permis de reconstituer l'histoire et les conséquences des additions successives de jeux de chromosomes du blé (Pshenichnokova *et al*. 2008). Ce gène est responsable de la texture de l'endosperme, il est important car sa présence ou son absence explique la différence majeure qualitative entre le blé tendre panifiable (blé hexaploïde) et le blé dur ou blé à pâtes (blé tétraploïde).

3. Caractères Moléculaires de qualité du blé

Le blé a une importance économique majeure, cependant les outils d'exploitation de son génome sont en retard par rapport au maïs, au riz et au sorgho. De ce fait, l'amélioration du blé reste aujourd'hui trop lente au regard des défis que l'agriculture doit affronter. Ce retard est dû à la difficulté d'accès à un génome très particulier et complexe. L'étude du génome de blé, la détermination et la comparaison de génotypes peuvent aujourd'hui être réalisées par séquençage systématique. Malgré l'émergence de nouvelles technologies permettant un séquençage plus rapide et moins cher, l'alternative au séquençage choisie par de nombreux laboratoires à travers le monde reste l'utilisation de marqueurs moléculaires. Ces marqueurs sont en effet très précieux car ils permettent de tester rapidement les variétés et de retenir celles qui possèdent les caractéristiques recherchées. Les marqueurs moléculaires permettent aussi de caractériser un génome de manière fiable, spécifique et rapide. Le marqueur moléculaire y est défini comme

« un locus polymorphe » capable de renseigner sur le génotype de l'individu qui le porte et d'informer sur le génotype d'un ou de locus voisins. Le marqueur a une position définie dans le génome et doit idéalement présenter les caractéristiques suivantes :

• Le marqueur doit être polymorphe, c'est-à dire il doit posséder plus d'un allèle au moins dans la population étudiée. Le marqueur idéal est codominant, ce qui signifie qu'un hétérozygote peut être différencié de l'homozygote au locus en question

• Il est non épistatique, le génotype peut être lu à partir de son phénotype sans influence du génotype des autres locus. Il y a une absence d'interactions intra et inter locus.

• Le marqueur est neutre, une modification des locus marqueurs n'a pas d'autres effets phénotypiques que ceux qui permettent de déterminer son génotype.

• Un «bon » marqueur moléculaire est insensible au milieu.

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES

1. Expérimentation 1 : Evaluation et détermination des traits physiologiques impliqués dans la réponse des variétés de blé tendre aux conditions de stress hydrique.

1.1. Matériel végétal

L'étude porte sur 10 variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) qui présentent des niveaux de productivité et des comportements différents vis-à-vis du stress hydrique. Cette étude a pour objectif d'évaluer l'interaction génotypes-milieu sous des conditions de stress hydrique et pour la tolérance à la sécheresse.

Le choix s'est porté sur 10 génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.), dont 3 variétés locales (variétés témoins) représentées par : Ain Abid, Arz et Hidhab. Les autres génotypes sont des lignées avancées introduites par l'I.C.A.R.D.A, de Syrie.

Variétés et lignées	Pédigrées	Origine
V1 : Ain abid	Témoin local	Local
V2 : Arz	Témoin local	Local
V3 : Hidhab	Témoin local	Local
V4: Hamam 1	ICW92-0455-1AP-1AP-2AP-3AP-0AP	ICARDA (SYRIE)
V5 : 5119		Réseau SERASENE (France)
V6 : Milan/S87230/babax	CMSS97MO-3687T6040Y-03M-020Y-030M-015Y-38M	CIMMYT (Mexique)
V7 : Angi-4	ICW92-0326-12AP-1AP-2AP-3AP-0AP	ICARDA (SYRIE)
V8 : Cham 6	CM39992-8M-7Y-OM-0AP	CIMMYT (Mexique)
V9 : Attila	CM85-836-50Y-0M-OY-3M-0Y	CIMMYT (Mexique)
V10 : Attila/2 Pastor	CGSS97Y00042M-099T0PB-058Y-099M-099Y-099B	CIMMYT (Mexique)

Les variétés témoins présentent les caractéristiques suivantes :

- **V1 : Ain Abid :** (ex AS 81 189 A) introduite en 1986 d'Espagne. C'est une variété tardive à fort tallage. L'épi de Ain Abid est blanc, pyramidal, très tacheté à paille moyenne. Le grain est roux et allongé. Elle est résistante à la rouille noire et jaune. Son PMG est élevé et a une très bonne productivité, ses zones de cultures sont les hauts plateaux. Elle est tolérante aux gelées, au froid, à la sécheresse et à la verse physiologique. Recommandée à être semer tardivement.

- **V2 : Arz :** Est une obtention de CIMMYT, issue du croisement Mago 54/Ir – 64- II Tac « s »/3 LR 64 III TZ PP/y54. Elle a été sélectionnée en 1978 à l'I.T.G.C du Khroub. Elle est précoce à fort tallage, l'épi est roux allongé avec des barbes divergentes. La paille est moyenne, le grain clair arrondi. Elle est sensible à la rouille brune et jaune. Tolérante à la rouille noire, à la fusariose et à la septoriose. Elle s'adapte aux zones littorales, aux plaines intérieures, elle est résistante à la verse et convient aux différents types de sols (léger ou lourd). Semis : mi-novembre à mi-décembre.

- **V3 : Hidhab : (**Neelkant) appelée improprement en Algérie HD1220 est une obtention du CIMMYT (Mexique en 1980). Issue du croisement HD1220/3* KAL/nac, sélectionnée à la ferme expérimentale de l'I.T.G.C (El Khroub, Constantine) en 1984. C'est une variété précoce, à fort tallage. L'épi est blanc, à barbes noires divergentes, avec une paille moyenne. La tige est creuse, le grain est roux et allongé. Elle s'avère sensible à la rouille jaune, brune et noire. Elle se cultive dans les zones sahariennes et les hauts plateaux. Compte tenu de sa précocité, elle échappe aux gelées printanières. Son semi est recommandé entre la mi-novembre et la mi-décembre.

Cette étude expérimentale fait partie du programme PNAB : Programme National d'Amélioration des Blés.

1.2. Essai expérimental 1

Toutes les expérimentations sont réalisées en partie à la station expérimentale de l'Institut technique des Grandes cultures (I.T.G.C) du Khroub et pour l'autre partie au laboratoire d'amélioration Génétique des Plantes de l'Université Badji Mokhtar / Annaba

1.2.1. Essai au champ

L'essai a été conduit le durant la campagne agricole 2009/2010 à la station expérimentale de l'Institut technique des Grandes cultures (I.T.G.C) du Khroub, située à 14 Km au sud-Est de Constantine. Sa zone bioclimatique est considérée semi-aride, elle est à une latitude de 36° 17′ 00″ Nord, une longitude de 6° 37′ 00″ Est et sur 640 m d'altitude. Les précipitations durant cette période ont atteint une moyenne de 503,6mm (moyenne de Seltzer). Les pluies de Janvier (90mm) ont bien arrosé les cultures semées en Décembre et durant le remplissage du grain au mois de Mai la pluviométrie a été abondante (51,8mm).

- **Conditions agropédologiques :** L'essai est mis en place sur une parcelle dénommée « Saad Belkheir » à texture argilo limoneuse et ayant comme précédant cultural une

jachère travaillée. Le semis est mis en place le 10 Décembre 2009 sur un sol à 120 cm de profondeur et à pH 7.1 / 8. Un engrais de fond, le super phosphate à 46% à raison de 100kg/ha est répandu en Octobre 2009. Le contrôle des mauvaises herbes est effectué chimiquement par application de l'herbicide Gand Star, à raison de 13g/ha, suivi une semaine plus tard par un engraissement d'entretien à 100Kg/ha d'Urée à 46%. Le semis est effectué à l'aide d'un semoir expérimental de type Ojord. La récolte a débuté le 2 juillet et s'est poursuivie jusqu'au 11 juillet de la même année, suivant le niveau de maturité des plantes. L'hiver tardif et les fortes précipitations durant les mois d'Avril et Mai (55mm et 51,8mm) ont affecté positivement le remplissage du grain. Cette campagne 2009-2010 est caractérisée par un cumul annuel en précipitation de 503,6mm.

- **Dispositif expérimental :** Cet essai est réalisé selon un dispositif expérimental, dans un système de parcelles dont chacune comprend 10 génotypes de blé tendre. Ces parcelles sont ensemencées selon un modèle en blocs complets aléatoires dans un plan de randomisation totale à quatre répétitions pour chaque génotype. Un bloc de 10 parcelles élémentaires, les parcelles sont constituées de 4 lignes de 1m de long sur une surface de 6m². L'espace entre les blocs est de 40cm

- **Etude morphométrique**
    - **Stade Epiaison (EPS)** mesuré en nombre de jours, du semis jusqu'à la formation de l'épi, quand 50% des plantes sont arrivées à ce stade de maturité.
    - **Hauteur de la Plante (HTR)** mesurée à maturité en centimètre (cm) de la surface du sol à raison de 10 plantes par mètre linéaire, sur deux (02) lignes par parcelle élémentaire, en évitant les lignes de bordure.
    - **Nombre d'Epis /m² (NE/M²)** évalué en comptant à maturité le nombre d'épis sur 4 lignes de 1 mètre de long dans chaque parcelle.
    - **Nombre de Grains par Epi (NGE)** après la récolte, les grains sont comptés sur 10 épis prélevés pour chaque parcelle élémentaire.
    - **Poids de Mille Grains (PMG)** estimé après la récolte, en comptant automatiquement les grains (pris au hasard sur toute la surface de récolte pour chaque variété) à l'aide d'un compteur électronique de grains de type (Numeral seed counter). Le poids de mille grains est estimé en grammes par une balance de précision de type Mettler P2000, précise au dixième du gramme.

- **Rendement en Grain (RDT) :** à la récolte, l'ensemble des grains récoltés par parcelle est pesé. Le rendement est exprimé en Q/ha.

  Cette étude est destinée à relier le rendement sous stress hydrique aux divers caractères morphophysiologiques d'adaptation à la sécheresse. La démarche de cet essai est de comparer le comportement des variétés testées de blé tendre dans deux environnements différents, pour évaluer l'interaction génotype-milieu : le premier en plein champs, le second sous serre en condition semi contrôlées. L'essai expérimental sous serre est réalisé dans l'abri serre de Chaab Ersas entre le mois de Mars et Juin. Les deux essais sont menés durant la campagne 2009/2010.

1.2.2. Expérimentation en conditions semi contrôlées

Il s'agit d'étudier les mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués dans l'adaptation au stress hydrique chez les 10 génotypes de blé tendre. En condition semi contrôlées (serre), les paramètres suivants sont analysés :

- Paramètres d'état hydrique : teneur relative en eau, dosage des pigments de la chlorophylle à deux niveaux 40% et 100% d'humidité de la capacité au champ ;
- Paramètres biochimiques : dosage de la proline, dosage des sucres solubles, mesures de la surface foliaires aux mêmes niveaux d'humidité de la capacité au champ 40%cc et 100% cc.

- **Préparation du sol :** Le sol est constitué : de terre argileuse, de sable et de terreau dans des proportions : 1.1.1, 40 pots sont remplis par le mélange terre-sable-terreau préparé. Les 40 pots sont repartis en deux lots de 20 pots : le lot des plantes témoins (T) et le lot des plantes stressées (S), selon un dispositif aléatoire complet à raison de deux répétitions par traitement.

- **Conduite de l'essai :** Le semis est établi selon deux régimes hydriques. Les graines sont repiquées dans les pots à raison de 10 graines par pot. Elles sont ensuite placées sous serre où elles sont irriguées trois fois par semaine, afin de maintenir une hydratation maximale jusqu'à l'apparition du stade 5ème feuille bien développée, soit à raison de 200 ml/pot. A ce stade, l'irrigation est interrompue dans les pots sous stress (S) mais elle est maintenue pour les pots témoins (T). Le déficit hydrique est appliqué par interruption de l'arrosage. Tous les pots sont pesés chaque matin et la quantité d'eau dans le sol est déterminée par rapport à la quantité d'eau maximale qui peut être retenue par le substrat.

- **Analyses physiologiques**

- **Mesure de la teneur relative en eau (TRE) :** La teneur relative en eau est mesurée selon la méthode de Barrs (1968). La TRE figure parmi les différents critères d'évaluation du déficit hydrique et de la tolérance à la sécheresse. C'est le meilleur indicateur du statut hydrique car la TRE reflète la balance entre l'eau disponible dans la feuille et le taux de transpiration.

La TRE est mesurée sur l'avant dernière feuille, coupée au niveau de la base du limbe. Elle est pesée immédiatement (PF, poids frais) et plongée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée puis placée à l'obscurité à 4°C pendant 24 heures afin d'avoir un taux de réhydratation maximum. La feuille est de nouveau pesée (PT, poids de turgescence), l'échantillon est ensuite mis à sécher à l'étuve à 80°C pendant 24 heures (PS, poids sec). Cette mesure est effectuée à raison de trois répétitions par génotype pour les deux régimes hydriques.
La teneur relative en eau est estimée en (%), selon la formule de Barrs (1968), soit :

$$TRE\ (\%) = [(PF - PS) / (PT - PS)]$$

PS : Poids sec de la feuille
PT : Poids de la feuille à la turgescence (après 24h dans de l'eau)
PF : Poids frais de la feuille excisée.

La teneur relative en eau ou turgescence foliaire est une caractéristique génotypique liée à la capacité de la plante à maintenir un niveau d'eau dans la feuille à même de garantir la continuité de l'activité métabolique dont, entre autres, la photosynthèse.

- **Dosage de pigments chlorophylliens (Chl) :** La méthode utilisée est celle de Mac kinney (1941). Pour chaque génotype, 100 mg de matière fraiche (1/3 médiane de la feuille) sont prélevées puis plongés dans 10ml d'une solution préparée à partir de 75% d'acétone et de 25% d'éthanol. Les feuilles sont conservées pendant 48 heures à 30°C dans des boites noires hermétiquement fermées pour éviter tout contact avec la lumière. Après 48h, la densité optique est mesurée par spectrophotomètre avec des longueurs d'onde de $\lambda 1 = 663$ nm pour la chlorophylle a et $\lambda 2 = 645$ nm pour la chlorophylle b.

.

Chl (a) (ml mol/mg M.F) = 12.3DO (663) - 0.86 (645).
Chl (b) (ml mol/mg M.F) = 9.3DO (645) - 3.6 (663).

La teneur en chlorophylle totale est calculée Chl (a+b) = Chl (a) + Chl (b) ainsi que le rapport Chl(a) /Chl (b). Ces mesures sont effectuées à raison de trois répétitions par génotypes et par traitement.

- **Mesure de la Surface foliaire (SF) :** Elle concerne la feuille étendard (porte drapeau). Cette mesure consiste à reprendre la surface de la feuille de la plante sur papier calque puis de la recopier sur papier noir, pour la mesurer au planimètre (Area Meter AM 200). Ce dernier affiche la valeur de la surface foliaire en mm^2 puis en cm^2, en raison de trois répétitions par génotypes pour les deux régimes hydriques.

- **Analyses biochimiques**

- **Dosage de la proline (Prol):** L'extraction de la proline est faite suivant la méthode de Trolls et Lindsley (1955). 100 mg de matière fraîche sont pesés dans des tubes à essai contenant 2 ml de méthanol à 40%. L'ensemble est porté à 85°C dans un bain marie pendant une heure. Après refroidissement, 1ml est prélève de l'extrait auquel est ajouté 1 ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine et 1 ml de mélange (120 ml d'eau distillée + 300 ml d'acide acétique + 80 ml d'acide orthophosphorique de densité 1,7). La solution obtenue est portée à ébullition pendant 30mn. Au virage de la couleur au rouge, 5 ml de toluène sont rajoutés. Deux phases se séparent : la phase supérieure contient la proline et la phase inférieure est sans proline. Après récupération de la phase supérieure (colorée en rouge), du $NaSO_4$ est ajouté à l'aide d'une spatule afin d'éliminer l'eau qu'elle contient. La dernière étape consiste à mesurer la densité optique au spectrophotomètre à une longueur d'ondes de 528 nm. La valeur obtenue est convertie en concentration en proline par le biais d'une « courbe étalon » préalablement établie à partir d'une série de solutions de concentration en proline connue.

- **Dosage des sucres solubles (S):** Les sucres solubles totaux (saccharose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode Dubois et *al.*,(1956). Elle consiste à mettre 100mg de la matière végétale fraîche dans un tube à essai et dans 3 ml d'éthanol à 85%, puis le tube est placé pendant 48 heures à l'obscurité. Le contenu est filtré et 20ml d'eau distillée sont rajoutés. 1 ml de la solution est alors prélevé et ajoutée de 1 ml de phénol à 5% et 5 ml d'acide sulfurique 1,8N. La surface de la solution vire au jaune orangé. Elle est ensuite homogénéisée au vortex, puis laissée pendant 10 min. La solution est alors placée au bain marie pendant 10 à 20 min à 30°C. La lecture de la

densité optique est effectuée sur une longueur d'onde de 490nm. Ce dosage est réalisé à raison de trois répétitions par génotype et par traitement.

2. Essai Expérimental 2

Cette série d'essais consiste en la détermination et l'évaluation du rendement et de ses composantes (Essai au champ), de la composition biochimique et de la qualité technologique des graines de blé tendre**.**

2.1. Matériel végétal

L'étude porte sur 10 variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.), retenues pour relier les propriétés technologiques et physicochimiques afin d'apprécier la qualité boulangère de la farine de blé et son rôle dans la panification.

Le choix s'est porté sur 10 génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.), dont 3 sont des variétés locales (variétés témoins), représentées par : Ain Abid, Arz et Hidhab. Les 7 autres génotypes, sont des lignées avancées introduites par CIMMYT. Les 10 génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum)* sont regroupés dans le tableau suivant :

Variétés et lignées	Pédigrées	Origine
V11 : Ain abid	Témoin local	Local
V12 : Arz	Témoin local	Local
V13 : Hidhab	Témoin local	Local
V14 : Pastor/Wbll1	CMSA00Y00586-0POY-040M-040SY-030M-17ZT	CIMMYT (Mexique)
V15 : Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi	CGSS01B00046T-099Y-099M-099M-099Y-21Y-0B	CIMMYT (Mexique)
V16 : Wbll1*2/Brambling	CGSS01B00062T-099Y 099M-099M-099Y-099M-77Y-0B	CIMMYT (Mexique)
V17 : Thelin//2*Attila*2/Pastor	CGSS02Y00089T-099B-099M-099Y-099M-4Y-0B	CIMMYT (Mexique)
V18 : Kauz/Pastor/Fiscal	CMSS02M00325S-030M-15Y-0M-0Y	CIMMYT (Mexique)
V19 : Prl/2*Pastor	CGSS97Y00034M099T0PB-027Y-099M-099Y-099M	CIMMYT (Mexique)
V20 :Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna	CGSS01B00048T-099Y-099M-099M-099Y-099M-31Y-0B	CIMMYT (Mexique)

2.2. Localisation des sites expérimentaux

Afin de pouvoir faire des comparaisons dans le temps et dans l'espace, 3 sites sont choisies sur une étude de données de deux années agricoles consécutives (2010-2011 et 2011-2012) L'étude est conduite sur les stations expérimentale suivantes :

- Site 1 : (I.T.G.C) Khoub (Constantine), Plaines intérieures semi-aride
- Site 2 : (I.T.G.C) Sétif, hauts plateaux semi-aride
- Site 3 :(I.T.G.C) Guelma, Sub-littoral sub-humide

Les coordonnées géographiques de la zone d'étude de Constantine sont : une latitude de 36° 17′ 00″ Nord, une longitude de 6° 37′ 00″ Est, une altitude de 640m. Sétif se situe à une latitude de 36° 11' 29 N, une longitude de 5° 24' 34 E et sur altitude de 1080m. Guelma a une latitude de 36° 28′ 00″ Nord, une longitude de 7° 26′ 00″ Est et une altitude de 290m.

2.3. Mise en place de l'essai

L'essai est mis en place au cours de la campagne agricole 2010-2011 sur trois sites, il est reconduit dans les mêmes conditions durant la campagne suivante 2011-2012.

Le matériel végétal est semé sur des parcelles élémentaires de 6m² chacune selon un modèle en blocs complets aléatoires, un plan de randomisation totale à quatre répétitions pour chaque génotype. Les parcelles sont constituées de 6 lignes de 1m de long avec des interlignes de 20cm. Durant la campagne 2010-2011, les précédents culturaux des parcelles sont une jachère travaillée au niveau de la ferme pilote de Guelma et à l'ITGC du Khroub (Constantine). La fertilisation de fond appliquée est le T.S.P (triple superphosphate) à 46%, à raison de 1 quintal/ha sur le Khroub et Sétif mais 2 quintaux/ha au niveau de la station pilote de Guelma. Au mois de Mars, les trois stations ont effectué un épandage d'engrais azotés sous forme d'urée 45% à raison de 1 quintal/ha, et un désherbage chimique au stade tallage au moyen de 1,2 l/ha de Traxon et 120g/ha de Zoom sur l'ITGC du Khroub (Constantine) et de Guelma et du Granstar 15g/ha et Brimby à raison de 0,75 L/ha sur la station pilote de Sétif.

Le semis est réalisé au mois de Décembre sur une profondeur de 35cm à l'aide d'un semoir expérimental de type Ojord et ceci sur les trois sites et au cours des deux campagnes agricoles.

A Constantine (Khroub), la campagne 2010-2011 est caractérisée par un cumul annuel de précipitations de 593,1mm contre 574,1 pour l'année 2011-2012 (Figure 6a) et nettement supérieure à celle de la campagne précédente (503,6mm). L'analyse mensuelle laisse apparaître un début de campagne relativement humide mais moins arrosé au mois de Décembre à Janvier

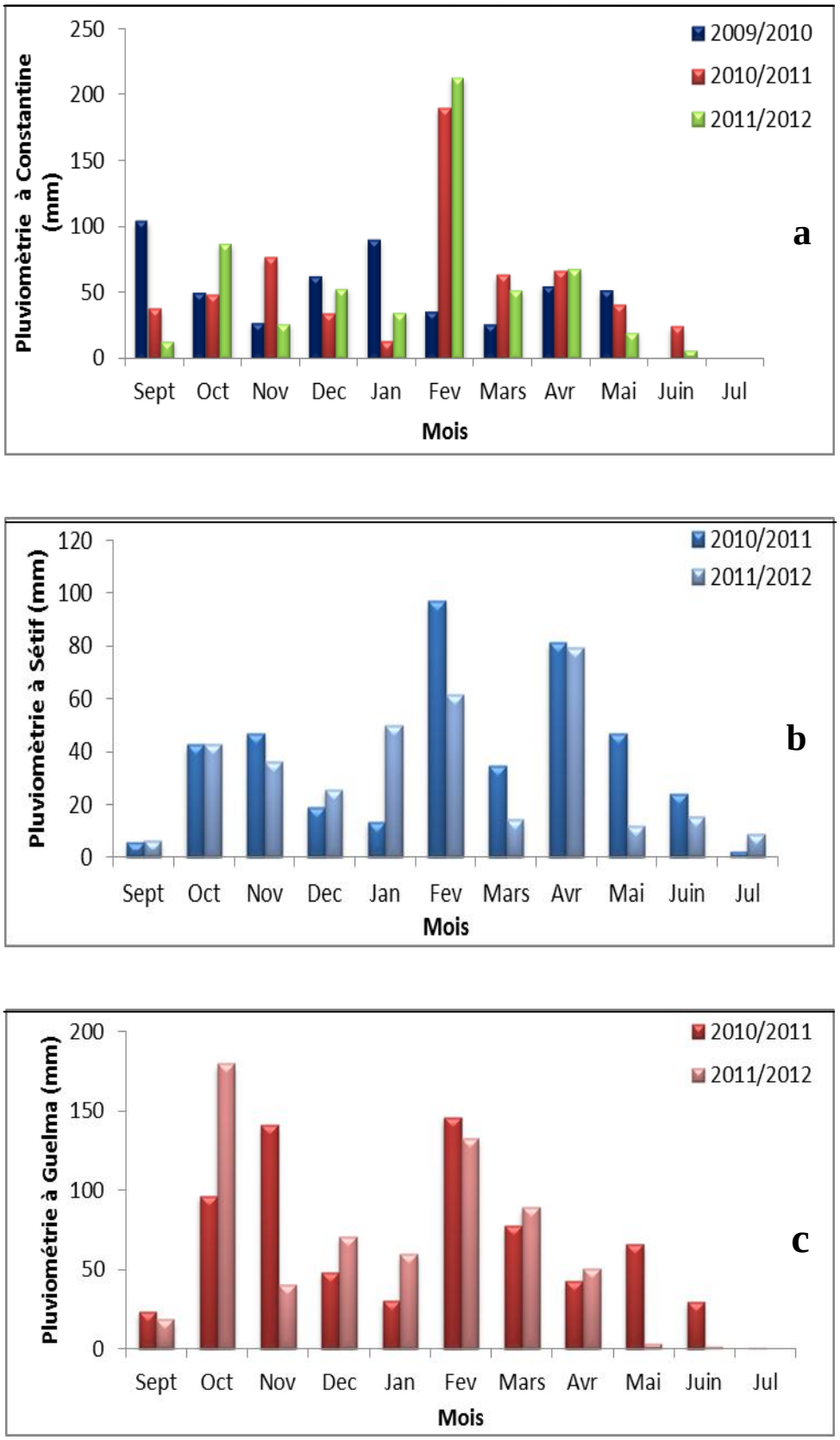


Figure 6: Relevé pluviométrique : **a** : Constantine (2009-2012) ; **b** : Sétif (2010-2012) ; **c** : Guelma (2010-2012)

où seulement 33,7mm et 12,6mm de pluies sont tombées (quelque fois sous forme de neige). Le printemps (Mars à mai) est assez bien arrosé (170mm) avec une répartition convenable bénéfique sur le remplissage du grain. Les températures sont saisonnières avec 21 jours de gelées du mois de Décembre à Mars (Figure 6a). Durant la campagne 2011-2012, le cumul pluviométrique est bien réparti sur l'ensemble du cycle végétatif avec un écart en Février (chute de neiges abondantes) engendrant des stagnations d'eau sur les parcelles, causant la perte des essais dont les plantes sont asphyxiées. Les températures ont affecté le végétal, les basses températures (-12°C à -14°C) durant les mois Janvier-février avec 53 jours de gelée ont ralenti la croissance des plantes et les hautes températures +44°C en Juin, 34,2°C en Mai ont influé négativement sur le remplissage du grain.

A Sétif la campagne 2010-2011 est caractérisée par un cumul annuel de précipitations de 412mm et 15 jours de gelées en Février contre 307,8mm de précipitation et 50 jours de gelées du mois de Janvier à Avril sur la campagne suivante (Figure 6b). Ces deux campagnes sont caractérisées par un automne assez pluvieux favorisant la préparation des lits de semence. Les basses températures de Février à Avril ont affecté la croissance du végétal.

A Guelma la campagne 2010-2011 est caractérisée par un cumul annuel de précipitations de 646mm contre 676,2mm durant la campagne 2011-2012 (Figure 6c). Cette zone est caractérisée par un automne pluvieux (Octobre : 179mm sur la première campagne et 141mm en Novembre sur la seconde campagne) rendant difficile la préparation des lits de semence.

2.4. Mesures et Notation sur champ

Les mesures effectués lors de ces deux campagnes agricoles sont les mêmes que citées précédemment. Elles se résument en Date d'épiaison **(EPS)**, en la Hauteur du chaume **(HTR)**, en nombre d'épis par comptage des épis des échantillons et le nombre est ramené à l'unité de surface (m^2) **(NE/M^2)**, Nombre de grains par épis **(NG/E)**, le poids de milles grains **(PMG)** et le rendement en grains **(RDT).**

2.5. Analyse Technologique des Semences

Les graines des 10 génotypes de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) de la dernière campagne agricole sont broyées pendant 3 minutes, à l'aide d'un broyeur IKA-Universal muhle M20 (220 V, 50/60 HZ, 550W) pour effectuer les analyses biochimiques.

2.5.1. Taux de Protéines (Prot)

Le taux de protéines est mesuré à l'aide d'un appareil à infrarouge (analyseur NIR INFRAMATIC 8100). L'analyse se fait par réflexion en proche infrarouge (1400-2500nm) d'un

échantillon broyé, avec étalonnage préalable mémorisé dans le microprocesseur intégré. Les résultats sont exprimés en pourcentage de protéines par rapport à la matière sèche, ils représentent la moyenne de trois répétitions.

2.5.2. Taux d'Amidon (Am)

Le taux d'amidon est mesuré par l'appareil (NIR), par réflexion en proche infrarouge (1400-2500nm). Les résultats à trois répétitions sont exprimés en pourcentage d'amidon par rapport à la matière sèche.

2.5.3. Taux d'Humidité (H)

Le taux d'humidité est mesuré à l'aide du même appareil à infrarouge (NIR) et selon les mêmes conditions de mesure. Les résultats sont exprimés en pourcentage d'humidité par rapport à la matière sèche et sont la moyenne de trois répétitions.

2.6. Tests technologiques

Ces tests technologiques sont étudiés couramment en sélection et sont :

2.6.1. Test de sédimentation SDS

C'est un test physico-chimique utilisé pour apprécier la capacité de solubilisation et de polymérisation des protéines dans un solvant polaire. Ce test donne une mesure de la force du blé. Le principe du test est la mesure de la hauteur de sédimentation de 6g de farine entière en suspension dans un milieu acide contenant du Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) : 20g de SDS sont dissout dans 1 litre d'eau et 20 ml d'acide acétique (1 volume d'acide acétique pour 8 volumes d'eau). Cette prise d'essai de 6g de farine est introduite dans un cylindre gradué dans lequel sont rajoutés 50 ml d'eau à 22°C. Toutes les opérations, sauf l'agitation, se passent dans un bain marie à 22°C. Après des temps déterminés d'agitation et de repos, le volume de farine sédimenté est mesuré en ml. L'agitation est manuelle et la lecture se fait en l'absence de colorants. Le dépôt de sédimentation est d'autant plus important que la quantité de protéines est élevée et que celles-ci ont une forte capacité d'hydratation (Annexe 1). Les valeurs utilisées correspondent à la moyenne de deux répétitions.

2.6.2. Test de Pelshenke (Pel)

C'est un test de rhéologie qui mesure un développement de la pâte sous l'action d'un gaz dû à la fermentation. Ce test d'appréciation de la qualité boulangère est réalisé à température constante et homogène de 32°C. La méthode consiste à prendre 10 g de mouture et 6ml de suspension de levure à 10%. L'ensemble est pétri pendant 1min 30sec. Le pâton séparé en deux

boulettes identiques (2 répétitions) est plongé dans des verres d'eau permutée et tempérée à 32°C.

Sous l'effet de la levure et de la température de 32°C, les boulettes de pâte gonflent, remontent en surface, puis au bout d'un certain temps se disloquent et retombent (Annexe 2). Ce test mesure le temps, exprimé en minutes, écoulé entre le moment de dépôt d'une boulette de pâte (farine mélangée à une suspension de levure) dans un verre et sa dislocation. Deux boulettes de pâte sont testées simultanément et les valeurs utilisées correspondent à la moyenne des deux répétitions. Ce test varie en fonction de nombreux paramètres : température, temps de pétrissage, type de levure, type de mouture.

A cet effet l'échelle suivante permet d'évaluer la qualité boulangère :

- < 30 mn : mauvaise qualité boulangère,
- 30-50 mn : Moyenne,
- 50-90 mn : Bonne,
- 90-150 mn : très bonne,
- >150 mn : Blé améliorant.

2.6.3. Propriétés rhéologiques des Glutens et des Farines (Alvéographe Chopin)

- Extraction du Gluten

La teneur du gluten est déterminée selon la méthode de Kiger et Kiger (1967), le gluten est extrait par simple lessivage manuel sous un mince filet d'eau de robinet. Le gluten obtenu est compressé entre les paumes de la main afin d'éliminer toute traces d'eau.

20 g de farine est mouillée avec 1,5ml d'eau salée à 2%. Après un repos de 15mn, la pâte est malaxée dans la main sous un filet d'eau continu pour la transformer en pâton. Lorsque l'eau de lavage devient claire, le gluten est essoré en le comprimant fortement entre les paumes des deux mains. A ce moment le gluten humide est pesé. Le gluten sec, est obtenu après séchage de du pâton dans une étuve à 102°C pendant environ 18 heures.

La teneur du gluten humide (GH) s'exprime en pourcentage : $GH_{\%} = 100 (M_h / 20)$

La teneur du gluten sec (GS) s'exprime en pourcentage : $GS_{\%} = 100 (M_s / 20)$

M_h : Masse du gluten humide

M_s : Masse du gluten sec

- **Alveographe Chopin**

Les tests déterminés au moyen de l'alvéographe Chopin sont réalisés au laboratoire EPE-central Labo-SPA Constantine, afin d'évaluer la valeur boulangère et les propriétés plastiques des farines. Le moulin d'essai (permet de produire des farines représentatives des blés à analyser) répond à la norme NF EN ISO 27971 qui décrit la méthodologie de la mouture d'essai pour l'analyse à l'alvéographe.

L'alvéographe Chopin est l'appareil le plus utilisé pour l'appréciation de la valeur boulangère des pâtes de panification (Delfrate et Staphane, 2005).

Ce test fait l'objet de la norme NF ISO 5530-4, intitulée « farine de blé tendre-caractéristiques physiques de pâtes-Détermination des caractéristiques rhéologiques au moyen de l'alvéographe ». L'intérêt de cette mesure réside dans la similitude des déformations observées avec celles qui s'exercent au cours de la fermentation et de l'expansion des alvéoles de gaz au sein de la pâte pendant la fermentation, sous la pression de gaz carbonique et de la cuisson (Feillet, 2000).

Alvéographe Chopin.

La pâte est pétrie dans le pétrin de l'alvéographe Chopin 8min à 60 tr/min. Après son extraction, celle-ci est laminée 7 fois à l'aide d'un rouleau par des mouvements de « va et vient », sur un plateau rectangulaire dont le fond est en verre. La pâte est ensuite lubrifiée avec de l'huile de paraffine. Les 5 pâtons sont ensuite découpés à l'aide d'un emporte-pièce (r=23mm, h=6mm) et laissés au repos (10min, 25°C) dans la chambre de repos de l'alvéographe (figure 7).

La préparation des pâtes s'effectue selon le digramme de fabrication spécifique au test alvéographique suivant :

250g d'échantillon

↓

Addition de la quantité nécessaire d'eau salée à 2,5%

↓

Malaxage pendant 2 min

↓

Pétrissage mécanique pendant 6 min, 60 tr/min

↓

Extraction, laminage et découpage de 5 pâtons

↓

Repos des pâtons pendant 10 min dans la chambre isotherme de l'alvéographe à 25°C

Figure 7 : Diagramme de préparation de pâte pour le test alvéographique

Le principe des essais alvéographiques consiste à faire subir à l'éprouvette de pâte des changements de dimensions par une insufflation d'air, enregistrée sous forme de courbes de variations de pression ***P*** à l'intérieur de la bulle. Elles sont en rapport avec la résistance de la pâte à l'extension et permettent d'apprécier les caractéristiques boulangères de la farine, d'après la taille et la forme des courbes obtenues et le volume de la bulle au moment de la rupture. Une courbe moyenne est tracée à partir de 5 pâtons (Figure 8).

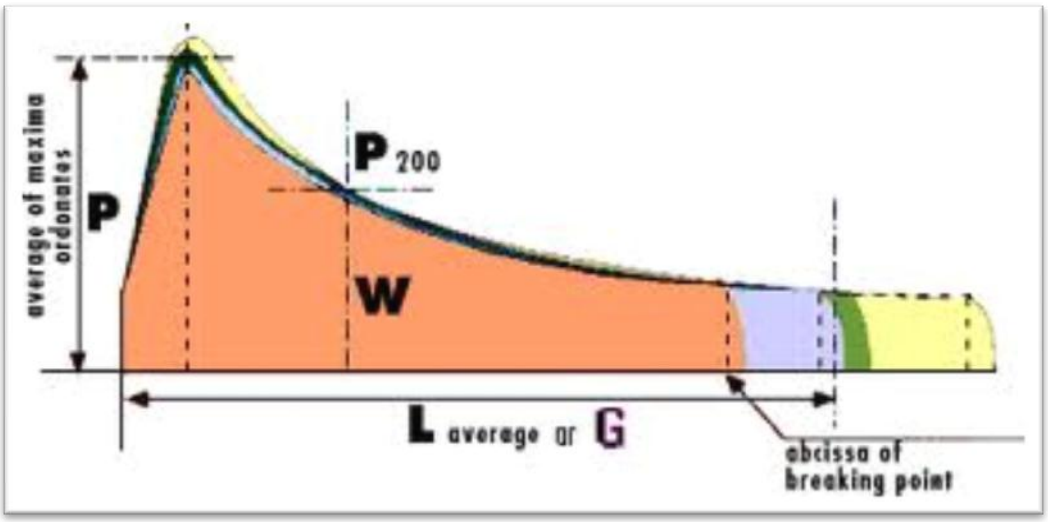


Figure 8 : Alvéogramme type de différents types de farines de blé tendre (Delfrate, 2005)

La lecture d'un alvéogramme se fait à travers les paramètres suivants (Naega, 2005) :

Le **« *W* »** : (du mot anglais « Work ») désigne le travail au sens physique du terme. Sa valeur est proportionnelle à la surface (S) de la courbe obtenue selon l'équation suivante :

$$W \text{ (joules)} = 6{,}54 \times S$$

Cette valeur exprime la force boulangère de la pâte

- Le **« *P* »** : Correspond à la pression maximale d'air insufflée, nécessaire à la déformation et donc à l'obtention de la bulle de pâte. Il exprime la ténacité de celle-ci, donné, en mm sur l'axe des ordonnées de l'alvéogramme.
- Le **« *L* »** : Ce paramètre correspond à l'extensibilité de la pâte depuis le début du gonflement jusqu'à éclatement de la bulle. Il est donné en mm sur l'axe des abscisses de l'alvéogramme.
- Le **« *G* »** : Se rapporte au gonflement de la pâte, il est exprimé en cm^3 et donné par l'équation suivante :

$$G \text{ (cm}^3\text{)} = 2{,}226 \times \sqrt{L}$$

- Le **« *P/L* » :** Ce rapport appelé « rapport de configuration de la courbe » ou « rapport de ténacité au gonflement », représente l'équilibre entre la ténacité et l'extensibilité de la pâte.
- Le « ***Ie*** » : Correspond à l'indice d'Elasticité de la courbe. Il est donné par l'équation suivante :

$$Ie = P_{200} / 100$$

Où P_{200} **:** Pression à 4 cm du début de la courbe

2.7. Technique d'électrophorèse

2.7.1. Principe

Les techniques électrophorétiques sont basés sur le principe de la mobilité différentielle des molécules protéiques dans un support soumis à un courant électrique. Cette mobilité est en fonction de la charge électrique, de la dimension et la forme des protéines, de l'intensité du champ électrique, la température de l'électrolyte.

2.7.2. Extraction des protéines de réserve

L'extraction séquentielle des gluténines est réalisée selon la méthode de Singh et *al.*, (1991) (Annexe 3)

Cette méthode décrit une procédure simplifiée pour la séparation des sous-unités gluténines. Elle permet une meilleure résolution de SG-HPM et SG-FPM et est testée sur des variétés de blé tendre et blé dur. Les modifications apportées par cette méthode ont permis la séparation des gluténines avec seulement une légère contamination des protéines des autres classes et l'obtention de gluténines hautement purifiées au bout de 3 heures. Trois solutions de base sont nécessaires (Annexe 4)

- Solution (A) 50% (V/V) propanol-1
- Solution (B) 50% (V/V) propanol-1. 0,08 de Tris Hcl, pH 8.8
- Solution (C) : la solution tampon, 2% P/V SDS, 40% (P/V) glycérol, 0,02% (P/V) bleu de bromophénol, 0,08 de Tris Hcl, pH=8

Toutes les extractions protéiques (non réduites et réduites), l'alkylation des groupes SH et le traitement des extraits de propanol avec le tampon SDS sont portés à une température égale à 65°C dans les tubes eppendorf. Ensuite les échantillons sont centrifugés à 10000 g.

- **Extraction des gluténines**

Les gluténines sont extraites (30 minutes) à partir du résidu dans une solution B (0,1 ml) contenant 1% P/V dithiotreitol (DTT) ajouté à l'état frais après une bonne agitation au vortex. Après 5 minutes de centrifugation, la solution B (0,1 ml) contenant 1,4% (V/V) du 4-vinylpyridine mélangé à l'état frais est ajouté à chaque tube lequel est incubé pendant 15 minutes pour une alkylation des protéines.

L'échantillon est ensuite centrifugé (2 minutes)et un aliquote (0,1ml) de surnageant est transféré dans un autre eppendorf contenant la solution C (0,1 ml). Ce même échantillon est agité brièvement ensuite incubé (15 minutes) pour une complexation du SDS avec le polypeptide des gluténines réduites et alkylées. Après la centrifugation (2 minutes), les extraits protéiques sont déposés (6 ou 8µl) sur les puits du gel pour une séparation SDS-PAGE des sous-unités gluténines.

2.7.3. Electrophorèse monodimensionnelle des gluténines par SDS-PAGE

La technique d'électrophorèse utilisée est celle proposée par Laemmli (1970) modifiée par Payne et *al.*, (1979). La séparation se fait sur gel vertical en système discontinu, en présence de Sodium Dodecyl Sufate (SDS)

La séparation se fait en milieu basique (pH 8.8) en présence d'un détergent anionique, le Sodium Dodecyl Sufate (SDS) qui détruit les liaisons faibles et masque la charge des protéines

par sa propre charge négative et annule ainsi la différence de migration due à la charge électrique. Il permet donc une séparation selon la taille, la conformation et la masse moléculaire. La vitesse de migration des protéines dépend de la taille des mailles du gel et de la température de l'électrolyte (Khelifi et Branlard, 1991)

Le support d'électrophorèse est formé d'un gel de concentration (stacking gel) à T=12,8% et d'un gel de séparation (separating gel). Ces deux gels sont préparés à base d'acrylamide à 35% (P/V), de bisacrylamide à 2% (P/V), du SDS à 10% (P/V) et de Tris-Hcl 1M, tamponnés à pH 6.8 pour le gel de concentration et à pH 8.8 pour le gel de séparation. Cers deux gels sont polymérisés en présence d'ammonium persulfate et de Temed.

Après la polymérisation des gels, les échantillons sont déposés dans les puits au sommet du gel de concentration à raison de 15µl. La cuve d'électrophorèse est remplie avec un volume suffisant de tampon de migration, et maintenue à une température constante à 10°C grâce à un système de refroidissement. Le gel est soumis à une intensité constante de 80 mA, et une tension ne dépassant jamais le maximale de 1200V. Les protéines chargées négativement migrent vers l'anode et sont séparées selon leur encombrement moléculaire. La migration est arrêtée une heure après la sortie du front coloré.

2.7.4. Coloration et décoloration

Les protéines sont fixées dans une solution de TCA (Acide Trichloracétique) à 60% au bleu de coomassie R250 à 1% (P/V), pendant 24 heures sous agitation. Les gels sont ensuite décolorés en les laissant dans l'eau de robinet pendant toute la nuit. Une fois les gels sont décolorés, ils sont ensuite séchés et conservés.

3. Méthodes d'analyse statistique

3.1. Analyse univariée

3.1.1. Description des Données

Pour mieux décrire les différentes variables morphologiques, physiologiques, biochimiques et technologiques, certains paramètres statistiques de base sont calculés tels que la moyenne et l'écart-type qui mesure la dispersion des données autour de la moyenne. Ces paramètres sont calculés à l'aide du logiciel d'analyse statistique des données Minitab (X, 2005) et Xlstat (2009) pour chacune des caractéristiques par variété, par année et par site.

3.1.2. Le test *t* de Student pour échantillons indépendants

Le test *t* de Student consiste à comparer les moyennes de deux populations à l'aide de deux échantillons indépendants (Dagnelie, 2006). Ce test est utilisé d'une part pour comparer les moyennes de chaque caractéristique physiologique étudiée de chacune des 10 variétés de blé tendre entre deux traitements hydriques (témoins et stressés) et, d'autre part, pour comparer entre les deux années, les moyennes de chaque caractéristique étudiée de chacune des 10 variétés de blé tendre au niveau de chacun des trois sites.

3.1.3. L'analyse de la Variance (ANOVA)

Le test d'analyse de la variance à un critère ou à un facteur de classification consiste à comparer plus de deux moyennes de plusieurs populations à partir de données d'échantillons aléatoires simples et indépendants (Dagnelie, 2006)

La réalisation du test se fait en comparant la valeur F_{obs} avec une valeur théorique $F_{1-\alpha}$ extraite à partir de la table F de Fisher pour un niveau de signification $\alpha = 0,05$; 0,01 ou 0,001 et pour K_1 et K_2 degrés de liberté. Soit en comparant la valeur de la probabilité *p* avec toujours les différentes valeurs de $\alpha = 5\%$, 1% ou 0,1%. Selon que cette hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée au niveau $\alpha = 0,05$; 0,01 ou 0,001, on dit conventionnellement que l'écart observé est significatif, hautement significatif ou très hautement significatif. On remarque généralement ces écarts d'un, deux ou trois astérisques (étoiles) (Dagnelie, 2006)

Ce test est utilisé :

- Pour comparer, entre variétés, par année et pour l'ensemble des deux années du même site les moyennes de chacune des caractéristiques obtenues.

- Pour comparer, entre sites, par année et pour l'ensemble des deux années du même site les moyennes de chacune des caractéristiques pour chacune de 10 variétés de blé tendre.

3.1.4. Le test de Tukey

Lorsqu'à l'issue de l'analyse de la variance on est amené à rejeter une hypothèse d'égalité de plusieurs moyennes relatives à un critère de classification fixe, les groupes de moyennes homogènes sont déterminés. Pour cela c'est la méthode Tukey qui est utilisée. Il s'agit d'une méthode qui compare toutes les paires de moyennes à une valeur critique appelée la plus petite amplitude significative (p.p.a.s) calculée pour p moyennes.

Les résultats obtenus sont présentés sous la forme de tableaux à des moyennes ou des groupes de moyennes qui ne sont pas significativement différentes les unes des autres (Dagnelie, 2006)

3.2. Méthodes statistiques bivariées : Coefficient de corrélation

Le lien qui existe entre deux caractéristiques (variables) quantitatives quelconques, par exemple x et y, peut être déterminé par le coefficient de corrélation r. Ce coefficient est compris entre -1 et +1. Il est, en valeur absolue, d'autant plus proche de 1 que la liaison entre deux séries d'observations est nette, pour autant que cette liaison soit linéaire ou presque linéaire. Si au contraire le coefficient est nul – ou presque nul – c'est que les deux caractéristiques ne sont pas corrélées. Le signe du coefficient indique si la relation entre les deux séries d'observation est croissante ou décroissante. La détermination des coefficients de corrélations est effectuée pour identifier les variables les plus corrélées.

3.3. Méthodes statistiques multivariées

3.3.1. Analyse en composantes principales (ACP)

C'est une recherche de variétés similaires. L'analyse en composantes principales est une méthode exploratrice et descriptive (Dagnelie, 1986 ; Palm, 2000). Elle est utilisée pour interpréter une matrice de données sans structure particulière et ne comportant, a priori, aucune distinction, ni entre les variables, ni entre les individus. Elle a pour but de remplacer les *p* variables initiales fortement corrélées entre elles en *p* variables appelées composantes principales ou axes principaux synthétiques non corrélés entre eux, et de variance progressivement décroissante. Les premières composantes pouvant éventuellement faire l'objet d'une interprétation particulière et les dernières pouvant généralement être négligées (Dagnelie, 1986).

Dagnelie (1986) propose deux tests statistiques pour déterminer le nombre de composantes significatives à prendre en considération. Cependant, dans la pratique, l'expérience montre que ces tests conduisent souvent à considérer comme distincts un nombre élevé de composantes, dont certains ne possèdent en fait aucun intérêt. Ces tests ne sont applicables que dans des conditions relativement strictes de normalité notamment. La règle est de négliger à priori, pour toute la matrice de corrélations, les valeurs propres inférieures à l'unité, c'est-à-dire inférieures à la contribution moyenne des différentes variables (Dagnelie, 1986)

Cette (ACP) est appliquée à la matrice des moyennes de données de deux années de dimension nxp , où n=10 variété et p=6 caractéristiques agronomiques mesurées sur chaque variétés et p=12 caractéristiques biochimiques et rhéologiques mesurées sur chaque variété. Les calculs sont réalisés à l'aide du logiciel Minitab (X, 2005) pour chacun des trois sites.

3.3.2. Analyse hiérarchique ou classification hiérarchique

C'est une recherche de groupes ou de classes de variétés homogènes. Cette méthode permet de déterminer le niveau de similitude ou de divergence entre individus ou variétés et donne une répartition des individus en groupes ou classes homogènes sur la base des caractéristiques mesurées. C'est une méthode hiérarchique agglomérative qui utilise la procédure du lien simple et la distance carrée de Pearson (X, 2003) pour classifier les 10 variétés de blé tendre en classes aussi homogènes que possibles, sur la base des caractéristiques mesurées sur les variétés. Cette méthode est appliquée sur la matrice des moyennes des données de deux années, la dimension nxp (où n = 10 variétés et p = 6 caractéristiques) et ceci pour chacun des trois sites étudiés. Les calculs sont réalisés à l'aide du logiciel Minitab (X, 2005) pour chacun des trois sites.

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION

I. Résultats

Au terme de cette étude, différents résultats apparaissent à travers les deux séries d'essais expérimentaux relatifs au comportement des variétés de blé tendre retenues, vis-à-vis du stress hydrique et relativement à l'interaction génotypes-milieux. Les résultats de la première série expérimentale ont fait l'objet d'un article (Kara et Brinis, 2012). Ils expriment l'évolution des variétés de blé tendre en plein champs et sous serre (condition contrôlée). L'évaluation du comportement de ces variétés est réalisée sur la base de paramètres physiologiques et du rendement agronomique. Ce qui a permis d'identifier les variétés présentant une meilleure tolérance dans des milieux déficitaires en eau.

Les résultats de la deuxième série expérimentale sont plus explicites et consolident l'aspect physiologique en additionnant, en plus, d'autres paramètres En particulier : agronomiques, biochimiques et technologiques et ce par un essai mené en plein champ sous diverses conditions environnementales : sous condition pluviale et sur trois sites de différents étages bioclimatiques. Dans cette approche, des différences hautement significatives sont observées au sein du matériel végétal utilisé, de même que des réponses et des comportements différents sont notés chez l'ensemble des variétés de blé tendre étudiées.

1. Expérimentation 1 :

Evaluation et détermination des traits agronomiques et physiologiques impliqués dans la réponse des variétés de blé tendre aux conditions de stress hydrique.

Les résultats agronomiques et physiologiques de l'année 2009- 2010 sont traités dans cette partie de l'expérimentation. L'étude agronomique est réalisée sur le site du Khroub (Constantine). L'exploitation des données débute par une description des données agronomiques et physiologiques, suivie des résultats des analyses univariées, à savoir les résultats de l'analyse de la variance et du test de Student et, enfin, l'analyse des résultats des méthodes statistiques multivariées, c'est-à-dire l'analyse en composante principale.

1.1. Description des données

Les tableaux des annexes 5 et 6 présentent la moyenne avec l'écart-type, calculés pour chacune des variables agronomiques et physiologiques sur les 10 variétés de blé tendre. Ces résultats permettent d'observer la variation de la moyenne des variables pour les différentes variétés étudiées. Les moyennes par variable sont comparées entre elles, d'une part pour les

10 variétés à l'aide du test de l'analyse de la variance pour les données agronomiques et, d'autre part, à l'aide du test *t* de Student pour les données physiologiques.

1.2. Résultats des analyses statistiques univariées

1.2.1. Comparaison entre variétés témoins et stressées de blé tendre, de chacune des variables physiologiques étudiées. Résultat du test *t* de Student

Le tableau 4 synthétise les résultats contenus dans les tableaux des Annexes **7** à 11, relatifs à la comparaison entre les 10 variétés de blé tendre stressées et les 10 variétés de blés tendre témoins. Les valeurs moyennes de chacune des 6 variables physiologiques pour chaque variété de blé tendre sont obtenues par le test *t* de Student pour les échantillons indépendants.

L'examen du tableau 4 montre que pour chaque variable il existe des variétés qui présentent des différences de significatives à très hautement significatives entre les variétés stressées et les variétés témoins, alors que pour d'autres variétés aucune différence significative n'est constatée.

Tableau 4 : Résultats du test *t* de Student de la Comparaison entre les 10 variétés témoins et les 10 variétés stressées de blé tendre, de chacune des variables physiologiques.

Variables	N.S	S	H.S	T.H.S
Proline	V2-V8	V4-V9-V10	V3 - V5 -V7	V1-V6
Sucres solubles	V2-V8-V9	V10	V4-V5	V1-V3-V6-V7
TRE	V1-V5	V4-V6-V7	V3-V8-V9-V10	V2
Surf. Foliaire	V4-V5-V7-V9 V10	V1-V2	V3-V6	V8
Chl Tot	V1-V2-V5-V6	V3		V4-V7-V8-V9 V10
Chl a/b	V1-V2-V3-V4 V6-V7-V8-V9	V10	V5	

N.B : **N.S** = des différences non significatives entre variétés témoins et stressées pour la variable étudiée ; **S =** des différences significatives entre variétés témoins et stressées pour la variable étudiée ; **H.S** = des différences hautement significatives entre variétés témoins et stressées pour la variable étudiée ; **T.H.S =** des différences très hautement significatives entre variétés témoins et stressées pour la variable étudiée.

1.2.2. Comparaison entre les variétés, des valeurs moyennes de chacune des variables étudiées, pour l'année 2009/2010. Test d'analyse de la variance :

La comparaison entre les 10 variétés de blé tendre, des valeurs moyennes de chacune des variables étudiées est effectuée à l'aide du test d'analyse de la variance à un critère de

classification du modèle fixe. Les résultats du test statistique sont synthétisés dans le tableau 5 pour l'année 2009.

L'analyse des résultats, ci-dessous, montre qu'il existe des différences très hautement significatives entre les 10 variétés de blé tendre pour chacune des variables étudiées, exceptées les moyennes du rendement qui ne présentent pas de différences significatives entre les 10 variétés.

Tableau 5 : Comparaison, entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des variables mesurées pour l'année 2009/2010. Résultats de l'analyse de la variance

Variables	DDL	SCE	CM	Fobs	P
EPS	9	128 ,00	14,222	N.S	N.S
HTR	9	1637,50	181,94	17,43	0,000***
NE/M²	9	146693	16299	157,23	0,000***
NGE	9	1919,02	231,22	46,10	0,000***
PMG	9	172,611	19,179	9,62	0,000***
RDT	9	1051,32	116,81	2,33	$0,044^{NS}$

N.B. : DDL = degrés de liberté ; SCE : somme des carrés des écarts ; CM = Carré moyen ; Fobs = Valeur observée de F de Fisher ; P = Probabilité de mettre en évidence des différences significatives ; $P>\alpha = 0,05$; ns= différence non significative ; $P \leq \alpha = 0,05$; *= différence juste significative ; $P \leq \alpha = 0,01$; ** = différence hautement significative ; $P \leq \alpha = 0,001$; *** = différence très hautement significative.

1.2.3. Recherche de groupes de variétés homogènes par variable. Test de Tukey :

Les groupes des moyennes de variétés homogènes obtenus par le test de Tukey sont illustrés dans le tableau 6.

Les résultats soulignés correspondent à des moyennes ou à des groupes de moyennes de variétés qui ne pas sont significativement différents les unes des autres.

Les résultats de la comparaison des moyennes des variétés par le biais du test de Tukey, illustrés par le tableau 6, font ressortir 4 groupes de variétés homogènes pour la variable morphologique HTR et pour la composante du rendement PMG, 5 groupes de variétés homogènes se démarquent chez le NGE et, enfin, 6 groupes de variétés homogènes chez le NE/M². Mais le paramètre de rendement RDT n'enregistre aucune différence significative entre les différentes variétés de blé tendre. Ces variétés locales et introduites ont la même réponse du rendement durant la campagne 2009/2010.

Tableau 6 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2009/2010 : Résultats du test de Tukey.

Variables	Moyennes par variétés et groupes de moyennes	Nombre de groupes de variétés homogènes
HTR	V7 101,3 V1 101,0 V3 99,5 V8 95,8 V10 93,8 V5 91,5 V6 89,5 V4 87,3 V2 87,0 V9 81,0	4
NE/M²	V4 538,5 V9 411,3 V7 397,0 V5 391,5 V8 386,7 V6 379,8 V10 370,3 V2 337,2 V3 329,2 V1 303,8	6
NGE	V8 76,7 V3 73,3 V4 70,5 V1 67,5 V9 61,0 V6 60,8 V7 60,5 V2 59,0 V5 56,8 V10 55,7	5
PMG	V8 41,6 V9 39,4 V7 39,3 V4 38,0 V2 37,8 V6 37,5 V3 37,4 V1 37,1 V10 35,7 V5 33,4	4

1.3. Analyse statistique bivariée : Coefficients de Corrélations :

Les résultats du coefficient de corrélation de Pearson (avec la probabilité P), entre les variables agronomiques et les traits physiologiques étudiés, sont représentés respectivement en annexes 13 et 14. Les résultats des corrélations agronomiques révèlent des coefficients de corrélations positifs entre les dates d'épiaisons EPS et la hauteur de la plante HTR (r=0,537), plus la variété est tardive et plus la hauteur de la plante est élevé, ils montrent aussi des corrélations positives entre les paramètres du rendement PMG et NGE (r=0,582). Cependant, aucune corrélation n'est enregistrée entre les différents paramètres physiologiques étudiés.

1.4. Analyse statistique multivariée

1.4.1. Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) des paramètres agronomiques :

L'analyse en composante principale (ACP) est appliquée à la matrice des corrélations obtenues à partir des 6 variables centrées réduites, mesurées sur les 10 variétés de blé tendre, prises deux à deux.

Les calculs réalisés avec le logiciel Minitab donnent à chaque fois les variables des 6 axes principaux, dont seuls les premiers axes ayant chacun une valeur propre égale ou supérieure à l'unité, soit à la contribution moyenne des différentes variables.

Ces axes sont retenus à la distribution des individus (variétés) et des variables (caractéristiques agronomiques) dans les plans à deux dimensions.

Le tableau 7 illustre les valeurs propres, les pourcentages de variation expliquée par chacun des quatre axes retenus, ainsi que les pourcentages cumulés obtenus par l'ACP sur les données de la campagne 2009/2010. Le premier axe explique à lui seul 39,6% de la variation totale des variables initiales. Les deux premiers axes expliquent ensemble 66,4%.

Tableau 7 : Résultats de l'ACP des premiers axes, obtenus à partir de variables agronomiques chez les 10 variétés de blé tendre durant l'année 2009/2010.

Paramètres statistiques	**CP1**	**CP2**
Valeur propre	2,378	1,604
Pourcentage expliqué (%)	39,634	26,731
Pourcentage cumulé (%)	39,634	66,365

N.B : CP1 = Premier axe principal ; CP2 = Deuxième axe principal.

La figure 9 représente, d'une part, l'histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux et, d'autre part, le graphique du pourcentage cumulé de la variation expliquée en fonction toujours des axes principaux. Cependant, l'interprétation de ces composantes nécessite le calcul des corrélations entre chacune des composantes principales retenues avec chacune des 6 variables initiales. Ces corrélations sont utiles pour préciser la part de la variance, d'une variable initiale donnée, prise en compte par une composante principale particulière, elles sont utilisées pour les représentations graphiques des variables initiales dans les cercles de corrélations.

L'analyse des corrélations carrées illustrés sur le tableau 8 montre que l'axe 1 qui contient à lui seul 39,6% de l'information apportée par l'ensemble des variables initiales, est formé principalement par les variables EPS, HTR et RDT car elles présentent des valeurs de corrélations supérieures à 47%.

L'axe 2 qui ne contient que 26,7% de l'information est très fortement corrélé avec les variables NGE et PMG. Les corrélations carrées sont respectivement de 59,9% et 66,3%.

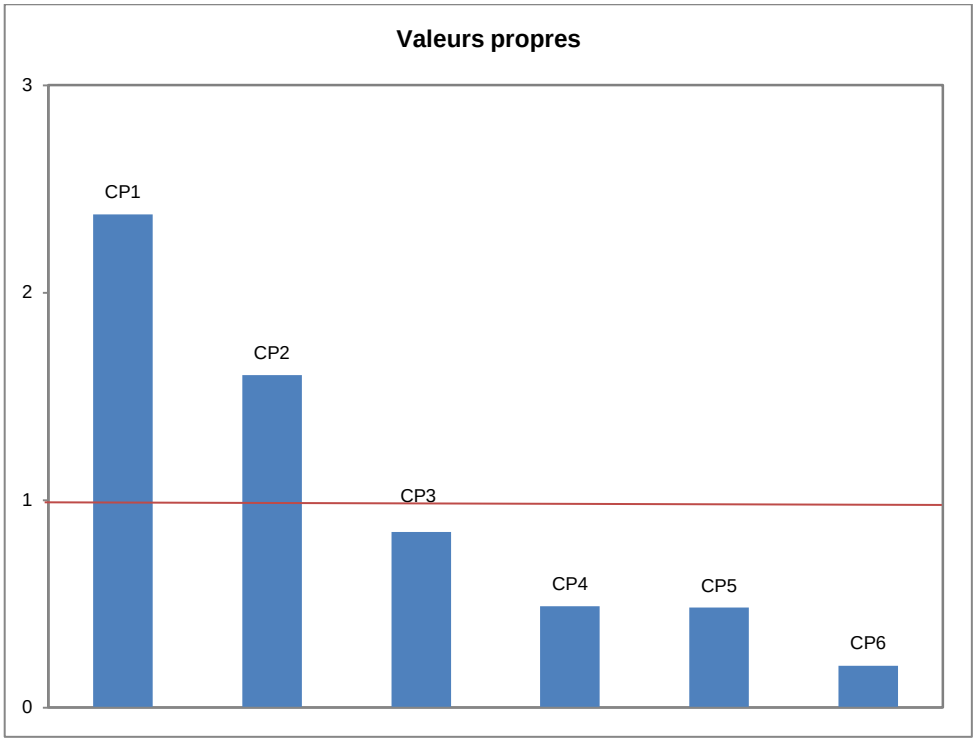


Figure 9 : Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux.

Tableau 8 : Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les 2 premières composantes principales et information sur le premier plan factoriel 1-2.

Variétés	Axes principaux				
	CP1		CP2		Plan 1-2 Factoriel
	Corr	Corr² (%)	Corr	Corr² (%)	Corr² (%)
EPS	0,812	65,9	- 0,126	01,6	67,5
HTR	0,775	60,1	- 0,154	02,4	62,5
NE/M²	-0,615	37,8	0,549	30,1	67,9
NGE	0,372	13,8	0,774	59,9	73,7
PMG	0,359	12,9	0,814	66,3	79,2
RDT	-0,687	47,2	0,030	0,1	47,3

- **Analyse du nuage de points variables et cercle de corrélation :** Les cercles de corrélations sont des graphiques visant à représenter géométriquement les variables

initiales dans le nouveau système de coordonnées. Ainsi, la représentation des 6 variables dans le plan formé par les axes 1 et 2, dite premier plan factoriel, est utile compte tenu de l'importance de ces deux axes dans la reconstitution des variables initiales (soit 66,4% de la variation totale).

- L'étude du plan factoriel 1-2 (figure 10) montre que les variables EPS, HTR, RDT, NGE et PMG sont proches du cercle de corrélation et sont donc bien représentées par le plan factoriel 1-2. Les valeurs de leur corrélation au carré sont élevées et varient d'ailleurs de 47,3% à 79,2%.

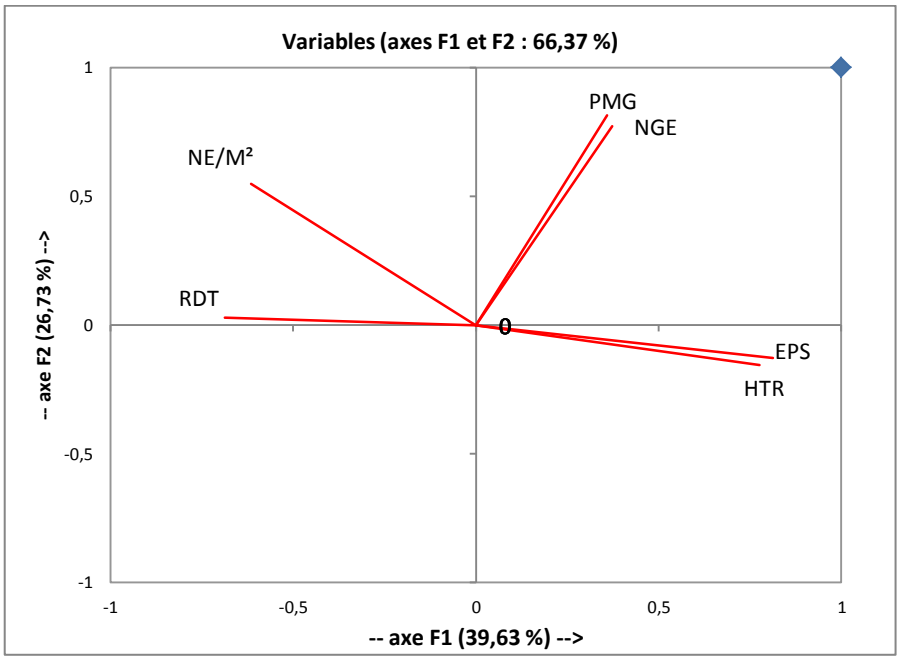


Figure 10 : Représentation graphique des 6 variables à l'intérieur du cercle de corrélation du plan factoriel 1-2, obtenu à partir des données de la campagne 2009/2010.

- **Analyse du nuage de points-variétés : graphique des individus :** Sachant que le premier plan factoriel 1-2 explique à lui seul un fort pourcentage de 66,4% de la variation totale, les variétés sont ainsi représentées dans ce plan (Figure 11).

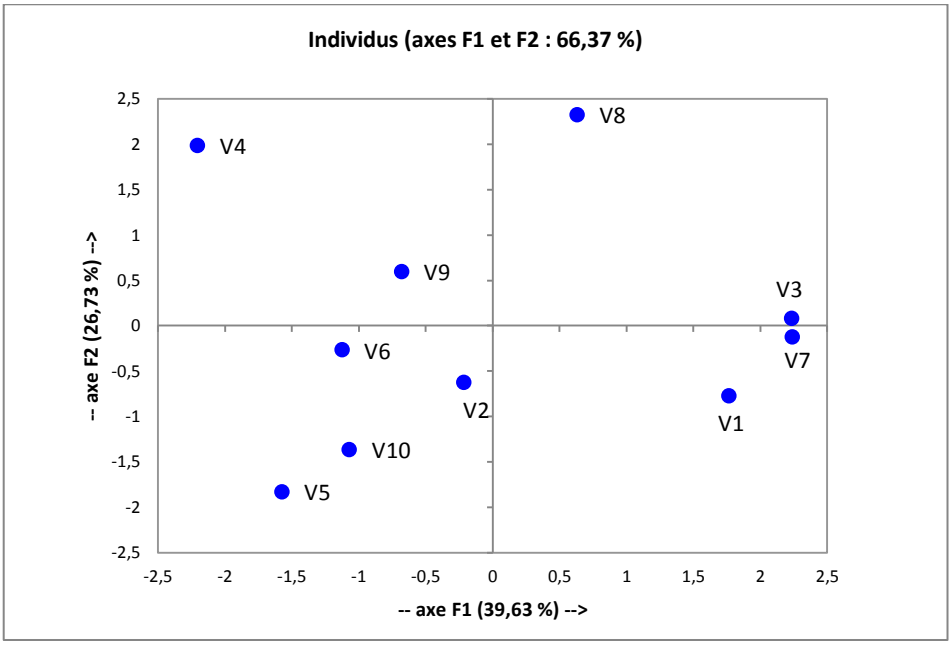


Figure 11 : Représentation graphique des points individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenu au cours de la campagne 2009-2010.

En effet, le cosinus carré apprécie la qualité du positionnement des points en représentation factorielle comparée à leur configuration réelle. Le cosinus carré égal à 1 ou 100% indique que le point se situe sur l'axe.

Tableau 9 : Valeurs des scores des deux premiers axes, valeurs des cosinus carrés correspondants en % et valeurs des cosinus carrés du premier plan factoriel 1-2.

Variétés	CP1		CP2		Plan factoriel 1-2
	Scores	Cos² (%)	Scores	Cos² (%)	Cos² (%)
V1	1,764	43,4	- 0,773	08,3	51,7
V2	-0,215	01,5	- 0,624	12,7	14,2
V3	2,236	71,9	0,082	00,1	72,0
V4	-2,204	47,6	- 1,832	51,1	86,3
V5	-1,574	37,7	- 1,832	51,1	88,8
V6	-1,126	66,5	- 0,268	03,8	70,3
V7	2,239	61,9	- 0,128	00,2	62,1
V8	0,630	05,3	2,328	73,0	75,3
V9	-0,681	09,7	0,598	07,5	17,2
V10	-1,071	29,8	- 1,369	48,8	78,6

Le tableau 9 donne, pour chacun des deux premiers axes, les valeurs (scores), les cosinus carrés correspondants en % et pour le plan factoriel 1-2 la somme des cosinus carrés de ces deux premiers axes.

A partir du tableau 9, il semblerait qu'il existe 7 variétés (individus) qui sont bien représentés dans le plan factoriel 1-2 (figure 11). Ces variétés sont V3, V4, V5, V6, V7, V8 et V10. Elles ont des valeurs de cos² variant de 62,1 à 88,8%.

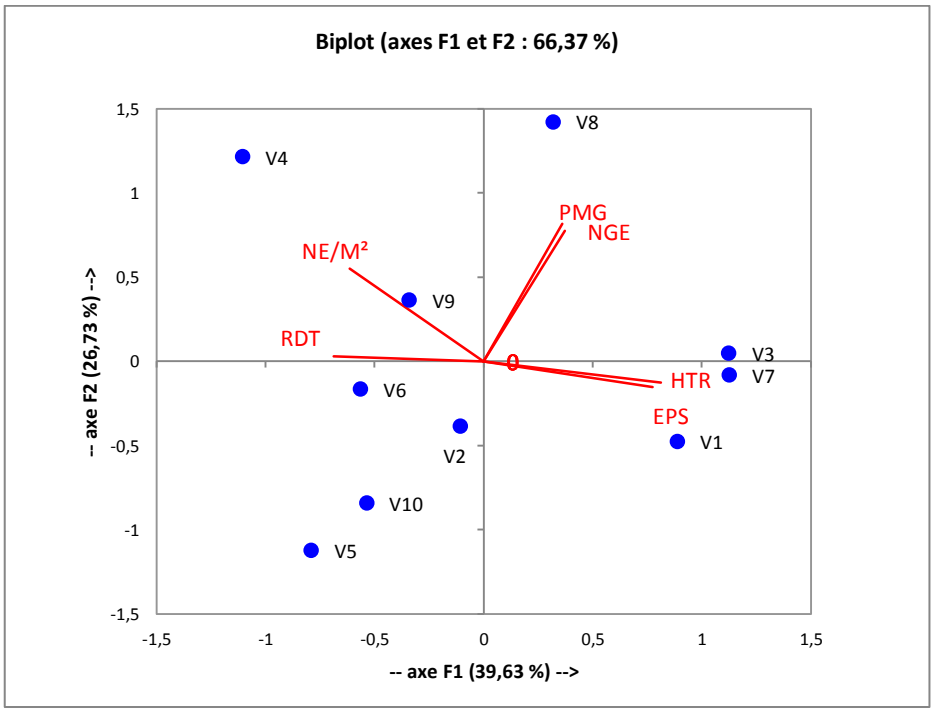


Figure 12 : Représentation graphique des variables et des individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenu au cours de la campagne 2009-2010.

- **Représentation graphique des variables et des individus :** Cette représentation illustre la disposition des variétés par rapport aux paramètres étudiés (Figure 12). A cet effet, l'axe 1 serait l'axe relatif au « stade phénologique EPS et morphologique HTR » et l'axe 2 serait l'axe relatif « au composantes du rendement PMG et NGE».
  Ainsi, les variétés Ain Abid (V1), Hidhab (V3) et Angi-4 (V7) sont corrélées aux variables morphologiques (HTR) et phénologiques (EPS) sur l'axe 1 de la représentation, donc elles présentent un chaume élevé et un cycle de développement plus long formant le premier groupe (G1). Elles sont dès lors plus tardives que les autres variétés étudiées. Zoghmar (2007) confirme que la variété Ain Abid a une date d'épiaison longue et un rendement très faible. Contrairement, la variété Hamam 1 (V4)

présente un chaume assez court et est plus précoce que les autres cultivars et compose le second groupe (G2) avec Attila (V9). Elles présentent le rendement RDT et le paramètre de rendement NE/M^2 les plus élevés (Figure 12). De même Cham 6 (V8) est fortement corrélée aux autres paramètres du rendement, à savoir PMG et NGE sur l'axe 2 de la représentation graphique. Cette variété présente ces deux paramètres de rendement les plus élevés et forment le troisième groupe (G3) de l'ACP.

1.4.2. Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) des traits physiologiques chez les variétés de blé tendre stressées :

Le tableau 10 donne les valeurs propres, les pourcentages de variation expliqués par chacun des trois axes retenus, ainsi que les pourcentages cumulés obtenus par l'ACP sur les données physiologiques.

Tableau 10 : Résultats de l'ACP des premiers axes, obtenus à partir de variables physiologiques chez les 10 variétés de blé tendre stressées durant l'année 2009/2010.

Paramètres statistiques	CP1	CP2	CP3
Valeur propre	1,938	1,667	1,086
Pourcentage expliqué %	32,292	27,788	18,092
Pourcentage cumulé %	32,292	60,080	78,171

La figure 13 illustre l'histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux.

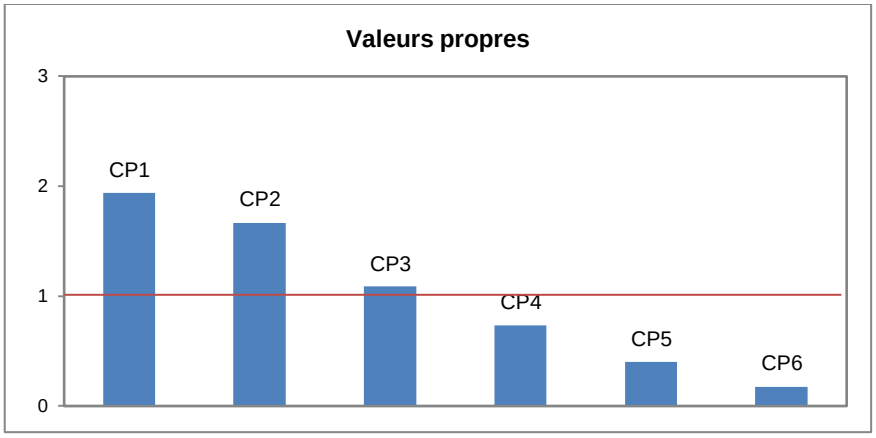


Figure 13 : Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux des traits physiologiques chez les variétés stressées.

D'autre part, l'analyse des corrélations carrées du tableau 11 fait ressortir les corrélations les plus élevées avec l'axe 1 des variables Prol et Chl (a+b) de l'ordre de 59,1% et 58,3 respectivement. L'axe 2 est très fortement corrélé avec uniquement la variable Chl a/b ($corr^2$=55%), alors que l'axe 3 n'est corrélé qu'avec les Sucres solubles ($corr^2$=49,9%).

Tableau 11: Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les 2 premières composantes principales et information sur le premier plan factoriel 1-2.

Variables	Axes principaux						
	CP1		CP2		CP3		Plan 1-2 Factoriel
	Corr	$Corr^2$(%)	Corr	$Corr^2$(%)	Corr	$Corr^2$(%)	$Corr^2$(%)
Proline	0,769	59,1	0,137	01,9	- 0,400	16,0	61,0
Sucre	0,171	02,9	0,495	24,5	0,706	49,9	27,4
TRE	-0,420	17,7	0,588	34,6	-0,619	38,3	52,3
Surf. Fol	-0,589	34,7	0,693	48,1	0,171	02,9	82,8
Chl (a+b)	0,764	58,3	0,164	02,7	0,086	0,07	61,0
Chl a/b	0,459	21,1	0,741	55,0	-0,085	0,07	76,1

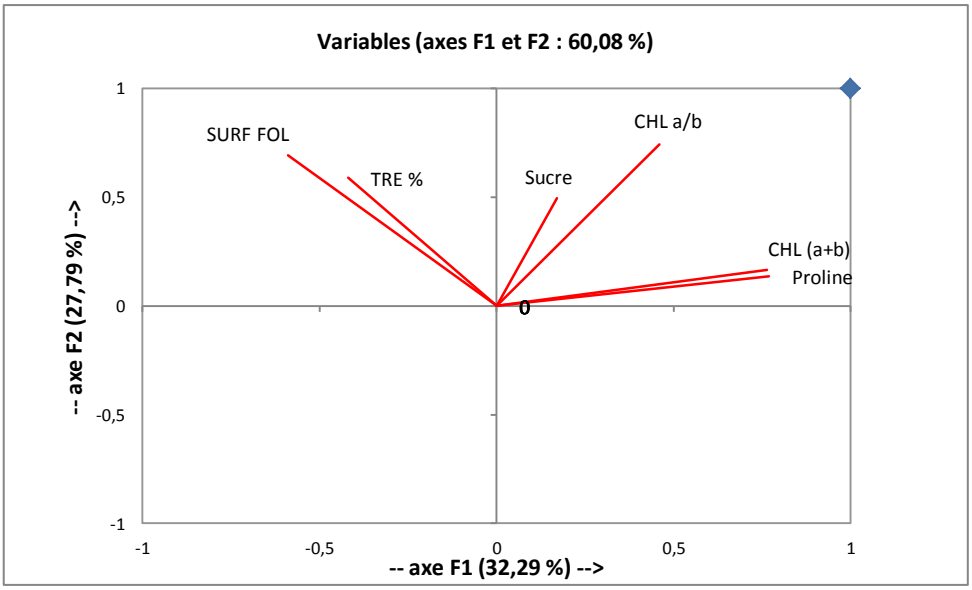


Figure 14 : Représentation graphique des 6 variables physiologiques à l'intérieur du cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 obtenu à partir des données des variétés de blé tendre stressées.

- **Analyse du nuage de points variables et cercle de corrélation :** L'examen du plan factoriel 1-2 montre que les caractéristiques physiologiques (Proline, Chl (a+b), Chl a/b, TRE et SF) sont proches du cercle de corrélation et présentent des valeurs de corr² élevées, allant de 52,3 à 82,8%. Ces variables sont très bien représentées sur le premier plan (figure 14). D'autre part, les variables Chl (a+b) et Proline présentent deux longs vecteurs, voisins l'un de l'autre et indiquant une forte corrélation entre ces deux variables.

- **L'analyse du nuage de points-variétés : graphique des individus :** La figure 15 représente graphiquement les 10 variétés stressées de blé tendre dans le plan factoriel 1-2 à l'aide des valeurs du cos² des deux axes 1 et 2 du tableau 12.

- A partir de cette figure, il semble que les variétés stressées VS1, VS2, VS3, VS4, VS6 et VS8 sont bien représentées par le plan engendré par les axes 1 et 2. Ces variétés ont d'ailleurs des valeurs de cos² dans le plan très élevées allant de 50,8% à 94,8%.

- Par contre les autres variétés stressées sont proches de l'origine et ont des valeurs cosinus carré faible variant de 12,3% à 42%. Ces variétés sont très mal ou très peu prises en compte par les axes 1 et 2.

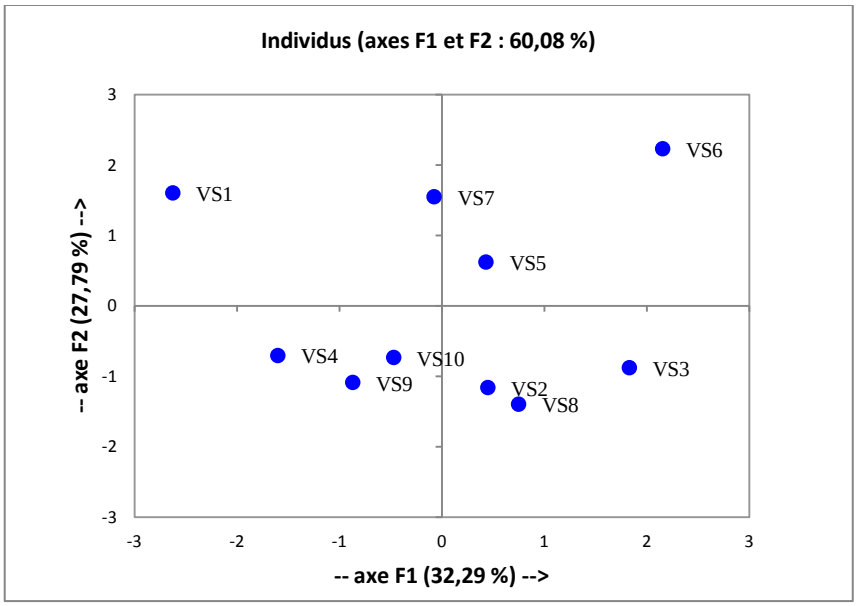


Figure 15 : Représentation graphique des points individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenus chez les variétés stressées (VS).

- **Représentation graphique des variables et des individus :** Cette représentation illustre la disposition des variétés par rapport aux paramètres étudiés (Figure 16). Deux groupes homogènes sont obtenus par l'ACP. L'axe 1 serait l'axe relatif à «la teneur d'osmoticum la proline» et l'axe 2 serait l'axe relatif à « la teneur de la chlorophylle a/b».

  Les résultats montrent que lors d'un stress hydrique à 40% C.C., le taux d'accumulation de la proline et des sucres solubles est plus important chez les variétés stressées que chez les témoins pour toutes les variétés étudiées (Annexe 6). Cette accumulation en proline est remarquablement plus accentuée chez les variétés introduites Milan/S87230/Babax (V6) et 5119 (V5), elles présentent également les teneurs en Chlorophylle totale Chl (a + b) et en Chl a/ Chl b les plus importantes et composent les premier groupe (G1) de l'axe 1. Contrairement, la variété locale stressée Ain Abid (V1) présente les teneurs en prolines les plus faibles. Les résultats de l'analyse statistique montrent que les teneurs en Chlorophylle totale Chl (a + b) sont réduites significativement ($p<0.0001$) par le déficit hydrique par rapport aux variétés témoins (100% C.C.). Les taux les plus faibles sont notés chez Ain Abid (V1), chez Cham6 (V8), Attila (V9) et Attila/Pastor (V10) pour un niveau de stress de 40% de la C.C (Annexe 6). Ces dernières variétés sont les plus sensibles aux contraintes hydriques imposées.

  A l'opposé la TRE et la SF sont corrélées avec les variétés Ain Abid (V1) et Angi-4 (V7) formant ainsi le second groupe (G2). Il est à noter que la TRE est plus élevée chez l'ensemble des variétés témoins (irriguées à 100% de la C.C), par rapport aux variétés stressées (Annexe 6). Selon les résultats, les variétés les moins affectées par la contrainte hydrique est Ain Abid (V1) et Angi-4 (V7). Elles enregistrent les teneurs en TRE les plus élevées par rapport aux autres cultivars. Selon l'annexe 6, la variété Hidhab (V3) semble présenter la surface foliaire la plus atteinte par le stress hydrique contrairement à Ain Abid (V1).

Tableau 12 : Valeurs des scores des trois premiers axes, valeurs des cosinus carrées correspondants en % et valeurs des cosinus carrés du premier plan factoriel 1-2.

Variétés	CP1		CP2		CP3		Plan 1-2 Factoriel
	Scores	Cos²(%)	Scores	Cos² (%)	Scores	Cos² (%)	Cos² (%)
VS1	-2,622	65,0	1,601	24,2	-0,180	00,3	89,2
VS2	0,451	52,0	-1,167	35,1	0,408	04,3	87,1
VS3	1,832	65,9	-0,884	15,4	0,456	04,1	81,3
VS4	-1,599	73,6	-0,708	14,4	-0,299	02,6	88,0
VS5	0,436	05,3	0,619	10,7	-0,617	10,6	16,0
VS6	2,156	45,8	2,230	49,0	-0,213	00,4	94,8
VS7	-0,071	00,1	1,547	41,9	1,092	20,9	42,0
VS8	0,752	11,4	-1,400	39,4	-0,541	05,9	50,8
VS9	-0,869	12,0	-1,096	19,1	2,002	63,6	31,1
VS10	-0,465	03,5	-0,742	08,8	-2,107	71,1	12,3

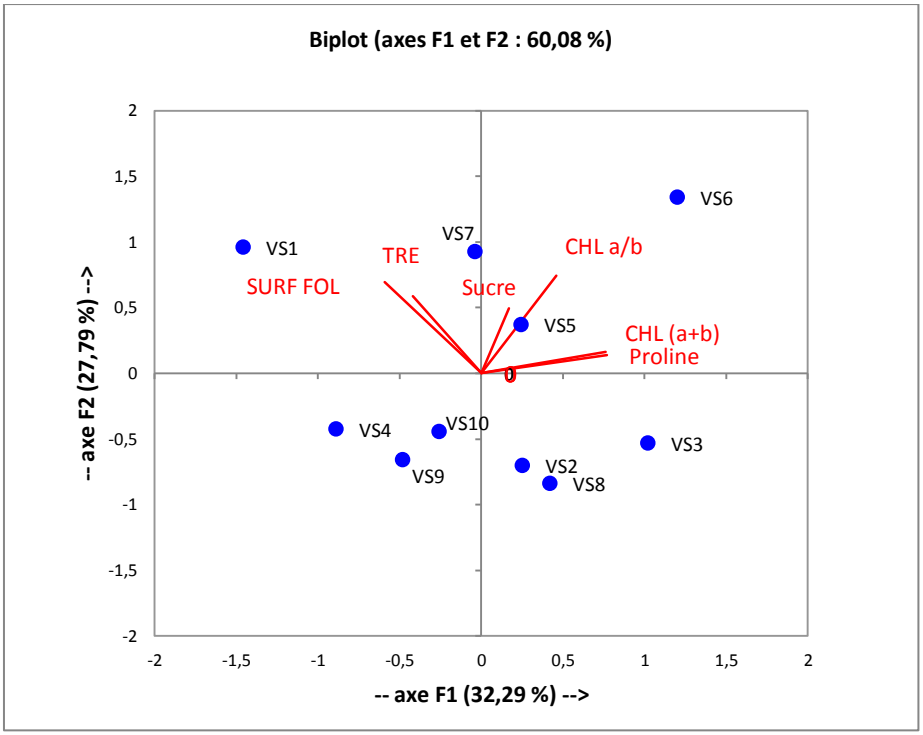


Figure 16 : Représentation graphique des variables et des individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, chez les variétés de blé tendre stressées.

2. Expérimentation 2

Détermination et évaluation du rendement et de ses composants (Essais au champ), de la composition biochimique et de la qualité technologique des graines de blé tendre sur trois sites : Sétif, Constantine et Guelma.

Les résultats agronomiques sont traités au cours de deux années consécutives 2010-2011 et 2011- 2012 sur trois zones à divers étages bioclimatiques (Sétif, Constantine et Guelma). Les données biochimiques et rhéologiques sont traitées sur les trois sites mais seulement au cours de l'année 2011-2012.

L'exploitation des données débute par leur description, suivie de l'exposé des résultats des analyses univariées, soit les résultats du test *t* de Student et de l'analyse de la variance suivie du test de Tukey. Les résultats des méthodes statistiques bivariées à savoir les corrélations entre variables et, enfin, l'analyse de la variance multivariée, l'analyse en composante principale (ACP) et l'analyse hiérarchique.

2.1. Résultats agronomique au cours des campagnes 2010-2011 et 2011-2012 sur le site de Sétif

2.1.1. Description des données

Les tableaux 15 et 16 figurés en annexe présentent la moyenne avec l'écart-type calculés pour chacune des variables agronomiques au cours des campagnes agricoles 2010-2011 et 2011-2012, respectivement sur 10 variétés de blé tendre. Ces résultats permettent d'observer la variation de la moyenne des variables agronomiques pour les différentes variétés étudiées. Les moyennes par variable sont comparées entre elles, d'une part pour les 10 variétés à l'aide du test de l'analyse de la variance et, d'autre part, entre les deux années à l'aide du test de Student et enfin du test de Tukey,

2.1.2. Résultats des analyses statistiques univariées

- **Comparaisons, entre années, des moyennes de chaque variable pour chaque variété de blé tendre, Résultat du test t de Student :** Le tableau 13 synthétise les résultats contenus dans les tableaux des annexes 17 à 21, présentés et relatifs à la comparaison, entre les deux années, des valeurs moyennes de chacune des 6 variables pour chaque variété de blé tendre. Ils sont obtenus à l'aide du test *t* de Student pour échantillons indépendants.

Pour chaque variable agronomique il existe certaines variétés qui présentent des différences significatives à très hautement significatives entre les deux années. C'est le cas de la variété locale V11 (Ain Abid) et des lignées introduites V16 (Wbll1*2/Brambling) V17 (Thelin//2*Attila*2/Pastor), V18 (Kauz/Pastor/Fiscal), V19 (Prl/2*Pastor) et V20 (Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna) pour les paramètres HTR et NGE, alors que pour d'autres variétés on n'observe aucune différence significative.

Donc, en général il existe une variation temporelle pour certaines caractéristiques de certaines variétés et elle n'existe pas pour d'autres variétés et ceci quelle que soit la caractéristique prise en considération et quelle que soit la variété étudiée.

- **Comparaison entre les variétés, des valeurs moyennes de chacune des variables pour chacune des deux années. Résultats du test de la variance :** La comparaison entre les 10 variétés de blé tendre, des valeurs moyennes de chacune des variables étudiées est effectué à l'aide du test statistique sont synthétisés dans le tableau 14 pour l'année 2010-2011 et dans le tableau 15 pour l'année 2011-2012.

Tableau 13 : Résultats du test de Student de la Comparaison entre deux années des moyennes de chacune des 5 variables pour chacune des 10 de blé tendre, pour le site de Sétif.

Variables	**N.S**	**S**	**H.S**	**T.H.S**
HTR	V13-V14	V12-V17-V19	V15	V11-V16 –V18-V20
NE/M^2	V11-V13-V16-V17-V18-V19-V20	V12-V15		
NGE	V13-V14-V15-V20			V11-V12-V16-V17-V18-V19
PMG	V13-V14-V15	V11-V12-V16-V18-V19		V17-V20
RDT	V13-V14-V15-V20	V12-V18	V11-V16-V17-V19	

N.S = des différences non significatives entre variétés témoins et stressées pour la variable étudiée ; **S =** des différences significatives entre variétés témoins et stressées pour la variable étudiée ; **H.S** = des différences hautement significatives entre variétés témoins et stressées pour la variable étudiée ; **T.H.S =** des différences très hautement significatives entre variétés témoins et stressées pour la variable étudiée.

Tableau 14 : Comparaison entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques étudiées, pour l'année expérimentale 2010/2011 à Sétif. Résultats du test d'analyse de la variance.

Variables	DDL	SCE	CM	Fobs	P
EPS	9	385,600	42,844	N.S	N.S
HTR	9	2664,67	296,07	142,69	0,000***
NE/M²	9	305642	33960	2,72	0,021*
NGE	9	15230,7	1692,3	11,19	0,000***
PMG	9	1248,59	138,73	5,31	0,000***
RDT	9	1298,84	144,32	7,22	0,000***

Tableau 15 : Comparaison entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques étudiées, pour l'année expérimentale 2011/2012 à Sétif. Résultats du test d'analyse de la variance.

Variables	DDL	SCE	CM	Fobs	P
EPS	9	127,525	14,169	24,643	0,000***
HTR	9	841,867	93,541	1,40	$0,236^{NS}$
NE/M²	9	400895	44544	0,96	$0,491^{NS}$
NGE	9	1921,867	213,841	6,92	0,000***
PMG	9	198,619	22,069	5,15	0,000***
RDT	9	269,768	29,974	3,35	0,007**

ddl = degrés de liberté ; SCE = somme des carrés des écarts ; CM = Carré moyen ; Fobs = Valeur observée de F de Fisher ; P = Probabilité de mettre en évidence des différences significatives ; $P > \alpha = 0,05$: (ns) différence non significative ; $P \leq \alpha = 0,05$ (*) différence juste significative ; $P \leq \alpha = 0,01$ (**) différence hautement significative ; $P \leq \alpha = 0,001$ (***) différence très hautement significative.

- L'analyse des résultats des tableaux présentés ci-dessus (tableaux 14 et 15), montre qu'il existe des différences très hautement significatives entre les 10 variétés de blé tendre pour chacune des 6 caractéristiques étudiées, exceptées les moyennes de la date d'épiaison EPS pour l'année 2010-2011 et les moyennes des paramètres morphologiques HTR et la composante du rendement NE/M² pour les données de l'année 2011-2012, qui ne présentent pas de différences significatives entre les 10 variétés.

- **Recherche de groupes de variétés homogènes par variable. Test de Tukey :** Les groupes des moyennes de variétés homogènes obtenus par le test de Tukey sont illustrés dans les tableaux 16 et 17.

  Les résultats soulignés correspondent à des moyennes ou à des groupes de moyennes de variétés qui ne pas sont significativement différents les unes des autres.

  Les résultats de la comparaison des moyennes des variétés par le biais du test de Tukey illustrés par le tableau 16, font ressortir 5 groupes de variétés homogènes pour la variable morphologique HTR 4 groupes de variétés homogènes pour le RDT et 4 groupes pour la composante du rendement PMG et le NGE, mais seulement 2 groupes de variétés homogènes se démarquent chez le NE/M² .

Tableau 16: Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2010/2011 à Sétif : Résultats du test de Tukey.

Variables	Moyennes par variétés et groupes de moyennes	Nombre de groupes de variétés homogènes
HTR	V11 95,5 / V17 93,0 / V16 92,8 / V14 91,8 / V13 89,8 / V20 86,5 / V15 85,5 / V18 84,8 / V19 82,5 / V12 80,8	5
NE/M²	V17 534,9 / V20 459,3 / V14 450 / V18 428,5 / V13 419 / V19 402 / V11 395,6 / V12 385 / V15 364 / V16 352,8	2
NGE	V11 63,3 / V19 58,5 / V18 42,8 / V12 41,8 / V15 38,0 / V17 35,8 / V14 34,8 / V20 33,7 / V16 28,8 / V13 27,2	3
PMG	V17 47,7 / V19 43,5 / V18 40,8 / V12 37,8 / V11 37,6 / V13 33,0 / V14 32,9 / V15 32,5 / V20 30,9 / V16 29,8	3
RDT	V19 46,2 / V11 45,7 / V17 45,2 / V18 44,0 / V12 42,1 / V13 39,2 / V15 37,6 / V14 34,0 / V20 31,2 / V16 30,5	4

Mais aucune différence significative n'est enregistrée pour le paramètre phénologique de la date d'épiaison EPS entre les différentes variétés de blé tendre durant l'année 2010-2011.

Les résultats de la comparaison des moyennes des variétés par le biais du test de Tukey illustrés par le tableau 17, font ressortir 2 groupes de variétés homogènes pour les paramètres du rendement PMG, RDT et du paramètre phénologique EPS mais aucune différence significative n'est enregistrée chez le NE/M² et la hauteur du chaume HTR durant l'année 2011-2012.

Tableau 17 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2011/2012 à Sétif : Résultats du test de Tukey.

Variables	Moyennes par variétés et groupes de moyennes	Nombre de groupes de variétés homogènes
EPS	V14 V13 V11 V18 V19 V12 V20 V17 V15 V16 134 134 134 131 130,3 130,3 130,2 130 130 129,5	2
NGE	V16 V15 V20 V11 V14 V13 V12 V18 V17 V19 38,3 36,0 33,3 33,1 29,7 29,7 28,2 27,5 26,3 25,8	3
PMG	V13 V16 V15 V20 V19 V14 V12 V11 V18 V17 34,2 34,1 33,7 30,9 30,6 30,4 30,2 30 28 27,7	2
RDT	V13 V15 V14 V18 V16 V11 V12 V20 V17 V19 41,4 36,0 35,2 35,1 34,8 34,0 33,9 32,6 32,0 30,5	2

2.1.3. Analyse statistique bivariée : Coefficients de Corrélations :

Les résultats du coefficient de corrélation de Pearson (avec la probabilité P), entre variables agronomiques au cours des deux années successives 2010-2011 et 2011-2012, sont présentés en annexes 21 et 22. Les résultats des corrélations agronomiques révèlent de fortes corrélations entre le rendement RDT et NGE (r=0,700) et le RDT et PMG (r=0,862) sur la première année agricole et des corrélations négatives entre NGE et NE/M² (r=-0,679) et positive entre NGE et PMG (r=0,686) durant la seconde campagne agricole. Sur les deux années, l'annexe 23 montre une seule corrélation importante entre les paramètres du rendement, à savoir PMG et RDT (r=0,703).

2.1.4. Analyse statistique multivariée

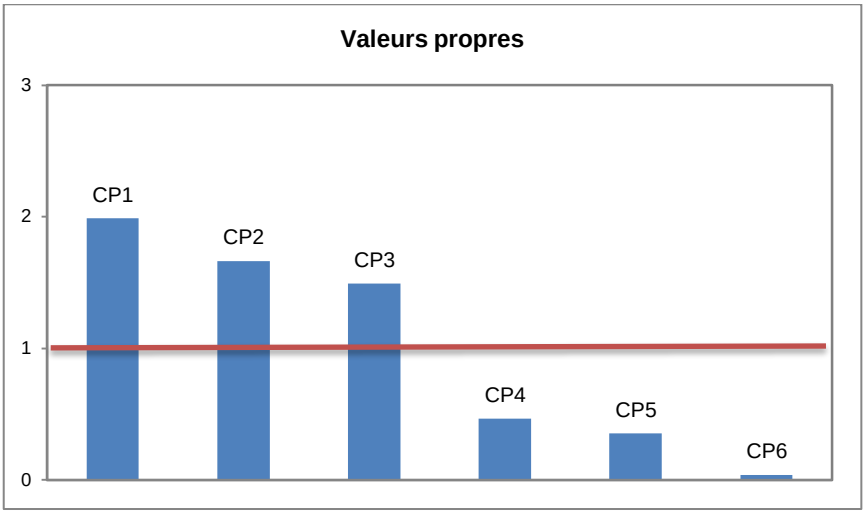
- **Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) des paramètres agronomiques :** L'analyse en composante principale (ACP) est appliquée à la matrice des corrélations obtenues à partir des 6 variables centrées réduites, mesurées sur les 10 variétés de blé tendre, prises deux à deux. Cette méthode est appliquée sur la matrice des moyennes des données des deux années. Les valeurs propres, les pourcentages de variation, expliqués par chacun des quatre axes retenus et les pourcentages cumulés, sont donné par le tableau 18. Le premier axe explique à lui seul 33 % de la variation totale des variations initiales, les deux premiers axes expliquent ensemble 60,85% et, enfin, les trois premiers expliquent 85,7%. Donc ces trois axes ou indices synthétiques résument au mieux l'information apportée par les 6 variables agronomiques initiales.

Tableau 18 : Résultats de l'ACP des trois premiers axes, obtenus pour l'ensemble des deux années à partir des 6 variables mesurés sur les 10 variétés de blé tendre du site de Sétif

Paramètres statistiques	CP1	CP2	CP3
Valeur propre	1,987	1,664	1,491
Pourcentage expliquées (%)	33,124	27,733	24,844
Pourcentage cumulé (%)	33,124	60,858	85,702

CP1 = Premier axe principal ; CP2 = Deuxième axe principal ; CP3 = Troisième axe principal ;

La figure 17 montre l'importance décroissante des différentes composantes principales. La détermination de la part de l'information contenue dans une composante quelconque et relative à une variable initiale quelconque est donnée par le carré du coefficient de corrélation calculé entre les variables en question.



.

Figure 17 : Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des deux années du site Sétif.

Tableau 19: Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les 3 premières composantes principales et information sur le premier plan factoriel 1-2 pour l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Sétif.

Variables	Axes principaux						
	CP1		CP2		CP3		Plan 1-2 Factoriel
	Corr	Corr²(%)	Corr	Corr²(%)	Corr	Corr²(%)	Corr²(%)
EPS	0,167	02,8	0,095	00,9	0,917	84,0	03,7
HTR	-0,031	00,1	-0,585	34,2	0,661	43,7	34,3
NE/M²	0,536	28,8	-0,732	53,6	-0,185	03,4	82,4
NGE	0,212	04,5	0,853	72,8	0,120	01,4	77,3
PMG	0,929	86,3	-0,014	0,00	-0,310	09,6	86,3
RDT	0,874	76,3	0,219	04,8	0,262	06,9	81,1

Sur le site de Sétif, les corrélations entre les variables initiales et les trois premières composantes retenues, ainsi que les corrélations carrées correspondantes, sont reprises par le tableau 19. Les résultats illustrent que le premier axe qui contient à lui seul 33% de l'information apportée par l'ensemble des variables initiales, est constitué essentiellement par les variables PMG et RDT car la proportion de la variance prise en

considération par l'axe 1 pour chacune de ces 2 variables initiales est de façon générale supérieure à 76%. Tandis que l'axe 2 qui contient 27,7% de l'information est formée par les variables NE/M² et NGE et la proportion de chacune est supérieure à 53%. Quant à l'axe 3 qui explique 24,8% de l'information totale, il est constitué par les variables EPS et HTR qui ont chacune une proportion supérieure à 43%.

- **Analyse du nuage de points variables, cercle de corrélation :** L'examen du plan factoriel 1-2 montre que toutes les variables sont proches du cercle de corrélation et sont par conséquent bien représentées. A cet effet, les corrélations carrées varient de 3,7% à 86,3%. (Figure 18).

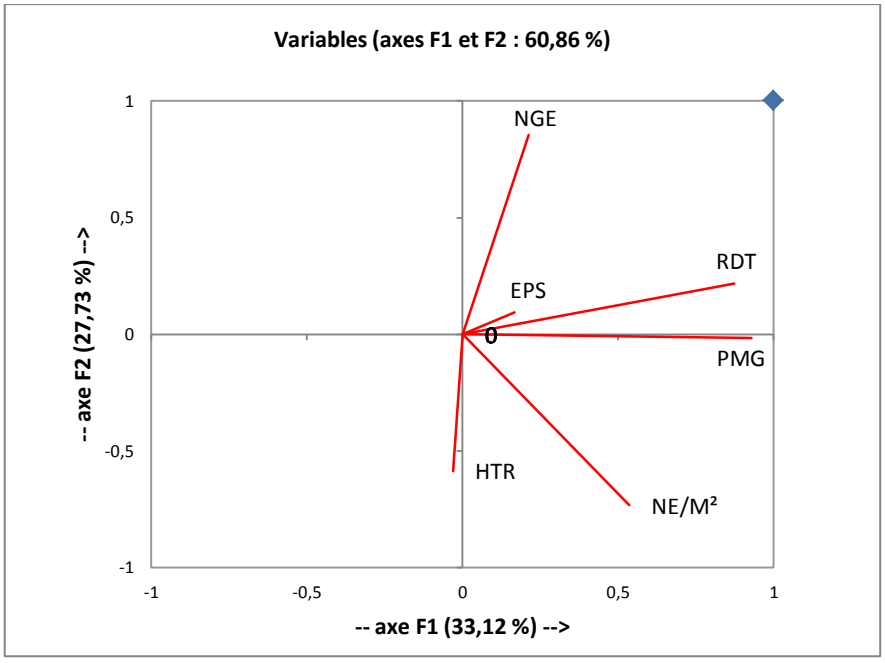


Figure 18 : Représentation graphique des 6 variables physiologiques à l'intérieur du cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 obtenu à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Sétif.

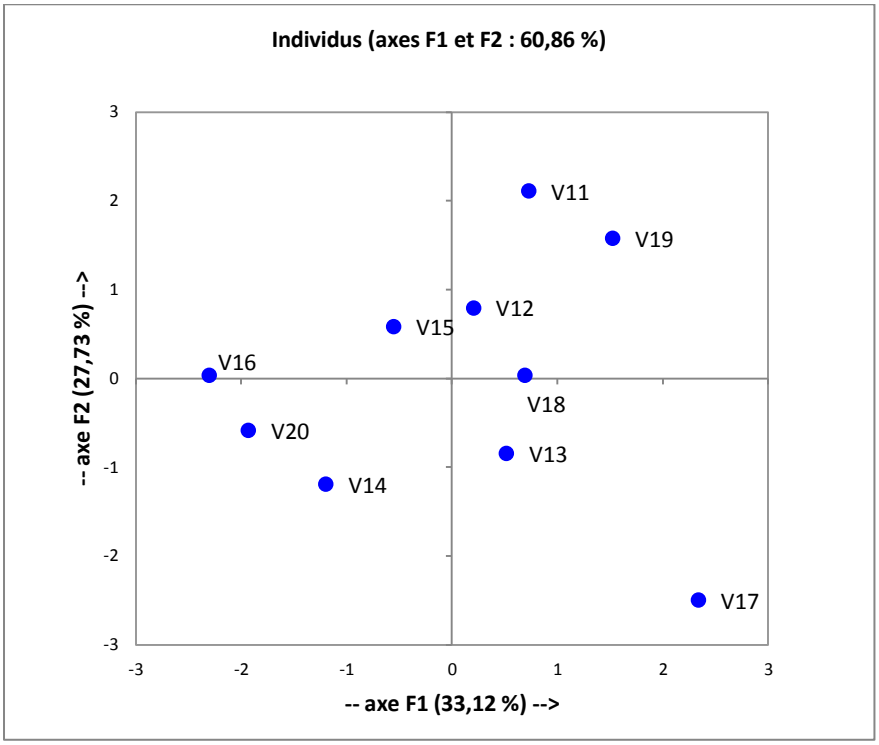


Figure 19 : Représentation graphique des points individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Sétif.

- **L'analyse du nuage de points-variétés, graphique des individus :** Sachant que le premier plan factoriel 1-2 explique à lui seul un fort pourcentage de 60,85% de l'inertie totale, il est naturel de représenter graphiquement les variétés dans le plan. Les coordonnées de chaque point-variété sont les valeurs de l'axe 1 et de l'axe 2 (figure 19).

  Le tableau 20 donne pour chacun des trois premiers axes, les valeurs (scores), les cosinus carrés correspondants en % et pour le plan factoriel 1-2 la somme des cosinus carrés des deux premiers axes.

  A partir du tableau 20 il ressort que 6 variétés sont bien représentées dans le plan factoriel 1-2 (figure 19). Ces variétés sont V14, V15, V16, V17, V19 et V20, elles ont des valeurs de cos^2 variant de 56,8% à 93,7%.

  Par contre, les autres variétés sont proches de l'origine et ont des valeurs du cosinus carré faibles variant entre 17,9% et 43,5%. Ces variétés sont par conséquent très peu prises en compte par les axes 1-2.

Tableau 20 : Valeurs des scores des trois premiers axes, valeurs des cosinus carrées correspondants en % et valeurs des cosinus carrés du premier plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Sétif.

Variétés	CP1		CP2		CP3		Plan 1-2 Factoriel
	Scores	Cos² (%)	Scores	Cos² (%)	Scores	Cos² (%)	Cos² (%)
V11	0,726	04,6	2,108	38,9	2,389	50,0	43,5
V12	0,202	01,6	0,793	23,9	-0,705	18,9	25,5
V13	0,516	04,9	-0,845	13,0	1,608	47,1	17,9
V14	-1,196	36,3	-1,194	36,1	0,975	24,1	72,4
V15	-0,556	36,8	0,584	40,7	-0,178	03,8	77,5
V16	-2,307	68,1	0,033	00,0	-1,038	13,8	68,1
V17	2,335	43,7	-2,500	50,0	-0,416	01,4	93,7
V18	0,688	38,1	0,029	00,1	-0,515	21,3	38,2
V19	1,523	27,4	1,578	29,4	-1,887	42,1	56,8
V20	-1,932	65,8	-0,586	06,1	-0,233	01,0	71,9

- **Représentation graphique des variables et des individus :** Cette représentation illustre la disposition des variétés par rapport aux paramètres étudiés (Figure 20). Le plan 1,2 est retenu car il rend compte d'un maximum d'informations sur les corrélations existantes entre la distribution des variables et les variétés. L'axe 1 est représenté par le rendement RDT et le PMG dans la mesure que ces derniers présentent les plus fortes contributions. L'axe 2 est représenté par le NGE. A cet effet l'axe 1 serait l'axe relatif « au paramètre du rendement RDT et des composantes du rendement PMG » et l'axe 2 « au paramètre des composantes du rendement NGE». A cet effet, deux groupes homogènes se déterminent par l'ACP. Le premier groupe (G1) est composé des variétés locales Ain Abid (V11), Arz (V12) et de la lignée introduite Prl/2*Pastor (V19) corrélées aux poids de mille grains PMG le NGE et les rendements RDT qui sont les plus élevés par rapport aux autres cultivars. Le second groupe (G2) est situé sur le même axe de cercle des corrélations. Il se caractérise par la hauteur HTR et le NE/M^2 et regroupe la variété Hidhab (V13) et par les lignées

introduites Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) et Kauz/Pastor/Fiscal (V18). La variété locale Hidhab (V13) fourni le nombre de grains par épi NGE le plus faible, comparativement à la variété Ain Abid (V11) la plus tardive qui possède la faculté de produire le nombre de grains par épi le plus important lors des deux années sur le site de Sétif.

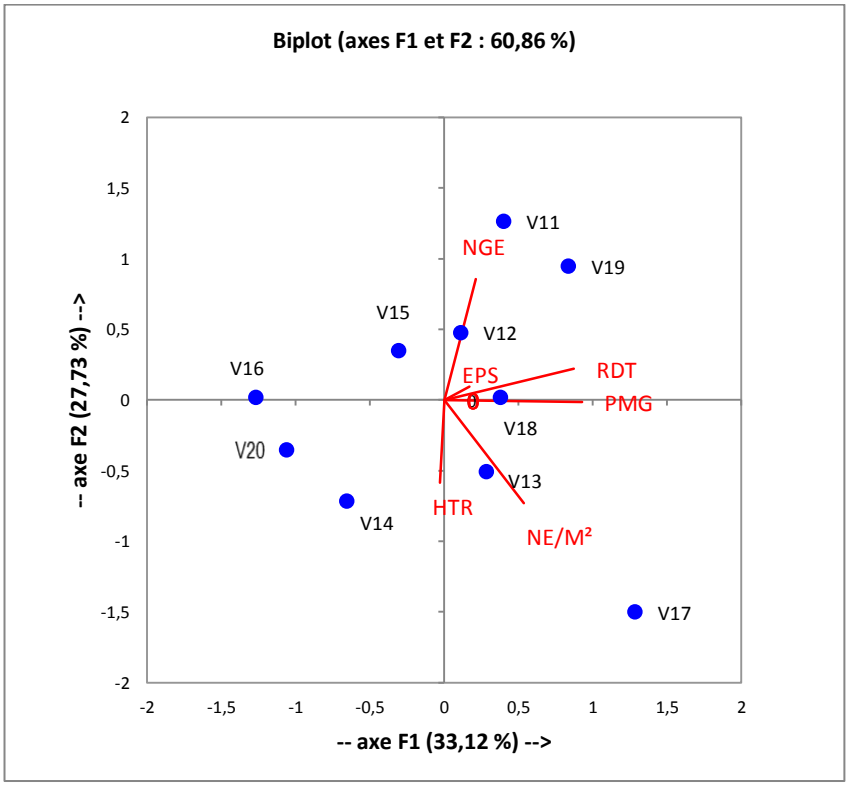


Figure 20 : Représentation graphique des variables et des individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Sétif.

- **Analyse hiérarchique des paramètres agronomiques :** L'utilisation des méthodes de classification numérique, en complément de l'analyse de la variance, est peu courante (Dagnélie, 2006). Ces méthodes de regroupement des moyennes sont très nombreuses et très diversifiées.

  Sur le site de Sétif, le regroupement des 10 variétés de blé tendre est effectué en fonction des moyennes de données de l'ensemble des deux années des 6 variables étudiées. Ce regroupement, au moyen d'un dendrogramme obtenu à l'aide de la méthode du lien simple et de la distance carrée de Pearson pour un niveau de similarité

de 80%, est largement acceptable par l'étude. II permet de distinguer 10 groupes homogènes de variétés de blé tendre, représentées par la figure 21.

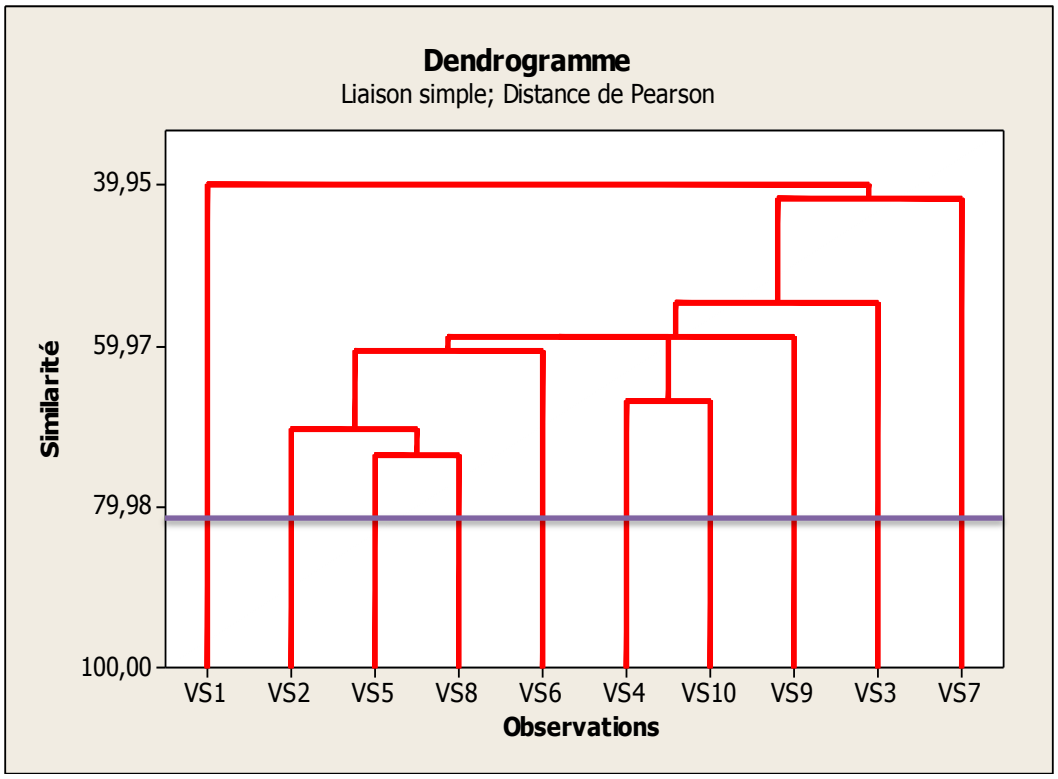


Figure 21 : Dendrogramme du regroupement des 10 variétés de blé tendre obtenu à l'aide de la méthode du lien simple et de la distance carrée de Pearson, sur les données des deux années pour le site de Sétif.

2.2. Résultats agronomique au cours des campagnes 2010-2011 et 2011-2012 sur le site du Khroub à Constantine.

2.2.1. Description des données :

Les résultats de la description des données des différentes variables mesurées sur 10 variétés de blé tendre de chacune des deux années 2010-2011 et 2011-2012 sont contenus dans les tableaux 24 et 25, figurés en annexe et présentant la moyenne avec l'écart-type calculés pour chacune des variables agronomiques. Les moyennes par variable sont comparées entre elles, d'une part pour les 10 variétés à l'aide du test de l'analyse de la variance et, d'autre part, entre les deux années à l'aide du test de Student et, enfin, du test de Tukey,

2.2.2. Résultats des analyses statistiques univariées :

- **Comparaisons, entre années, des moyennes de chaque variable, par variété sur le site de Constantine : Résultat du test de Student :** Les tableaux 26 à 30 présentés en annexe illustrent les résultats du test *t* de Student utilisé pour comparer, entre les deux années, les valeurs moyennes de chacune des 5 variables observées sur chacune des 10 variétés de blé tendre au niveau du site de Constantine. Pour la variable EPS, toutes les variétés ont chacune des valeurs identiques. L'essentiel de ces résultats est résumé par le tableau 21.

Tableau 21 : Résultats du test de Student de la Comparaison entre deux années des moyennes de chacune des 5 variables pour chacune des 10 variétés de blé tendre, pour le site de Constantine.

Variables	N.S	S	H.S	T.H.S
HTR		V20		V16-V12-V13-V14-V15-V16-V17-V18
NE/M^2	V11-V13-V18-V19-V20		V14	V12-V15-V16-V17
NGE				V11-V12-V13-V14-V15-V16-V17-V18-V19-V20
PMG	V11-V15-V16-V18-	V14	V17-V19-V20	
RDT	V11-V12-V13-V14-V15-V16	V17-V18-V19-V20		

L'analyse des résultats du tableau montre que les variétés de blé présentent, en moyennes, des écarts très significatifs à divers degrés pour certaines variables, telles que NGE et HTR et aucune signification pour d'autres variables. Le comportement des variétés diffère d'une variable à une autre et d'une année à l'autre.

- **Comparaison entre variétés des valeurs moyennes de chacune des variables pour chacune des deux années sur le site de Constantine. Test d'analyse de la variance :** Les tableaux 22 et 23 montrent les moyennes de chacune des 6 variables observées sur les variétés, respectivement des années 2010-2011 et 2011-2012.

  L'analyse des résultats des tableaux cités montre qu'il existe des différences très hautement significatives entre les 10 variétés de blé tendre pour chacune des 6 caractéristiques étudiées, exceptées les moyennes de la date d'épiaison EPS et le paramètre du composante du rendement NE/M² pour l'année 2010-2011 et les moyennes des paramètres EPS et RDT pour les données de l'année 2011-2012, qui ne présentent pas de différences significatives entre les 10 variétés.

Tableau 22 : Comparaison entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques étudiées, pour l'année expérimentale 2010/2011 à Constantine. Résultats du test d'analyse de la variance.

Variables	Ddl	SCE	CM	F_{obs}	P
EPS	9	170,00	18,889	**	N.S
HTR	9	9575,53	1063,95	797,96	0,000***
NE/M²	9	215098	23900	1,02	$0,446^{NS}$
NGE	9	6001,20	666,80	5,56	0,000***
PMG	9	67,18	7,46	0,72	$0,686^{NS}$
RDT	9	616,55	68,51	0,85	$0,583^{NS}$

Tableau 23 : Comparaison entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques étudiées, pour l'année expérimentale 2011/2012 à Constantine. Résultats du test d'analyse de la variance.

Variables	Ddl	SCE	CM	F_{obs}	P
EPS	9	162,000	18,000	**	N.S
HTR	9	13951,47	1550,16	17,23	0,000***
NE/M²	9	560554,67	62283,85	12,49	0,000***
NGE	9	2434,40	270,49	7,411	0,000***
PMG	9	357,69	39,74	3,59	0,005**
RDT	9	348,05	38,67	0,90	$0,539^{NS}$

- **Recherche de groupes de variétés homogènes par variable. Test de Tukey :** Les groupes des moyennes de variétés homogènes obtenues par le test de Tukey sont illustrés dans les tableaux 24 et 25.

  Les résultats soulignés correspondent à des moyennes ou à des groupes de moyennes de variétés qui ne sont pas significativement différents les unes des autres.

Tableau 24 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2010/2011 à Constantine : Résultats du test de Tukey.

Variables	Moyennes par variétés et groupes de moyennes	Nombre de groupes de variétés homogènes
HTR	V11 V13 V14 V20 V15 V16 V17 V18 V12 V19 105,5 100,8 94,9 92,9 90 84,7 83,3 80,2 80 77	8
NGE	V19 V14 V11 V13 V20 V15 V16 V17 V12 V18 79,7 64,8 63 62,7 61,3 60,8 58,5 57,3 57,0 51,3	2

Tableau 25 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2011/2012 à Constantine. : Résultats du test de Tukey.

Variables	Moyennes par variétés et groupes de moyennes	Nombre de groupes de variétés homogènes
HTR	V20 V18 V19 V17 V15 V16 V14 V13 V11 V12 112,3 105,1 99 95,3 95 91 89,2 87,8 83 71,8	5
NE/M²	V16 V18 V12 V20 V15 V19 V11 V14 V13 V17 497,7 475 441,3 436,3 425,2 393 363,5 314,7 309,7 229,4	5
NGE	V20 V17 V19 V14 V15 V13 V11 V12 V18 V16 41,2 40 39,1 39 37 36,8 34,3 31 30,8 26,7	3
PMG	V17 V20 V19 V15 V13 V12 V14 V18 V16 V11 47,5 47,2 46,8 45,5 44,1 43,9 43,93 42,9 38,8 38,7	3

Les résultats de la comparaison des moyennes des variétés par le biais du test de Tukey, illustrés par le tableau 24, font ressortir 8 groupes de variétés homogènes pour la variable morphologique HTR et 2 groupes de variétés homogènes pour la composante du rendement NGE. Mais aucune différence significative n'est enregistrée entre les différentes variétés de blé tendre pour le paramètre phénologique de la date d'épiaison EPS et les composantes du rendement NE/M², PMG et RDT (2010-2011).

Les résultats de la comparaison des moyennes des variétés par le biais du test de Tukey illustrés par le tableau 25, font ressortir 5 groupes de variétés homogènes pour le paramètre du rendement NE/M² et la hauteur du chaume HTR et 3 groupes pour les paramètres du rendement NGE et PMG mais aucune différence significative n'est enregistrée chez le stage phénologique EPS et le paramètre du rendement RDT durant l'année 2011-2012.

2.2.3. Analyse statistique bivariée : Coefficients de Corrélations :

Les résultats du coefficient de corrélation de Pearson (avec la probabilité P), entre variables agronomiques au cours des deux années successives 2010-2011 et 2011-2012 sur le site de Constantine, sont présentés en annexes 31 et 32. Les résultats des corrélations agronomiques révèlent de fortes corrélations négatives entre les deux paramètres du rendement NE/M² et NGE (r = -0,787) et entre les variables RDT et EPS (r = - 0,695) sur la deuxième année agricole et une corrélation positive entre PMG et NGE (r = 0,695) est observée sur la même année. Cependant, aucune corrélation n'est enregistrée durant la première campagne agricole et sur l'ensemble des deux années (annexe 33).

2.2.4. Analyse statistique multivariée :

- **Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) des paramètres agronomiques sur le site de Constantine :** Le tableau 26 présente les paramètres statistiques de l'ACP, appliquée à l'ensemble des données des deux années du site de Constantine.

Tableau 26 : Résultats de l'ACP des trois premiers axes, obtenus pour l'ensemble des deux années à partir des 6 variables mesurés sur les 10 variétés de blé tendre du site de Constantine

Paramètres statistiques	CP1	CP2	CP3
Valeur propre	2,185	1,493	1,037
Pourcentage expliquées (%)	36,417	24,877	17,289
Pourcentage cumulé (%)	36,417	61,294	78,582

La figure 22 montre l'histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux.

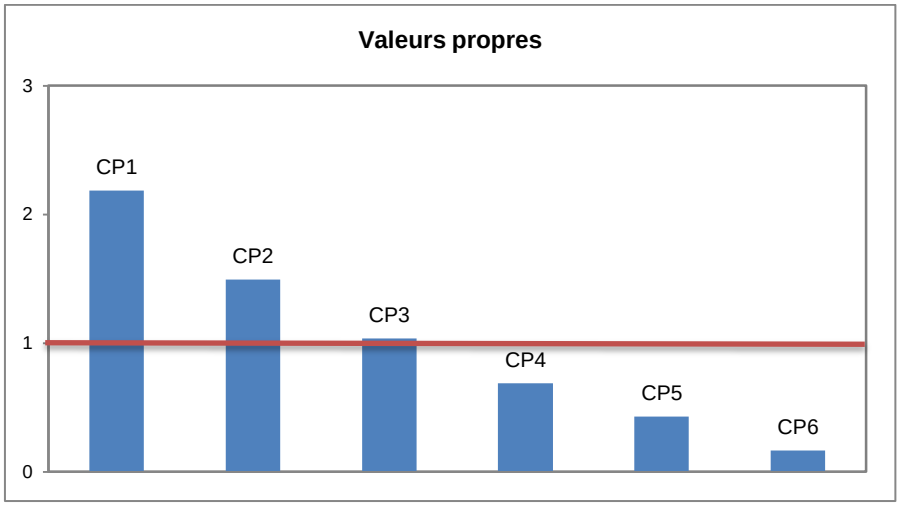


Figure 22 : Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des deux années du site Constantine.

Sur le site de Constantine, les corrélations entre les variables initiales et les trois premières composantes retenues, ainsi que les corrélations carrées correspondantes sont reprises par le tableau 27.

D'autre part, l'analyse des corrélations carrées du tableau 27 fait ressortir les très fortes corrélations avec l'axe 1 des variables EPS, PMG, NGE et HTR. En effet, les valeurs des corrélations varient de 42,1% à 68,1%. L'axe 2 est très fortement corrélé avec les deux variables NE/M² et RDT, avec respectivement des corrélations carrées de (corr² = 62,4% et corr² = 62,8%), alors que l'axe 3 n'est corrélé avec aucune variable.

- **Analyse du nuage de points variables : cercle de corrélation :** L'examen du plan factoriel 1-2 montre que toutes les variables sont proches du cercle de corrélation et sont par conséquent bien représentées. A cet effet, les corrélations carrées varient de 57,7% à 70,5%. (Figure 23).

Tableau 27: Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les 3 premières composantes principales et information sur le premier plan factoriel 1-2 pour l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Constantine.

Variables	Axes principaux						
	CP1		CP2		CP3		Plan 1-2 Factoriel
	Corr	Corr²(%)	Corr	Corr²(%)	Corr	Corr²(%)	Corr²(%)
EPS	0,825	68,1	0,055	00,3	-0,154	02,4	68,4
HTR	-0,649	42,1	0,207	04,3	-0,388	15,1	46,5
NE/M²	-0,159	02,4	0,790	62,4	0,546	29,8	64,8
NGE	-0,688	47,3	-0,356	12,7	-0,335	11,2	60,0
PMG	-0,714	50,9	-0,261	06,8	0,537	28,9	57,7
RDT	-0,278	07,7	0,793	62,8	-0,405	16,4	70,5

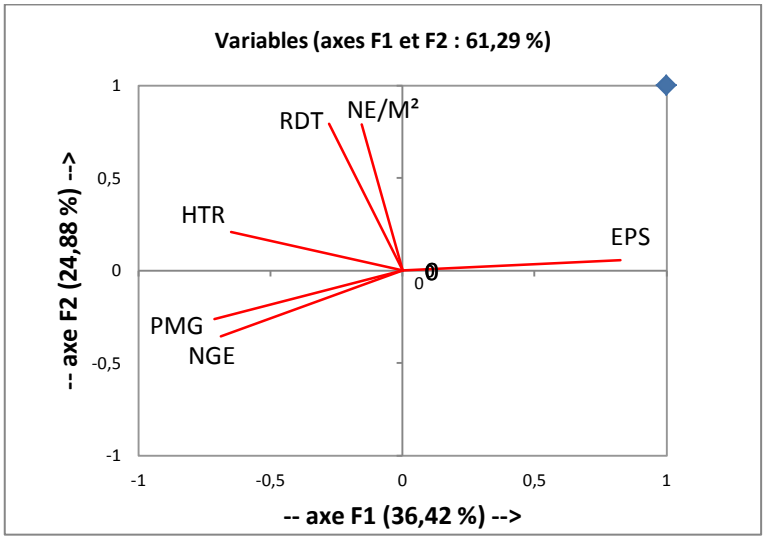


Figure 23 : Représentation graphique des 6 variables physiologiques à l'intérieur du cercle de corrélation du plan factoriel 1-2, obtenu à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Constantine.

- **L'analyse du nuage de points-variétés, graphique des individus :** La figure 24 représente graphiquement les 10 variétés de blé tendre dans le plan factoriel 1-2 à l'aide du cos² des deux axes du tableau 28.

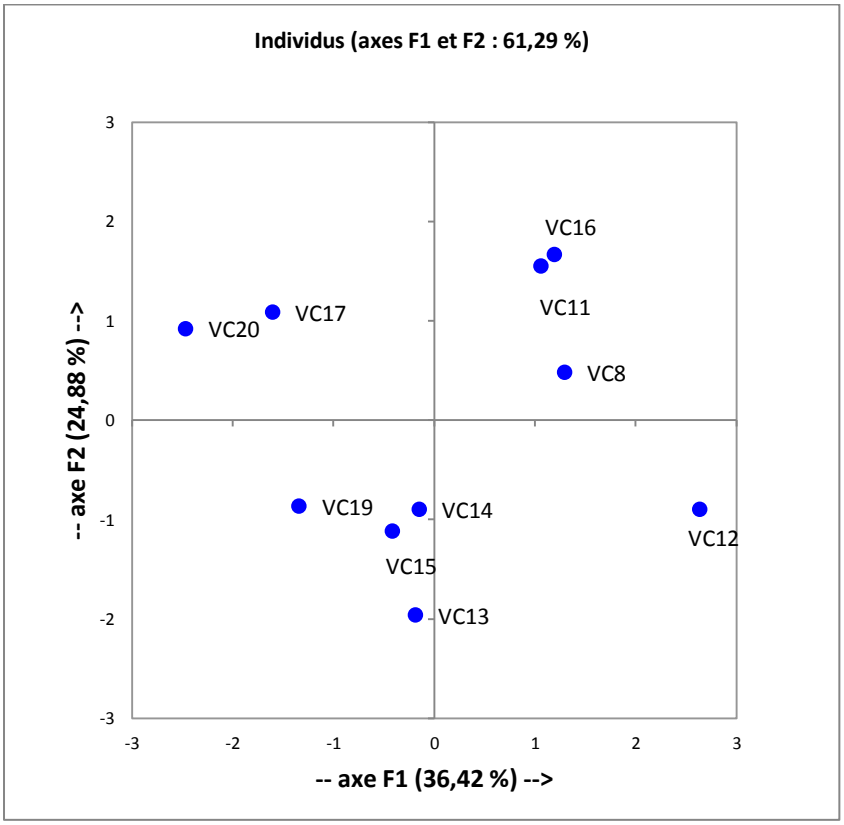


Figure 24 : Représentation graphique des points individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Constantine.

Le tableau 28 donne pour chacun des trois premiers axes les valeurs (scores), les cosinus carrés correspondants en % et pour le plan factoriel 1-2 la somme des cosinus carrés des deux premiers axes.

A partir du tableau 28 il ressort 6 variétés (individus), bien représentés dans le plan factoriel 1-2 (figure 24). Ces variétés sont V12, V13, V15, V16, V17 et V20, elles enregistrent des valeurs de cos² variant de 51,8% à 90,8%.

Les autres variétés sont proches de l'origine et par conséquent très peu prises en compte par les axes 1-2, elles ont des valeurs cosinus carré faibles variant de 32,5% à 46,3%.

Tableau 28 : Valeurs des scores des trois premiers axes, valeurs des cosinus carrés correspondants en % et valeurs des cosinus carrés du premier plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Constantine.

Variétés	CP1		CP2		CP3		Plan 1-2 Factoriel
	Scores	Cos² (%)	Scores	Cos² (%)	Scores	Cos² (%)	Cos² (%)
V11	1,058	14,6	1,553	31,5	-1,900	47,2	46,1
V12	2,636	70,2	-0,896	08,1	1,140	13,1	78,3
V13	-0,188	00,5	-1,959	57,6	-0,791	09,4	58,1
V14	-0,153	01,3	-0,896	43,3	-0,999	53,8	44,6
V15	-0,417	06,4	-1,112	45,4	0,182	01,2	51,8
V16	1,190	26,0	1,673	51,3	-0,328	02,0	77,3
V17	-1,607	38,3	1,093	17,7	1,486	32,7	56,0
V18	1,291	28,4	0,488	04,1	1,221	25,4	32,5
V19	-1,342	32,7	-0,865	13,6	-0,038	00,0	46,3
V20	-2,467	79,7	0,923	11,1	0,028	00,0	90,8

- **Représentation graphique des variables et des individus :** Cette représentation illustre la disposition des variétés par rapport aux paramètres étudiés. A cet effet, l'axe 1 serait l'axe relatif « au stade phénologique EPS » et l'axe 2 au « rendement RDT et au paramètre des composantes du rendement NE/M² ». Trois groupes homogènes se dégagent par cette analyse. La variété locale Ain Abid (V11) et les lignées introduites Wbll1*2/Brambling (V16) et Kauz/Pastor/Fiscal (V18) sont corrélées à la date d'épiaison. Ce sont les variétés les plus tardives par rapport aux autres cultivars et composent le premier groupe (G1). Le second (G2) regroupe la lignée la plus précoce Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) et Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna (V20) la lignée la plus haute de tous les cultivars fournissent le rendement RDT et sa composante NE/M^2 les plus élevés. Le troisième groupe (G3) se compose de la variété locale Hidhab (V13) et des lignées Pastor/Wbll1 (V14), Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi (V15) et Prl/2*Pastor (V19) qui sont fortement corrélées aux paramètres du rendement à savoir le PMG et NGE (Figure 25).

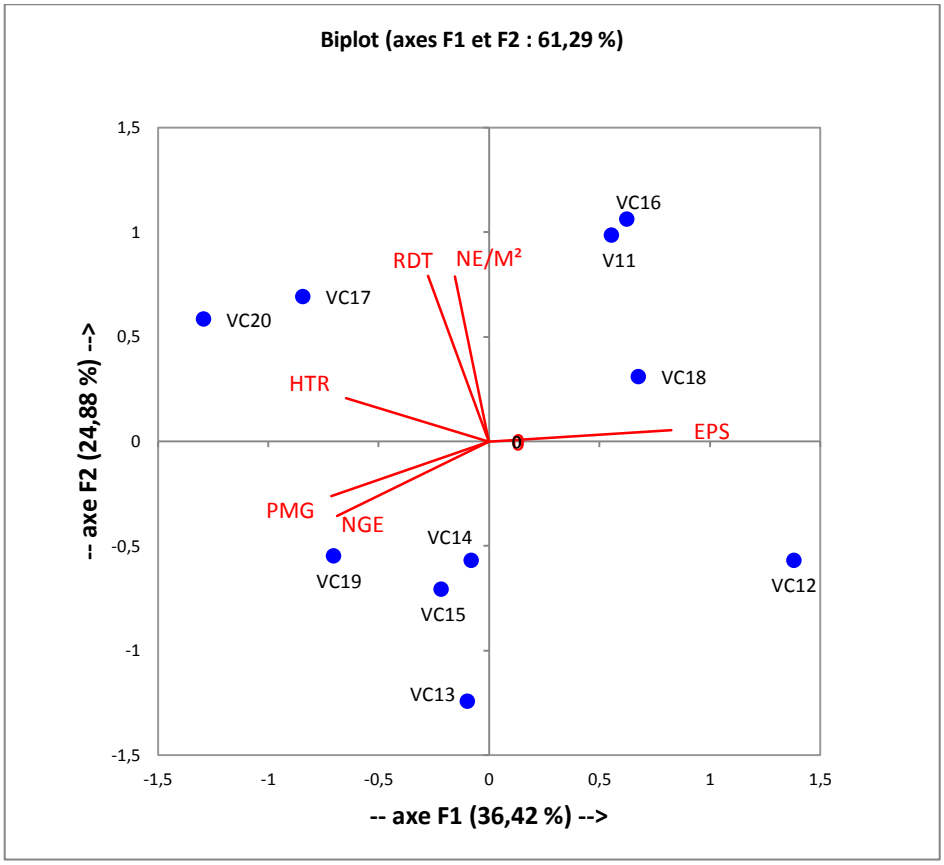


Figure 25 : Représentation graphique des variables et des individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenues à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Constantine.

- **Analyse hiérarchique des paramètres agronomiques :** La recherche de groupes homogènes de variétés de blé tendre pour le site de Constantine, en utilisant le lien simple, la distance carrée de Pearson et un niveau de similarité de 80%, permet d'observer 10 groupes homogènes de variétés de blé tendre qui sont représentés par la figure 26.

  Sur le site de Constantine, le regroupement des 10 variétés de blé tendre est effectué en fonction des moyennes des données de l'ensemble des deux années des 6 variables étudiées.

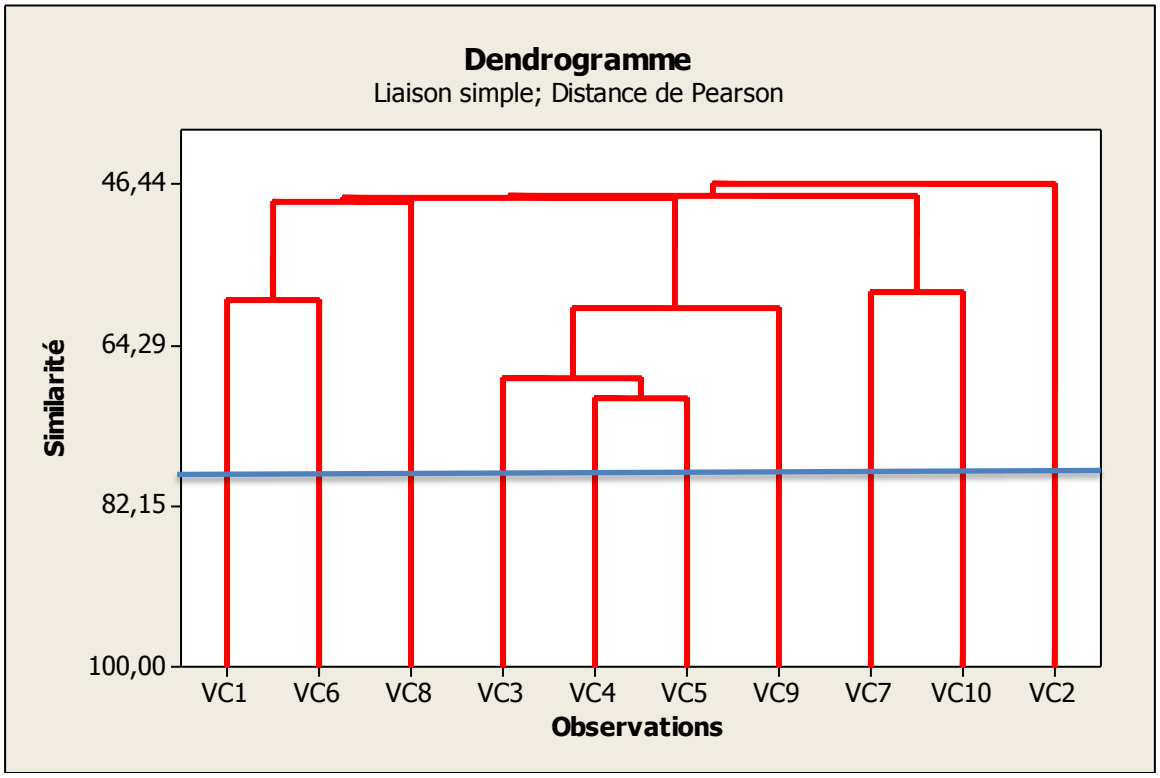


Figure 26 : Dendrogramme du regroupement des 10 variétés de blé tendre, obtenu à l'aide de la méthode du lien simple et de la distance carrée de Pearson sur les données des deux années pour le site de Constantine.

2.3. Résultats agronomique au cours des campagnes 2010-2011 et 2011-2012 sur le site de Guelma :

2.3.1. Description des données :

Les résultats de la description des données des différentes variables mesurées sur 10 variétés de blé tendre de chacune des deux années 2010-2011 et 2011-2012 sont reportées en annexes 34 et 35. Ils présentent la moyenne et l'écart-type calculés pour chacune des variables agronomiques sur le site de Guelma. Les moyennes par variable sont comparées entre elles, d'une part pour les 10 variétés par l'analyse de la variance et, d'autre part, entre les deux années par le test de Student et enfin le test de Tukey,

2.3.2. Résultats des analyses statistiques univariées

- **Comparaisons, entre années, des moyennes de chaque variable par variété de blé tendre sur le site de Guelma. Résultat du test de Student :** Les tableaux 36 à 40 présentés en annexe illustrent les résultats du test *t* de Student utilisé pour comparer, entre les deux années, les valeurs moyennes de chacune des 5 variables observées sur

chacune des 10 variétés de blé tendre au niveau du site de Guelma. Pour la variable EPS toutes les variétés ont chacune des valeurs identiques. L'essentiel de ces résultats est donné par le tableau 29.

Tableau 29 : Résultats du test de Student de la Comparaison entre deux années des moyennes de chacune des 5 variables pour chacune des 10 variétés de blé tendre, pour le site de Guelma

Variables	**N.S**	**S**	**H.S**	**T.H.S**
HTR				V11-V12-V13-V14-V15-V16-V17-V18-V19-V20
NE/M^2				V11-V12-V13-V14-V15-V16-V17-V18-V19-V20
NGE	V19	V15	V11-V14-V18	V12-V13-V16-V17-V20
PMG	V111-V12-V14-V15-V9-V20	V13-V16-V17-V18		
RDT	V13-V14-V18	V17	V11-V15-V16-V19	V12-V20

.

La synthèse des résultats montrent que pour chaque variable il existe d'une part, certaines variétés qui présentent des différences très hautement significatives entre les deux années cas des variables HTR et NE/M² où toutes les variétés illustrent des différences très significatives entre elles pour ces deux variables. D'autre part, certaines variétés ne présentent pas de différences significatives entre années. Il est bien clair que ces variétés varient d'une variable à un autre, et présentent souvent des écarts n'ayant pas toujours le même niveau de signification.

- **Comparaison entre variétés, des valeurs moyennes de chacune des variables pour chacune des deux années sur Guelma: test d'analyse de la variance :** Les tableaux 30 et 31 montrent les moyennes de chacune des 6 variables observées sur les variétés respectivement de l'année 2010-2011 et 2011-2012.

L'analyse des résultats des tableaux cités ci-dessous montre qu'il existe des différences très hautement significatives entre les 10 variétés de blé tendre pour chacune des 6 caractéristiques étudiées, exceptées les moyennes de la date d'épiaison EPS et le paramètre du rendement RDT pour l'année 2010-2011 et les moyennes des paramètres phénologique et des composantes du rendement respectivement EPS et PMG pour les données de l'année 2011-2012 Ces paramètres ne présentent pas de différences significatives entre les 10 variétés.

Tableau 30 : Comparaison entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques étudiées, pour l'année expérimentale 2010/2011 à Guelma. Résultats du test d'analyse de la variance.

variables	ddl	SCE	CM	Fobs	P
EPS	9	257,600	28,622	**	N.S
HTR	9	2830,675	203,408	4,03	0,002**
NE/M²	9	179208	19912	2,68	0,023*
NGE	9	3326,47	369,61	2,69	0,022*
PMG	9	385,487	42,832	13,87	0,000***
RDT	9	1118,62	124,29	1,79	$0,123^{NS}$

Tableau 31 : Comparaison entre les 10 variétés, des valeurs moyennes de chacune des caractéristiques étudiées, pour l'année expérimentale 2011/2012 à Guelma. Résultats du test d'analyse de la variance.

variables	ddl	SCE	CM	Fobs	P
EPS	9	678,400	75,378	**	N.S
HTR	9	3494,08	336,23	2,88	0,016*
NE/M²	9	419381	45593	94,32	0,000***
NGE	9	6125,40	680,58	2,29	0,047*
PMG	9	262,00	29,11	1,86	$0,102^{NS}$
RDT	9	878,02	97,56	3,63	0,004**

- **Recherche de groupes de variétés homogènes par variable. Test de Tukey :** Les groupes des moyennes de variétés homogènes obtenus par le test de Tukey sont illustrés dans les tableaux 32 et 33.

  Les résultats soulignés correspondent à des moyennes ou à des groupes de moyennes de variétés qui ne pas sont significativement différents les unes des autres.

Tableau 32 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2010/2011 à Guelma : Résultats du test de Tukey.

Variables	Moyennes par variétés et groupes de moyennes	Nombre de groupes de variétés homogènes
HTR	V11 V15 V13 V18 V14 V16 V19 V20 V17 V12 86 85,7 84,2 82 81,5 81,3 78,5 77,8 74,8 74,8	2
NGE	V16 V11 V13 V14 V12 V19 V18 V15 V17 V20 79,7 64,8 63 62,7 61,3 60,8 58,5 57,3 57,0 51,3	4
NE/M²	V17 V15 V20 V12 V19 V14 V18 V11 V13 V16 381,8 331 316 285,5 282 280 278 271 259,9 239	2
PMG	V18 V16 V12 V20 V14 V13 V19 V15 V17 V11 51,9 49,8 49,3 48,9 48,8 48 47,1 46,2 42,2 41,7	4

Les résultats de la comparaison des moyennes des variétés par le biais du test de Tukey illustrés par le tableau 32, font ressortir 4 groupes de variétés homogènes pour les composantes du rendement NGE et PMG et 2 groupes de variétés homogènes pour la composante du rendement NE/M² et la composante morphologique HTR. Mais aucune différence significative n'est enregistrée entre les différentes variétés de blé tendre chez le paramètre phénologique de la date d'épiaison EPS et le paramètre du rendement RDT durant l'année 2010-2011.

Les résultats de la comparaison des moyennes des variétés par le biais du test de Tukey illustrés par le tableau 33, font ressortir 5 groupes de variétés homogènes pour les paramètres du rendement NE/M² et NGE 2 groupes pour les paramètres du rendement PMG et la hauteur du chaume HTR mais aucune différence significative n'est enregistrée chez le stage phénologique EPS et le paramètre du rendement RDT durant l'année 2011-2012.

Tableau 33 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par variable durant la campagne 2011/2012 à Guelma : Résultats du test de Tukey.

Variables	Moyennes par variétés et groupes de moyennes	Nombre de groupes de variétés homogènes
HTR	V18 V13 V14 V15 V20 V12 V19 V11 V17 V16 119 111,3 111 111 109,3 107,3 104,3 102,5 102,5 99,7	2
NE/M²	V11 V17 V15 V14 V16 V12 V18 V19 V13 V20 532,9 531,3 479,8 471,5 458 427 425,7 423,3 361,7 347	5
NGE	V18 V13 V14 V11 V19 V16 V17 V12 V15 V20 76,7 73,3 70,5 67,5 61 60,8 60,5 59 56,8 55,7	5
PMG	V19 V13 V11 V16 V18 V15 V14 V20 V17 V12 55,7 54,3 54,2 49,5 47,8 46,5 46,5 43,7 39,5 31,0	2

2.3.3. Analyse statistique bivariée : Coefficients de Corrélations :

Les résultats du coefficient de corrélation de Pearson (avec la probabilité P) entre variables agronomiques au cours des deux années successives 2010-2011 et 2011-2012 sur le site de Guelma, sont représentés respectivement en annexes 41 et 42. Les résultats des corrélations agronomiques révèlent de fortes corrélations négatives entre les deux paramètres du rendement NE/M² et NGE (r= - 0,776) sur la première année agricole.

De fortes corrélations négatives sont également enregistrés entre les variables EPS et RDT (r = - 0,725) et EPS et PMG (r= - 0,663) sur la deuxième année agricole et une corrélation positive est observée entre PMG et RDT (r= 0,709) au cours de la même année. Une corrélation négative se dégage également entre EPS et PMG (r = - 0,636) sur l'ensemble des deux années (annexe 43).

2.3.4. Analyse statistique multivariée

- **Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) des paramètres agronomiques sur le site de Guelma :** Le tableau 34 présente les paramètres

statistiques de l'ACP qui est appliqué à l'ensemble des données deux années du site de Guelma.

Tableau 34 : Résultats de l'ACP des trois premiers axes, obtenus pour l'ensemble des deux années à partir des 6 variables mesurés sur les 10 variétés de blé tendre du site de Guelma.

Paramètres statistiques	CP1	CP2	CP3
Valeur propre	2,135	1,273	1,210
Pourcentage expliquées (%)	35,585	21,212	20,164
Pourcentage cumulé (%)	35,485	56,797	76,961

La figure 27 montre l'histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux.

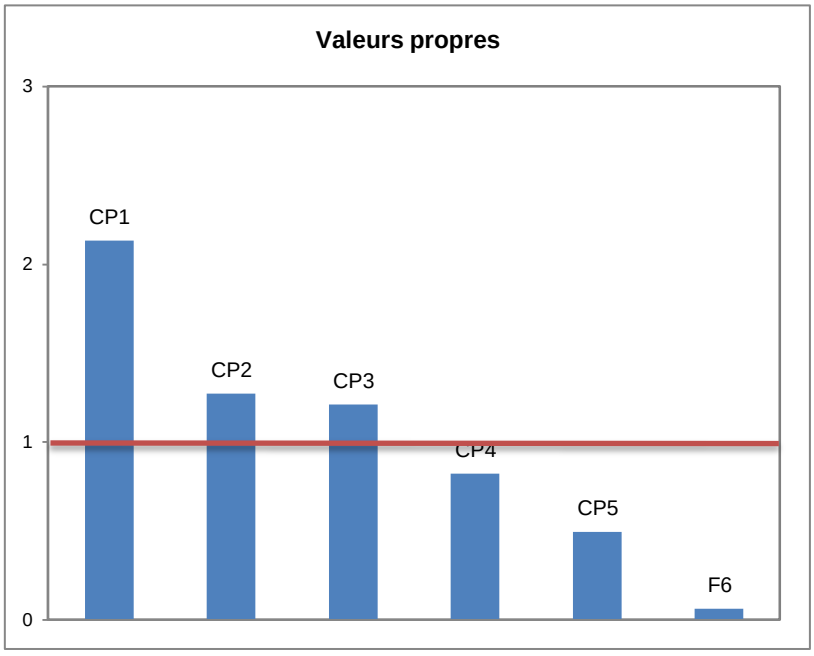


Figure 27 : Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des deux années du site de Guelma.

Sur le site de Guelma, les corrélations entre les variables initiales et les trois premières composantes retenues, ainsi que les corrélations carrées correspondantes sont reprises par le tableau 35.

Tableau 35: Valeurs des corrélations et corrélations carrées des variables initiales avec les 3 premières composantes principales et information sur le premier plan factoriel 1-2 pour l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Guelma.

Variables	Axes principaux						
	CP1		CP2		CP3		Plan 1-2 Factoriel
	Corr	Corr²(%)	Corr	Corr²(%)	Corr	Corr²(%)	Corr²(%)
EPS	0,884	78,2	0,317	10,0	-0,233	05,4	88,2
HTR	0,373	13,9	0,328	10,7	0,660	43,6	24,6
NE/M²	0,292	08,6	-0,442	19,5	0,726	52,7	28,1
NGE	0,505	25,5	0,594	35,3	0,119	01,4	60,8
PMG	-0,749	56,0	0,266	07,1	0,423	17,9	63,1
RDT	-0,560	31,4	0,668	44,6	-0,008	00,0	76,0

D'autre part, l'analyse des corrélations carrées du tableau 35 fait ressortir les très fortes corrélations avec l'axe 1 des variables EPS et PMG. En effet, les valeurs des corrélations varient de 56,0% à 78,2%. L'axe 2 est très fortement corrélé avec la variable du rendement RDT avec une corrélation carrée de 44,6% alors que l'axe 3 est fortement corrélé avec deux variables à savoir NE/M² et HTR avec respectivement (corr² = 52,7% et corr² = 43,6%).

- **Analyse du nuage de points variables : cercle de corrélation :** L'examen du plan factoriel 1-2 montre que les variables EPS, NGE, PMG et RDT sont proches du cercle de corrélation et présentent des valeurs de corr² élevées allant de 60,8% à 88,2%. Ces variables sont par conséquent très bien représentées dans le premier plan.

  Les autres variables sont proches de l'origine et sont aussi mal représentées et possèdent de faibles valeurs des corrélations carrées varient de 24,6% à 28,1%. (Figure 28).

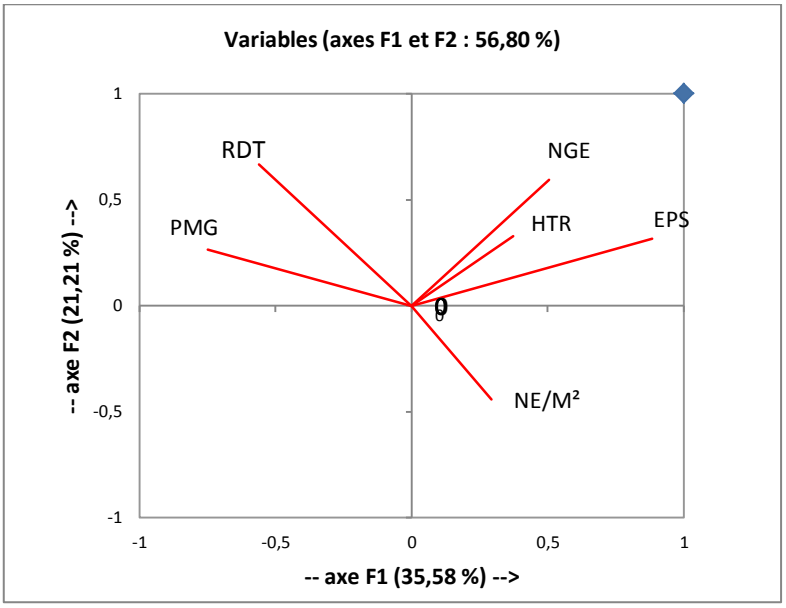


Figure 28 : Représentation graphique des 6 variables physiologiques à l'intérieur du cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 obtenu à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Guelma.

- **L'analyse du nuage de points-variétés : graphique des individus :** La figure 29 représente graphiquement les 10 variétés de blé tendre dans le plan factoriel 1-2 à l'aide du cos² des deux axes du tableau 36.

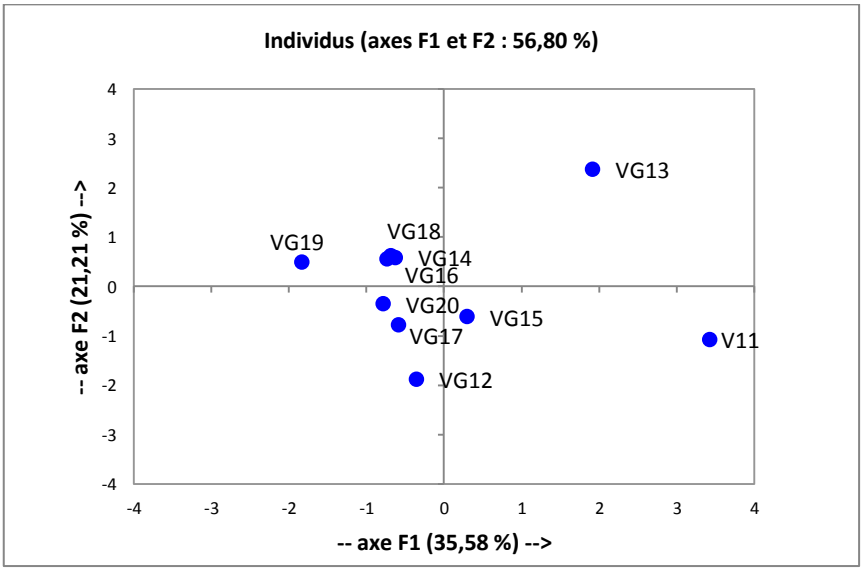


Figure 29 : Représentation graphique des points individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Guelma.

Le tableau 36 donne pour chacun des trois premiers axes, les valeurs (scores), les cosinus carrés correspondants en %, et pour le plan factoriel 1-2 la somme des cosinus carrés des deux premiers axes.

A partir du tableau 36 il en ressort 4 individus ou variétés qui sont bien représentés dans le plan factoriel 1-2 (figure 29). Ces variétés sont V11, V12, V13 et V19 ont des valeurs de cos² variant de 50,9% à 91,2%.

Les autres variétés sont proches de l'origine et par conséquent très peu pris en compte par les axes 1-2. Leurs valeurs du cos² sont faibles allant de 15,9% et 34,3%.

Tableau 36 : Valeurs des scores des trois premiers axes, valeurs des cosinus carrées correspondants en % et valeurs des cosinus carrés du premier plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Guelma.

Variétés	CP1		CP2		CP3		Plan 1-2 Factoriel
	Scores	Cos² (%)	Scores	Cos² (%)	Scores	Cos² (%)	Cos² (%)
V11	3,422	83,1	-1,067	08,1	0,259	00,5	91,2
V12	-0,360	02,8	-1,874	75,7	-0,506	05,5	78,5
V13	1,915	32,7	2,382	50,6	-1,114	11,0	83,3
V14	-0,628	16,1	0,592	14,3	1,100	49,4	30,4
V15	0,294	02,1	-0,606	08,8	1,613	62,0	10,9
V16	-0,688	13,1	0,631	11,0	0,066	00,1	24,1
V17	-0,593	05,9	-0,775	10,0	-2,054	70,3	15,9
V18	-0,736	12,0	0,560	07,0	1,463	47,5	19,0
V19	-1,837	47,4	0,502	03,5	-0,508	03,6	50,9
V20	-0,789	28,8	-0,346	05,5	-0,320	04,7	34,3

- **Représentation graphique des variables et des individus :** Cette représentation illustre la disposition des variétés par rapport aux paramètres étudiés (Figure 30). A cet effet l'axe 1 serait l'axe relatif « au stade phénologique EPS et au paramètre du rendement PMG » et l'axe 2 relatif « au paramètre du rendement RDT». A cet effet,

trois groupes homogènes se dégagent par le biais de cette ACP. Le premier groupe est composé uniquement de la variété locale Hidhab (V13) qui est fortement corrélée à la date d'épiaison c'est par conséquent la plus tardive par rapport aux autres cultivars et présente le paramètre du rendement NGE le plus élevé. De même les lignées Pastor/Wbll1 (V14), Wbll1*2/Brambling (V16), Kauz/Pastor/Fiscal (V18) et Prl/2*Pastor (V19) sont fortement corrélées aux paramètres du rendement à savoir la variable RDT et le PMG, Elles fournissent les meilleurs rendements et forment le second groupe (G2), le troisième groupe (G3) se caractérise par uniquement la variable NE/M^2 fortement corrélée avec la variété locale Ain Abid (V11) et la lignée Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi (V15). Ces dernières fournissent le meilleur paramètre du rendement NE/M^2 de tous les cultivars.

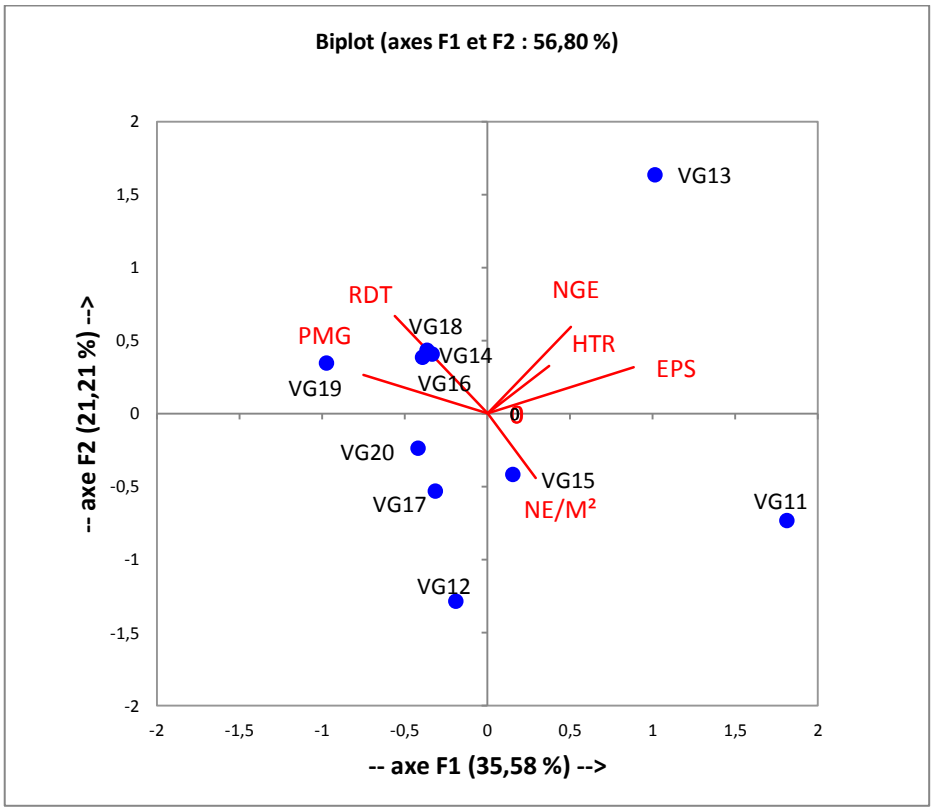


Figure 30 : Représentation graphique des variables et des individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenus à partir des données de l'ensemble des deux années 2010/2011 et 2011/2012 du site de Guelma.

- **Analyse hiérarchique des paramètres agronomiques :** La recherche de groupes homogènes de variétés de blé tendre pour le site de Guelma, en utilisant le lien simple,

la distance carrée de Pearson et un niveau de similarité de 80% a permis d'observer 10 groupes homogènes de variétés de blé tendre qui sont représentées par la figure 31.

Sur le site de Guelma, le regroupement des 10 variétés de blé tendre est effectué en fonction des moyennes de données de l'ensemble des deux années des 6 variables étudiés.

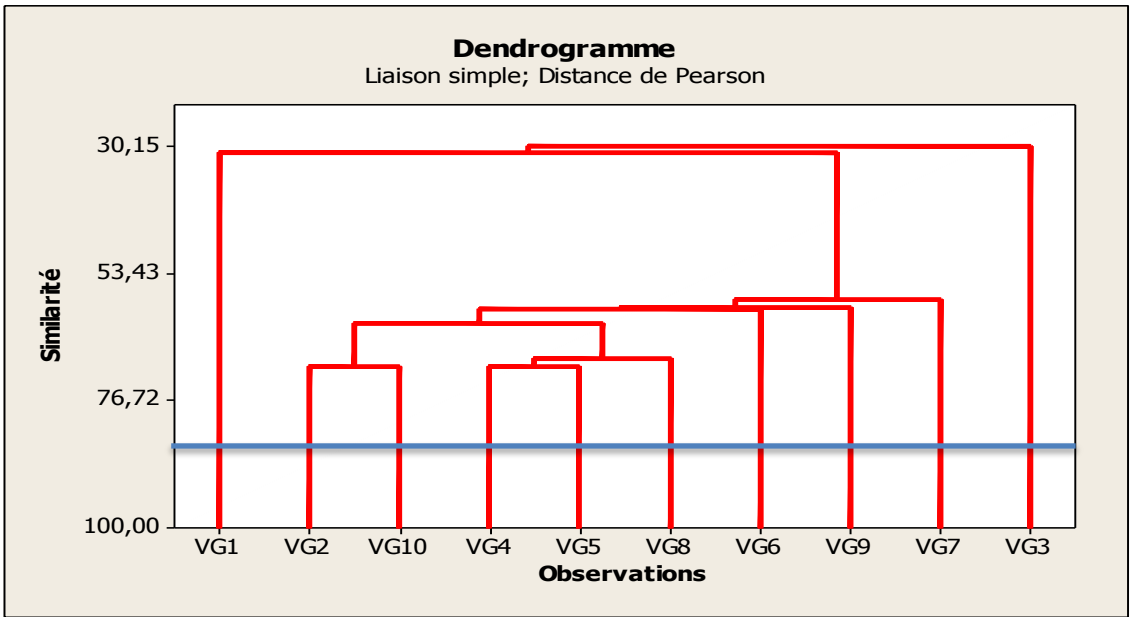


Figure 31 : Dendrogramme du regroupement des 10 variétés de blé tendre obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson, sur les données des deux années pour le site de Guelma.

2.4. Comparaison entre site des résultats agronomique :

Introduction

L'étude de la variation spatiale des différentes caractéristiques agronomiques des 10 variétés de blé tendre abordé dans cette partie est effectuée en comparant les moyennes entre les trois sites, d'une part, par année séparément et, d'autre part, pour l'ensemble des deux années.

2.4.1. Comparaison, entre sites, par année. Test analyse de la variance

La comparaison, entre les trois sites, des moyennes des 6 variables observées pour chacune des 10 variétés est effectuée à l'aide du test d'analyse de la variance à un critère de

classification. Les résultats obtenus pour les données de chacune des deux années, séparément, sont donnés par les tableaux en annexes 44 et 45.

Tableau 37 : Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison, entre les trois sites des moyennes de chacune des 6 variables étudiées sue les 10 variétés de blé tendre pour l'année 2010/2011. Classement des variétés par niveaux de signification.

Variables	N.S	S	H.S	T.H.S
HTR				Toutes les variétés
NE/M^2				Toutes les variétés
NGE	V11			V12-V13-V14-V15-V16-V17-V18-V19-V20
PMG	V11-V19	V18	V17	V12-V13-V14-V15-V16-V20
RDT	V13-V14-V17	V15-V18-V19	V12-V16	V11-V20

Tableau 38 : Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison, entre les trois sites, des moyennes de chacune des 6 variables étudiées sue les 10 variétés de blé tendre pour l'année 2011/2012. Classement des variétés par niveaux de signification.

Variables	N.S	S	H.S	T.H.S
EPS	V13-V14-V15-V17-V18			V11-V12-V16-V19-V20
HTR			V20	V11-V12-V13-V14-V15-V16-V17-V18-V19
NE/M^2	V12-V18-V19	V16	V15	V11-V13-V14-V17-V20
NGE	V12			V11-V13-V14-V15-V16-V17-V18-V19-V20
PMG			V15	V11-V12-V13-V14-V16-V17-V18-V19-V20
RDT	V13	V12-V14-V15-V18		V11-V16-V17-V19-V20

N.B :
N.S = des différences non significatives entre variétés témoins et stressées pour la variable étudiée
S = des différences significatives entre variétés témoins et stressées pour la variable étudiée
H.S .= des différences hautement significatives entre variétés témoins et stressées pour la variable étudiée
T.H.S = des différences très hautement significatives entre variétés témoins et stressées pour la variable étudié

Les résultats sont néanmoins synthétisés sur les tableaux 37 et 38 présentent les différentes variétés par variable selon le niveau de signification observé dans la comparaison entre les trois sites, pour chacune des 10 variétés. L'examen de ces résultats synthétiques montre que très peu de variétés ne présentent pas de différences significatives entre les trois sites et ceci quelle que soit la variable agronomique prise en considération et quelle que soit l'année d'étude.

Aussi, ce ne sont pas toujours les mêmes variétés qui présentent ou qui ne présentent pas des différences significatives entre sites pour la même variable et pour les deux années.

2.4.2. Comparaison, entre sites, pour l'ensemble des deux années. Test d'analyse de la variance

Les résultats du test d'analyse de la variance donnés en annexe 46 relatifs à la comparaison, entre les trois sites, des moyennes de chacune des 6 variables obtenus sur la matrice de données de l'ensemble des deux années pour les différentes variétés de blé, sont synthétisés dans le tableau 39.

Tableau 39 : Résultats de l'analyse de la variance de la comparaison, entre les trois sites, des moyennes de chacune des 6 variables étudiées sur les 10 variétés de blé tendre pour l'ensemble des deux années. Classement des variétés par niveaux de signification

Variables	**N.S**	**S**	**H.S**	**T.H.S**
EPS				Toutes les variétés
HTR	V11-V14-V16-V17-V19	V13	V18-V20	V12-V15
NE/M^2	V11	V12-V16	V19	V13-V14-V15-V17-V18-V20
NGE		V11-V12		V13-V14-V15-V16-V17-V18-V19-V20
PMG	V17	V11	V19	V12-V13-V14-V15-V16-V18-V20
RDT	V13-V15-V18-V19	V12-V14-V17	V16-V20	V11

L'analyse des résultats du tableau 39, montre que la majorité (50%) des variétés présentent des différences très hautement significatives entre les trois sites, quelle que soit la variable étudiée, exceptée la variable RDT où il y a uniquement la variété locale Ain Abid (V11) qui présente des différences très hautement significatives entre les trois sites et la caractéristique HTR où seulement la variété locale Arz (V12) et la lignée introduite Babax LR42//Babax *2/3/Vivitsi (V15) présentent des différences très hautement significatives entre les trois sites.

Plus les données sont importantes, c'est-à-dire obtenues sur plusieurs années, plus il y a une stabilité spatiale des différentes variables agronomiques des différentes variétés de blé tendre.

Tableau 40 : Nombre de variétés de blé tendre présentant des différences très hautement significatives, entre les trois sites, par année, pour l'ensemble des deux années et par variable

Variables	2010/2011	2011/2012	Ensemble des deux années
EPS	0	5	10
HTR	10	9	2
NE/M^2	10	5	6
NGE	9	9	8
PMG	6	9	7
RDT	2	5	1

Les résultats du tableau 40 montrent bien le nombre de variétés par année et pour l'ensemble des deux années, avec des différences très hautement significatives entre les trois sites pour chacune des variables examinées. Les résultats du tableau 40 sont caractérisés par la figure 32.

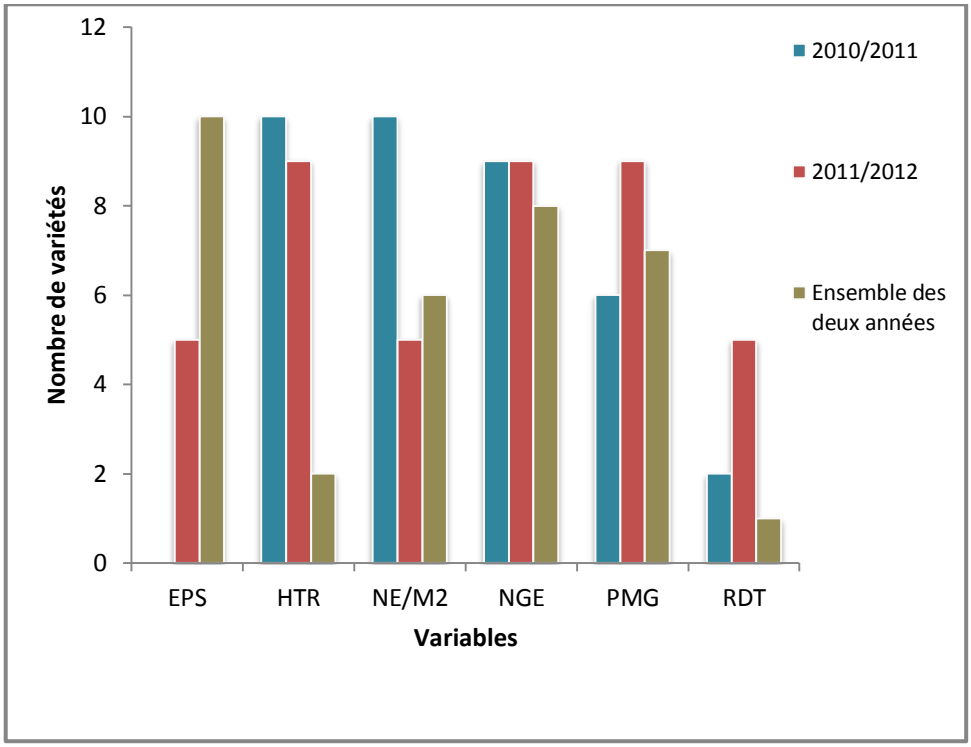


Figure 32 : Histogramme du nombre de variétés de blé tendre présentant des différences très hautement significatives, entre les trois sites, par années et pour l'ensemble des deux années.

2.4.3. Recherche de groupes de sites homogènes par variable et par variété durant deux années sur les trois sites: Résultats du test de Tukey :

Les groupes des moyennes de sites homogènes par variable et par variété obtenus par le test de Tukey sont illustrés dans les tableaux 41 à 46. Elles détaillent et complètent les résultats obtenus dans le tableau 39.

Les résultats soulignés correspondent à des moyennes ou à des groupes de moyennes de sites qui ne sont pas significativement différents les uns des autres.

L'examen des résultats du tableau 41 du test de Tukey sur la variable phénologique EPS et par variété montre que 3 groupes de site homogènes se dégagent chez toutes les variétés de blé tendre étudiées. Elles fournissent des réponses différentes d'un site à l'autre. Leur stade phénologique semble plus long sur le site de Constantine. Les 10 variétés de blé tendre cultivées sur cette zone sont plus tardives que celles cultivées à Guelma qui semblent beaucoup plus précoces.

Tableau 41: Groupes de moyennes des variétés homogènes par la variable EPS durant deux années sur les trois sites: Résultats du test de Tukey.

Variétés	Moyenne de la variable par site et groupe des moyennes			Nombre de groupes de sites homogènes
V11	Constantine 144,500	Sétif 132,500	Guelma 123,000	3
V12	Constantine 144,500	Sétif 128,625	Guelma 117,500	3
V13	Constantine 140,500	Sétif 131,500	Guelma 126,000	3
V14	Constantine 142,000	Sétif 129,500	Guelma 117,500	3
V15	Constantine 140,500	Sétif 127,500	Guelma 117,500	3
V16	Constantine 142,000	Sétif 124,750	Guelma 117,500	3
V17	Constantine 139,500	Sétif 127,500	Guelma 117,500	3
V18	Constantine 143,500	Sétif 127,000	Guelma 116,000	3
V19	Constantine 141,500	Sétif 126,125	Guelma 114,000	3
V20	Constantine 140,500	Sétif 128,625	Guelma 117,500	3

Selon le tableau 42 deux groupes de sites homogènes se démarquent chez les variétés locales V12, V13 et les lignées introduites V15, V18 et V20 pour la variable morphologique HTR durant les deux années d'étude. La variété locale Ain Abid (V12) présente la même réponse de cette variable sur les sites de Guelma et Sétif formant ainsi le premier groupe de site homogène correspondant à la variété la plus haute sur ces deux sites suivi de Constantine en second groupe. Pour les autres variétés, le groupe de séparation des sites homogènes isole 2 groupes distincts de sites : le premier groupe comprenant les variétés Hidhab (V13), les lignées Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi (V15), Kauz/Pastor/Fiscal (V18) et

Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna (V20) les plus hautes, regroupant le site Guelma et Constantine et le second groupe Constantine et Sétif.

Tableau 42: Groupes de moyennes des variétés homogènes par la variable HTR durant les deux années sur les trois sites : Résultats du test de Tukey.

Variétés	Moyenne de la variable par site et groupe des moyennes			Nombre de groupes de sites homogènes
V12	Guelma 91,00	Sétif 83,75	Constantine 75,88	2
V13	Guelma 97,708	Constantine 94,250	Sétif 90,250	2
V15	Guelma 97,875	Constantine 92,500	Sétif 87,750	2
V18	Guelma 100,50	Constantine 92,67	Sétif 87,50	2
V20	Constantine 102,63	Guelma 93,54	Sétif 87,13	2

Le test Tukey de séparation des sites homogènes isole 3 et 2 groupes de sites distincts pour le paramètre NE/M² chez les 10 variétés de blé tendre (Tableau 43). La lignée V17 (Thelin //2*Attila*2/Pastor) fournit des réponses différentes en nombre de grains par mètre carré et ceci d'un site à l'autre. Cependant 50% des variétés fournissent différemment le paramètre du rendement NE/M² et se développent sur 2 groupes de sites homogènes, le premier groupe est celui de Sétif et Constantine suivi du second groupe formé de Constantine et Guelma et ceci pour les variétés locales Arz (V12) et Hidhab (V13) et les lignées introduites Babax/LR42//Babax*2/3/Vivitsi (V15), PRL/2*Pastor (V19) et Babax/LR42//Babax*2/3/Kukuna (V20). De même la caractéristiques NE/M² s'exprime différemment d'un site à l'autre chez les autres variétés et le test de Tukey isole 2 groupes de sites homogènes sur les deux années d'étude. En résumé le paramètre du rendement NE/M² est plus important sur les sites de Sétif et Constantine.

Tableau 43 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par la variable NE/M² durant deux années sur les trois sites : Résultats du test de Tukey.

Variétés	Moyenne de la variable par site et groupe des moyennes			Nombre de groupes de sites homogènes
V12	Sétif 417,50	Constantine 384,42	Guelma 356,00	2
V13	Sétif 419,50	Constantine 324,88	Guelma 310,83	2
V14	Sétif 440,63	Guelma 375,75	Constantine 349,63	2
V15	Sétif 385,15	Constantine 381,42	Guelma 359,90	2
V16	Constantine 418,3	Sétif 357,47	Guelma 348,60	2
V17	Sétif 553,08	Guelma 456,54	Constantine 321,38	3
V18	Constantine 438,13	Sétif 436,17	Guelma 351,88	2
V19	Sétif 429,67	Constantine 398,42	Guelma 352,63	2
V20	Sétif 445,92	Constantine 426,29	Guelma 331,50	2

Le test Tukey de séparation des sites homogènes isole 3 et 2 groupes de sites distincts pour le paramètre NGE chez les 10 variétés de blé tendre (Tableau 44). La lignée WBL 11*2/Brambling (V16) se répartie sur 3 groupes de sites distincts et fournit différemment le paramètre du rendement NGE d'une zone à l'autre. Les autres variétés s'expriment différemment sur 2 groupes de sites qui diffèrent d'une variété à l'autre. Les 10 variétés de blé tendre fournissent le meilleur nombre de grains par épi sur la zone de Guelma à l'exception des lignées introduites Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17), Prl/2*Pastor (V19) et Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna (V20) qui produisent le meilleur paramètre du rendement NGE à Constantine.

Tableau 44 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par la variable NGE durant deux années sur les trois sites: Résultats du test de Tukey.

Variétés	Moyenne de la variable par site et groupe des moyennes			Nombre de groupes de sites homogènes
V11	Guelma 61,33	Constantine 48,67	Sétif 48,17	2
V12	Guelma 45,13	Constantine 44,00	Sétif 35,00	2
V13	Guelma 60,13	Constantine 49,71	Sétif 28,46	2
V14	Guelma 53,38	Constantine 51,88	Sétif 32,25	2
V15	Guelma 51,13	Constantine 48,88	Sétif 37,00	2
V16	Guelma 59,38	Constantine 42,63	Sétif 33,50	3
V17	Constantine 48,63	Guelma 47,13	Sétif 31,00	2
V18	Guelma 52,75	Constantine 41,00	Sétif 35,13	2
V19	Constantine 59,42	Guelma 56,83	Sétif 42,13	2
V20	Constantine 51,2	Guelma 49,16	Sétif 33,542	2

L'examen des résultats du tableau 45 du test de Tukey sur la variable du paramètre de rendement PMG et par variété montre que 3 groupes de site homogènes se dégagent chez 6 variétés de blé tendre étudiées. Les variétés sont V12, V14, V16, V18, V19 et V20. Elles fournissent des réponses différentes d'un site à l'autre (meilleure réponse du paramètre de rendement PMG sur le site de Guelma) car leur poids de mille grains PMG change d'un milieu à un autre ce qui dénote d'une importante variabilité génotypique. Les autres variétés se répartissent sur 2 groupes de sites distincts lors des deux années d'étude (Tableau 45).

Tableau 45 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par la variable PMG durant deux années sur les trois sites: Résultats du test de Tukey.

Variétés	Moyenne de la variable par site et groupe des moyennes			Nombre de groupes de sites homogènes
V11	Sétif 43,437	Constantine 37,950	Guelma 33,825	2
V12	Guelma 47,750	Constantine 40,388	Sétif 33,975	3
V13	Guelma 45,837	Constantine 39,862	Sétif 33,613	2
V14	Guelma 49,400	Constantine 40,325	Sétif 31,625	3
V15	Sétif 47,313	Constantine 43,100	Guelma 33,112	2
V16	Guelma 51,025	Constantine 38,050	Sétif 31,987	3
V18	Guelma 50,600	Constantine 40,425	Sétif 34,375	3
V19	Guelma 49,000	Constantine 42,087	Sétif 37,063	3
V20	Guelma 49,538	Constantine 43,162	Sétif 30,875	3

Les résultats du tableau 46 illustrent que toutes les variétés de blé tendre étudiées présentent des comportements différents d'un site à l'autre et se répartissent sur 2 groupes de sites homogènes. Elles fournissent un rendement RDT similaires sur 2 sites : Constantine et Sétif formant ainsi le premier groupe de site homogène (même rendement sur ces 2 zones), le second groupe de site est celui de Sétif et Guelma. Ces variétés se répartissent ainsi en deux groupes de sites homogènes au cours de deux années d'étude. En résumé les variétés locales Ain Abid (V11), Arz (V12) et introduites Pastor/Wbll1 (V14), Wbll1*2/Brambling (V16), Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) et Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna (V20) fournissent les meilleurs rendements RDT sur le site de Constantine lors des deux années d'étude.

Tableau 46 : Groupes de moyennes des variétés homogènes par la variable RDT durant deux années sur les trois sites: Résultats du test de Tukey.

Variétés	Moyenne de la variable par site et groupe des moyennes			Nombre de groupes de sites homogènes
V11	Constantine 53,637	Sétif 39,861	Guelma 30,066	2
V12	Constantine 45,337	Sétif 37,990	Guelma 32,623	2
V14	Constantine 48,41	Guelma 40,53	Sétif 34,57	2
V16	Constantine 51,91	Guelma 36,69	Sétif 32,68	2
V17	Constantine 50,663	Sétif 38,806	Guelma 37,746	2
V20	Constantine 51,29	Guelma 35,22	Sétif 31,97	2

2.4.4. Effet années sur les paramètres agronomiques sur les 3 sites étudiées (Analyse de la variance. Résultat du test de Tukey)

L'analyse statistique illustre un effet très hautement significatif des différents paramètres sur les deux années d'étude. Les résultats montrent que le paramètre du rendement NGE s'exprime le mieux durant l'année 2010-2011 (A1) tandis que l'ensemble des autres variables répondent efficacement durant la deuxième année d'étude 2011-2012 (A2), à savoir la hauteur de la plante (HTR) et l'ensemble des paramètres de rendement : NE/M^2 et RDT. Les paramètres des composantes du rendement PMG et le paramètre phénologique EPS s'expriment de la même manière sur les deux années d'étude. Ces deux derniers paramètres confirment un cycle végétatif similaire chez les variétés étudiées sur les différents sites et fournissent durant la récolte la même composante du rendement PMG (Tableau 47).

Tableau 47 : Effet année sur la moyenne des variables agronomiques étudiées sur les 10 variétés de blé tendre sur les trois sites: Résultats du test de Tukey.

	Moyenne des paramètres agronomiques					
	EPS	**HTR**	**NE/M^2**	**NGE**	**PMG**	**RDT**
ANNEES	A1 :129,6 a	A2 :95,95 a	A2 : 425 a	A1 :54,1 a	A2 : 41 a	A2 :44,8 a
	A2 :129,4 a	A1 :85,9 b	A1 : 360 b	A2 :37,4 b	A1 : 40,6 a	A1 :36,9 b
PR	10,18****	154,82***	5,15***	28,07***	26,73***	10,98***

2.4.5. Classification des moyennes et groupes homogènes des données agronomiques établis par Tukey, chez les 10 variétés de blé tendre par lieu sur les 2 années :

Les résultats statistiques montrent que sur les deux années d'étude, le site de Guelma a fourni les meilleurs composants du rendement : NGE et PMG ainsi que le meilleur paramètre morphologique HTR donc les variétés se développent mieux sur ce site. Sétif a fourni un composant du rendement NE/M^2 important et Constantine un meilleur rendement RDT. Ce dernier site se démarque aussi par le cycle végétatif le plus long donc les variétés cultivées sur Constantine sont les plus tardives par rapport aux cultivars des deux autres environnements. Les variétés les plus précoces sont celles cultivées sur le site de Guelma, soit une différence de 23,5 jours par rapport à celles de Constantine (Tableau 48). Selon Kara (2001) la précocité à l'épiaison et à maturité des céréales cultivées en zones méditerranéennes est un mécanisme important d'esquive et d'évitement de la sécheresse tardive.

Tableau 48 : Classification des moyennes et groupes homogènes des données agronomiques établis par Tukey, chez les 10 variétés de blé tendre par lieu sur les 2 années

Sites	**Moyenne des paramètres agronomiques**					
	EPS	**HTR**	**NE/M^2**	**NGE**	**PMG**	**RDT**
Sétif	128,3 b	88,18 b	428 a	35,65 c	33,81 c	37,13 b
Constantine	141,9 a	90,48 b	381,5 b	48,18 b	40,81 b	48,63 a
Guelma	118,4 c	94,15 a	368,6 b	53,63 a	47,88 a	36,91 b

2.5. Interaction génotypes-milieu des paramètres agronomiques sur les 3 sites au cours de l'année 2010-2011 (Analyse de la variance) :

L'effet milieu et l'effet génotype sont réalisés par le biais d'une analyse de la variance. Les résultats statistiques illustrés sur le tableau 49 montrent que le génotype est peu influant sur les paramètres agronomiques à l'exception de la hauteur de la plante HTR ($F= 9,5^{***}$), inversement, le milieu influe très significativement sur tous les paramètres agronomiques. Cependant, l'interaction génotypes-milieu enregistrée est très hautement significative entre tous les paramètres agronomiques étudiés au cours de l'années 2010-2011.

Tableau 49 : Analyse de la variance des paramètres agronomiques des 10 variétés de blé tendre. Interaction génotypes-milieu au cours de l'année 2010-2011

	Moyenne des paramètres agronomiques					
	EPS	**HTR**	**NE/M²**	**NGE**	**PMG**	**RDT**
F : milieux	572^{***}	$18,97^{***}$	$29,38^{***}$	$42,69^{***}$	$56,07^{***}$	$42,15^{***}$
F: génotypes	$0,4^{NS}$	$9,5^{***}$	$1,76^{NS}$	$2,02^{NS}$	$0,79^{NS}$	$0,5^{NS}$
F : Interaction G x E	$155,73^{***}$	$21,28^{***}$	$8,38^{***}$	$12,71^{***}$	$12,01^{***}$	$8,31^{***}$

2.6. Interaction génotypes-milieu des paramètres agronomiques sur les 3 sites au cours de l'année 2011-2012 (Analyse de la variance) :

Les résultats de l'analyse de la variance reportés sur le tableau 50, montrent que le milieu a une influence très hautement significative sur les paramètres agronomiques étudiés à l'exception de la composante du rendement NE/M^2. Cependant, le génotype semble avoir un effet plus marqué sur la hauteur de la plante HTR. Cette interaction du génotype sur le paramètre morphologique HTR est significative lors des deux années d'étude (Tableaux 49 et 50). Les résultats enregistrés montrent également que l'interaction génotypes-milieu est très hautement significative pour l'ensemble des données agronomiques sauf pour la composante du rendement NE/M^2.

Tableau 50 : Analyse de la variance des paramètres agronomiques des 10 variétés de blé tendre. Interaction génotypes-milieu au cours de l'année 2011-2012.

	Moyenne des paramètres agronomiques					
	EPS	**HTR**	**NE/M²**	**NGE**	**PMG**	**RDT**
F : milieux	717,24***	71,80***	3,09 NS	43,07***	208,43***	91,53***
F :génotypes	0,49NS	2,34*	1,11 NS	1,16 NS	0,36 NS	0,36 NS
F : Interaction G x E	259,15***	24,27***	1,52 NS	10,27***	41,84***	17,36***

P > α = 0,05 : (ns) différence non significative, P ≤ α = 0,05 : (*) différence significative, P ≤ α = 0,01 : (**) différence hautement significative, P≤α= 0,001 : (***) différence très hautement significative

2.7. Résultats des données biochimiques :

2.7.1. Analyse des paramètres biochimiques par variété:

Les résultats des valeurs moyennes des taux de protéines totales (Prot), d'amidon (Am) et d'humidité (H), en % de matières sèches, sont reportés au tableau 51 pour les cultivars de blé tendre étudiés sur l'ensemble des 3 sites durant la seconde année expérimentale.

Les teneurs en protéines totales obtenues sont relativement élevées pour l'ensemble des variétés de blé tendre. La lignée Kauz/Pastor/Fiscal (V18) enregistre la teneur en protéines totales la plus élevée (13,83%), la plus faible étant notée pour la lignée Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna (V20), de l'ordre de 11.53% et ceci sur l'ensemble des 3 sites expérimentaux (Tableau 51). Selon Kara et *al.*, (2014), le site de Sétif (semi-aride) enregistre les teneurs en protéines totales les plus élevées (15,45%) chez la lignée Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17), alors que les plus faibles sont obtenues sur le site de Guelma (sub-humide) pour la variété locale Arz (10%). Cependant, les teneurs en protéines enregistrées des variétés de blé tendre sont dans les normes établies par Atwell (2001). Ainsi, la teneur en protéines des farines de blé destinées à la fabrication de produits de cuisson varie de 7 à 15% de matière sèche, ce qui est en accord avec les teneurs moyennes en protéines des farines obtenues.

Tableau 51 : Valeurs moyennes des paramètres biochimiques (teneurs en protéines totales % de M.S, en en amidon en % M.S et en humidité % M.S) des 10 variétés de blé tendre sur les 3 sites d'étude. Analyse de la variance test de Tukey.

	Variétés /Lignées	Prot	Am	H
V11	**Ain abid**	12,59 ± 0,5 ab	62,68 ± 3,4 c	11,70 ±0,6 ab
V12	**Arz**	12,34 ± 0,54 ab	65,01 ± 1,4 abc	11,68 ± 1,3 ab
V13	**Hidhab**	12,99 ±0,4 ab	64,92 ±3,1 abc	11,91 ± 0,7 ab
V14	**Pastor/Wbll1**	12,62 ± 1,1 ab	65,13 ±0,6 abc	11,33 ± 1,4 b
V15	**Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi**	12,72 ± 2,1 ab	65,30 ± 1,4 ab	11,56 ± 1,4 b
V16	**Wbll1*2/Bramblig**	13,04 ± 0,4 ab	64,82 ± 1,5 abc	11,26 ±0,5 b
V17	**Thelin//2*Attila*2/Pastor**	13,10 ± 0,5 ab	64,12±4,7 ab	11,95 ±1,3 ab
V18	**Kauz/Pastor/Fiscal**	13,83 ± 1,2 a	62,71±4,5 bc	12,00 ± 0,6 ab
V19	**Prl/2*Pastor**	12,32 ± 1,4 ab	65,74 ±4,3 a	12,07 ± 0,6 ab
V20	**Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna**	11,53 ± 0,4 b	64,67±3,1 abc	12,92 ±0,5 a

Selon le tableau 51, la teneur en amidon la plus élevée (65.74%) est obtenue sur la lignée Prl/2*Pastor (V19) et la plus faible sur la variété locale Ain Abid (V11), de l'ordre de 62.68% sur les 3 sites d'étude. D'après les résultats de Kara *et al.,* (2014) la lignée Prl/2*Pastor (V19) enregistre les teneurs les plus importantes en amidon sur le site de Constantine (67%). Quant aux lignées Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) et Kauz/Pastor/Fiscal (V18) elles ont les teneurs les plus faibles (61,10%) et (61,80%) respectivement sur les zones de Sétif et Guelma. Ces teneurs en amidon sont en accord avec celles établies par Atwell (2001) pour le blé tendre avec un intervalle entre 63 et 72% de matière sèche.

Les résultats statistiques sur la teneur en humidité, montrent que la valeur la plus importante en ce paramètre est obtenue exclusivement chez la lignée (V20) Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna sur les 3 environnements expérimentaux (Tableau 51). Selon Kara et *al.,* (2014), les valeurs de l'humidité varient significativement entre les différents génotypes, les teneurs varient de 11,20% à 13,10% pour les variétés cultivées sur le site de Guelma, de 9,67% à 13.23% sur celles cultivées à Constantine et entre 9,30% et 12,80% sur

celles cultivées à Sétif. En effet, la réglementation impose une teneur en eau < à 15% afin de faciliter la conservation et d'éviter une altération des graines.

2.7.2. Effet du lieu et du génotype:

Les valeurs moyennes des paramètres biochimiques par lieu sont reportées sur le tableau 52. Les résultats statistiques révèlent que les teneurs en protéines totales sont plus importantes sur l'essai expérimental de Sétif. Sur les sites de Constantine et Guelma, les variétés fournissent les plus fortes teneurs en amidon et en humidité et les plus faibles teneurs en protéines totales. La comparaison des moyennes pour chaque paramètre biochimique et par site met en évidence deux groupes homogènes selon Tukey.

Tableau 52 : Classification des moyennes et groupes homogènes des analyses biochimiques établies par Tukey, chez les variétés de blé tendre par site (Analyse de la variance).

	Prot	**Am**	**H**
Sétif	13,97 a	63,37 b	11,36 b
Constantine	11,90 b	65,57 a	11,91 a
Guelma	12,90 b	64,59 a	12,25 a

i

L'effet génotypes-milieu est effectué par une analyse de la variance à deux facteurs. Les résultats statistiques reportés sur le tableau 53 montrent que le génotype est très hautement significatif pour l'amidon et juste significatif pour l'humidité, mais non influant sur la teneur en protéines totales enregistrées sur les cultivars étudiés.

Tableau 53 : Analyse de la variance des paramètres biochimiques. Interaction génotypes-milieu chez les 10 variétés de blé tendre

	Prot	**Am**	**H**
F : lieu	$18,82^{***}$	$12,91^{***}$	$7,93^{***}$
F : Génotype	$1,22^{NS}$	$3,41^{***}$	$2,59^{*}$
F : Interaction GxE	$5,21^{***}$	$7,27^{***}$	$4,35^{***}$

Cependant, le milieu influe très significativement sur tous les paramètres biochimiques et l'interaction génotypes-milieu est très hautement significative pour tous les paramètres biochimiques étudiés.

2.8. Etude de la variation des paramètres technologique:

2.8.1. Analyse des caractéristiques technologiques par variété:

Les caractéristiques technologiques sont effectuées par l'Alvéographe Chopin. Ce test permet de mesurer les paramètres rhéologiques de ténacité en mm (P), de gonflement en cm^3 (G), d'extensibilité en mm en (L) et l'énergie nécessaire à la formation d'un pâton, c'est le travail de déformation en 10^{-4}J (W). Le rapport de configuration est l'équilibre entre la ténacité et l'élasticité (*P/L*). La teneur en gluten humide (GH), sec (GS) exprimées en % de matière fraiche et les tests technologiques de Pelshenke (Pel) exprimés en min. et de sédimentation (SDS) en ml sont reportés sur le Tableau 54.

Tableau 54 : Valeurs moyennes des caractéristiques technologiques des blés tendres (Moyenne sur les 3 sites expérimentaux). Analyse de la variance et Test de Tukey.

Var.	SDS	Pel	GH	GS	W	G	P/L
V11	31,5± 0,68 ab	53,0± 1,1 bc	29±1,3 bcd	10,16±0,9 bc	225±0,4 abc	17,5±0,02 c	1,45±0,01 ab
V12	33,6± 0,52 a	43,0±0,8 cd	31±1,7 abc	11,00±0,5 ab	255±0,7 ab	20,4±0,05 abc	0,94±0,01 cd
V13	29,5±0,34 ab	36,5±1,7 d	32±0,4 ab	11,03±0,9 ab	189±0,16 bc	18,6±0,05 abc	1,12±0,02 bcd
V14	27,7±0,45 ab	47,5± 1,7 bcd	33±0,7 a	11,93±0,6 a	250±0,5 ab	17,9±0,04 bc	1,57±0,04 a
V15	27,0±0,44 ab	38,6 ±1,5 cd	31±0,6 abcd	10,96±0,3 ab	165±0,04 c	18,1±0,03 abc	0,98±0,01 cd
V16	26,0±0,23 bc	48,8±1,6 bcd	30±0,6 abcd	10,53±0,4 bc	228±0,8 abc	19,2±0,08 abc	0,97±0,01 cd
V17	25,8±0,44 bc	63±1,6 ab	31±0,6 abcd	10,8±0,6 abc	256±0,08 abc	20,9±0,02 ab	0,77±0,02 d
V18	26,3±0,67 bc	68,8±2,4 a	31±0,4 abcd	10,7±0,6 abc	300±0,09 a	21,1±0,01 a	0,95±0,03 cd
V19	25,0±0,44 bc	53,6 ±1,3 abc	27±0,4 d	9,54 ±0,3 c	152±0,05 c	17,3±0,02 c	0,80±0,02 d
V20	19,3±0,65 c	40,6±2,5 cd	28±0,5 cd	10,0 ±0,4 bc	218±0,06 bc	18,3±0,04 abc	1,21±0,05 abc

Les valeurs moyennes des caractéristiques alvéographiques, W (Force) et G (Gonflement) varient d'un cultivar à un autre. Elles enregistrent les valeurs les plus élevées chez la lignée Kauz/Pastor/Fiscal (V18). Cette dernière enregistre également la valeur du Pelshenke la plus importante. Le travail de déformation le plus élevé enregistré chez cette lignée introduite (W = (300 $x10^{-4}$) ± 0,09 J) dépasse les normes algériennes de panification J.O.R.A. (1991) qui varient entre 130 et 180 $x10^{-4}$J et dépassent également les intervalles des normes données par Guinet et Godon (1994) de panification française (W entre (200 et 250) $x10^{-4}$J). Ce génotype est caractérise par une force boulangère très élevée (blé de force), panifiable malgré ses propriétés rhéologiques moyennes. De même les lignées Pastor/Wbll1 (V14) et Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) qui présentent des valeurs de W qui dépassent les normes de panifications algériennes et françaises émises sont considérées également comme des blés de Force. Les autres cultivars ont des valeurs W qui sont dans les normes algériennes. Ce sont des variétés qui se caractérisent par une bonne force boulangère. Les valeurs de gonflement G sont relativement moyennes et restent faibles, car elles s'éloignent des normes algériennes et françaises (G > 20 cm^3). Trois variétés à bon gonflement sont consignées sur le tableau dont les valeurs de panification sont dans les normes émises, Arz (V12), Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) et Kauz/Pastor/Fiscal (V18). De même les valeurs du rapport de configuration *P/L* restent élevées chez l'ensemble des variétés et dépassent la norme algérienne de panification J.O.R.A. (1991) qui varie entre 0,45 et 0,65 et les valeurs des normes françaises qui se situent entre 0,5 et 0,7. Ces valeurs élevées de *P/L* renseignent sur une forte ténacité des pâtes et sur une faible extensibilité, l'alvéogramme est légèrement déséquilibré. Les autres tests Pelshenke et SDS révèlent que les variétés étudiées sont des blés de moyenne et de bonne qualité. Les teneurs en gluten humides sont inférieures à l'intervalle de 33-34% indiqué par Godon (1991) sauf pour la lignée Pastor/Wbll1 (V14) et les valeurs du Gluten sec sont également inférieures à 12,5% trouvé par Ounane *et al.,* (2006).

2.8.2. Effet du lieu et du génotype sur les caractéristiques technologiques:

Les valeurs moyennes des tests technologiques par lieu sont données au tableau 55. Les résultats montrent que l'ensemble des paramètres technologiques enregistrent les valeurs les plus élevées dans les essais de Sétif et Guelma.

Tableau 55 : Classification des moyennes et groupes homogènes des analyses technologiques établis par Tukey, chez les variétés de blé tendre par site (Analyse de la variance).

	SDS	**Pel**	**GH**	**GS**	**W**	**G**	***P/L***
Sétif	30,2 a	58,25 a	31,29 a	10,57 a	250,32 a	20,56 a	0,88 b
Constantine	25,4 b	37,94 b	30,67 a	10,70 a	170,12 b	17,12 c	1,23 a
Guelma	25,97 b	52 a	31,29 a	10,77 a	251,10 a	19,19 b	1,12 a

Les blés cultivés sur ces zones sont de bonne qualité et produisent une farine à force boulangère très élevée. Cependant les variétés cultivées sur le site de Constantine sont de qualité moyenne et fournissent une farine de bonne force boulangère.

Les résultats statistiques de l'analyse de la variance regroupés sur le tableau 56 montrent que le génotype, influe très significativement sur les paramètres technologiques sauf sur la teneur en gluten.

Tableau 56 : Analyse de la variance des caractéristiques technologiques. Interaction génotypes-milieu chez les 10 variétés de blé tendre

	SDS	**Pel**	**GH**	**GS**	**W**	**G**	**P/L**
F : lieu	$7,55^{***}$	$19,44^{***}$	$4,73^{***}$	$4,75^{***}$	$4,46^{***}$	$2,88^{**}$	$6,73^{***}$
F : Génotype	$5,33^{***}$	$6,20^{***}$	$1,73^{NS}$	$0,26^{NS}$	$15,65^{***}$	$16,59^{***}$	$7,69^{***}$
F :Interaction	$7,11^{***}$	$13,65^{***}$	$4,46^{***}$	$3,89^{***}$	$10,59^{***}$	$7,70^{***}$	$9,85^{***}$

De même, le milieu et l'interaction génotypes-milieu influent très significativement sur tous les paramètres technologiques. Ce qui prouve que ces paramètres sont très variables en fonction du lieu de culture.

2.9. Analyse statistique bivariée : Coefficients de Corrélations :

Il est important d'étudier la signification technologique des tests par l'évaluation des corrélations entre tests et paramètres biochimiques et agronomiques. Les résultats du coefficient de corrélation de Pearson (avec la probabilité P) au cours des de l'année 2011-2012 sur les 3 sites expérimentaux sont représentés respectivement en annexe 44 et 45.

Sur l'annexe 44, des corrélations positives très hautement significatives se dégagent entre le gluten humide et le gluten sec (r = 0,9852) et entre le gonflement G et l'extensibilité L (r= 0,97). Des corrélations positives hautement significatives sont obtenues entre la ténacité P et le rapport de configuration *P/L* et entre P et le travail de déformation W, respectivement (r = 0,86) et (r = 0,721). Résultats confirmés par les travaux de Kerfal *et al.,* (2010) qui montrent des corrélations positives entre la force de la pâte W et la ténacité P et entre W et le gonflement G (r = 0,50), Des corrélations négatives se dégage entre W et la teneur en amidon Am (r = - 0,73) et entre Am et Pel (r = - 0,69). Le taux d'humidité H est corrélée négativement avec SDS, et avec GH et GS, respectivement (r = - 0,55 ; r = - 0,55 et r = - 0,61). Les protéines sont corrélées positivement avec Pel, GH et GS respectivement (r = 0,58 ; r = 0,54 et r = 0,55).

Selon le tableau de l'annexe 45, des corrélations se dégagent entre les paramètres biochimiques, technologiques et les caractères agronomiques. Des corrélations négatives se démarquent ente la teneur en amidon Am et le PMG (r = 0,66). Des corrélations positives se rencontrent entre SDS et EPS (r = 0,54) entre NE/M^2 et Pel, et entre G et NE/M^2 (r = 0,62, et r = 0,56) respectivement, entre *P/L* et la date d'épiaison EPS et NGE (r = 0,62 et r = 0,51) respectivement. Des corrélations négatives hautement significatives sont obtenues entre SDS et PMG et RDT (r = - 0,70 et r = - 0,69).

3. Etude de la variabilité des sous-unités de gluténines SG-HPM chez le blé tendre :

Les mobilités des différentes SG-HPM sont définies selon la nomenclature décrite par Payne et *al.,* (1983) et complétée par Branlard et *al.*,(1990). La figure 33 représente le diagramme de SG-HPM des 10 variétés de blé tendre de l'essai expérimental 2011-2012.

Les différentes sous-unités observées sur ces blés d'origine génétique assez variée sont en nombre de 12 : 1, 2, 2^*, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 22 (Tableau 57).

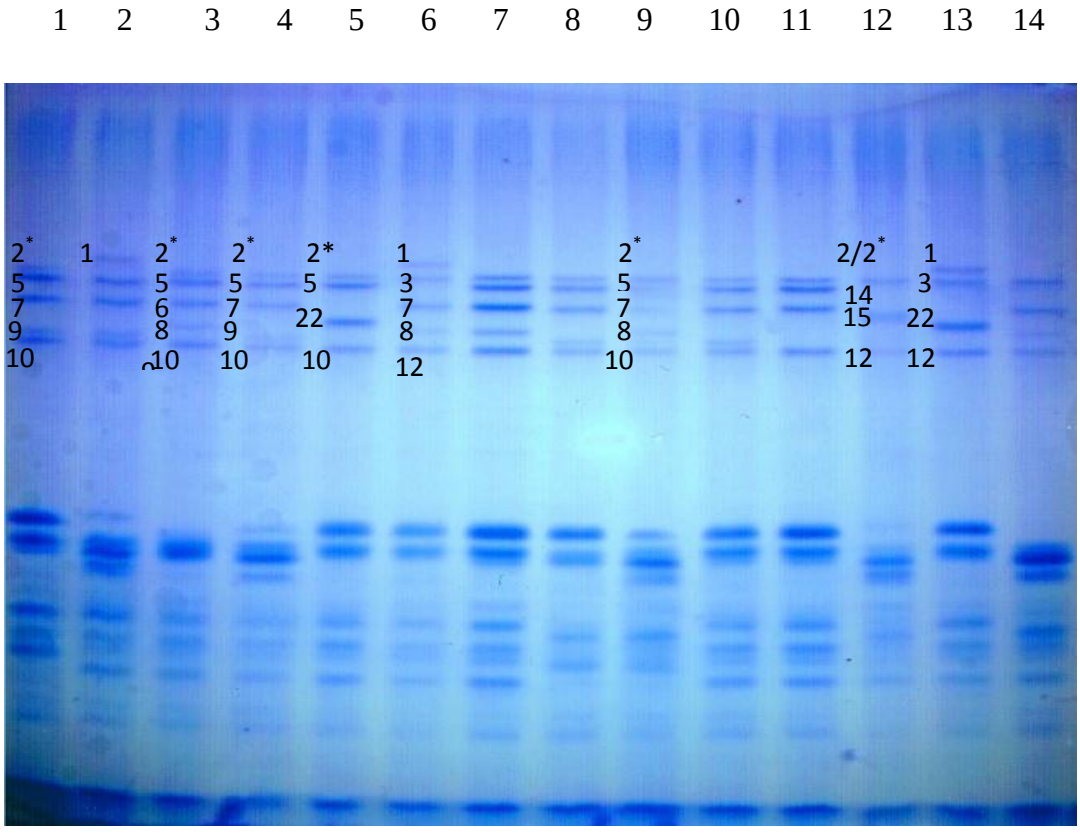


Figure 33 : Profils électrophorétique de 10 variétés de blé tendre par SDS-PAGE

1- Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna; 2: Prl/2*Pastor; 3- Recital; 4- Kauz/Pastor/Fiscal 5- Thelin//2*Attila*2/Pastor ; 6- Rempart ; 7- Wbll1*2/Bramblig; 8-Babax /Lr42 // Babax *2/3vivitsi; 9- Renan; 10- Pastor/Wbll1; 11- Hidhab; 12- Sappo; 13- Arz, 14- Ain Abid

Tableau 57 : Type de diagrammes des SG-HPM observées chez les variétés de blé tendre

Types	Diagrammes	Allèles			Variétés /Lignées
I	2*, 7+8, 2+12	b	b	a	**V11 : Ain Abid**
II	1, 22, 3+12	a	k	b	**V12 : Arz**
III	2*, 7, 5+10	b	a	d	**V13 : Hidhab**
IV	2*, 7+9, 5+10	b	c	d	**V14 : Pastor/Wbll1** **V15 : Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi** **V18: Kauz/Pastor/Fiscal** **V20:Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna**
V	2*, 6+8, 5+10	b	d	d	**V16 : Wbll1*2/Brambling**
VI	2*, 22, 5+10	b	k	d	**V17 :Thelin//2*Attila*2/Pastor**
VII	1, 7+9, 5+10	a	c	d	**V19 : Prl/2*Pastor**

Sur la base de la diversité génétique observée au niveau des 3 locus étudiés, 7 types de diagrammes sont établis. Le plus fréquent est : 2*-5-7-9-10 présents chez 4 variétés introduites. Les 6 autres diagrammes présentent une variété chacun (Tableau 57).

Tableau 58 : Fréquences alléliques au niveau des 3 locus Glu-A1, Glu-B1 et Glu-D1 chez les 10 variétés de blé tendre

Locus	Allèles	Bande	Nombre	Fréquence
Glu-A1	a	1	2	20%
	b	2*	8	80%
Glu-B1	a	7	1	10%
	b	7+8	1	10%
	c	7+9	5	50%
	d	6+8	1	10%
	k	22	2	20%
Glu-D1	a	2+12	1	10%
	b	3+12	1	10%
	d	5+10	8	80%

Le calcul des fréquences alléliques reportées sur le tableau 58, montrent que l'allèle b (2*) au niveau du locus (Glu-A1) et l'allèle d (5+10) au niveau du locus (Glu-D1) sont les plus fréquents et caractérisent la plupart des variétés avec une fréquence de 80% suivi de l'allèle c (7+9) sur le locus (Glu-B1) avec une fréquence de 50%. La fréquence la plus faible qui est de l'ordre de 10% regroupe les allèles a (7), b (7+8) et d (6+8) sur le locus (Glu-B1) et les allèles a (2+12) et b (3+12) sur le locus (Glu-D1). L'analyse des SG-HPM révèle une grande diversité au niveau des trois locus et plus particulièrement sur le locus (Glu-B1).

3.1. Indice de similarité des diagrammes variétaux chez le blé tendre :

Pour quantifier l'analogie ou la dissemblance des diagrammes, un indice de similarité ou de disimilarité est calculé selon Dedio *et al.,* (1967). L'indice de similarité (IRS) est calculé en rapportant l'IAS (Indice de similarité absolue) au nombre total (N) des composants présents dans l'un au moins des diagrammes des variétés comparées. L'IAS présente l'ensemble des bandes qui ne sont pas significativement différentes entre les deux diagrammes. Une bande n'est pas significativement différente d'une autre quand elles sont de même mobilité et/ou elles ne se distinguent pas par au moins 2 classes de concentration.

$$IRS = 100 \times IAS / N$$

Les indices de similarité sont réalisés sur les 10 variétés de blé tendre, représentés sous forme de matrice dans le tableau 59. Cette matrice indique que les indices varient entre 0% et 100%.

Les valeurs faibles signifient que les diagrammes présentent de nombreuses dissemblances, c'est le cas de Ain abid (V11) avec Arz (V12), Hidhab (V13) avec Arz (V12), Ain abid avec Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna,(V20), Ain abid avec Kauz/Pastor/Fiscal (V18), Wbll1*2/Brambling (V16), Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi (V15),et Ain abid (V11) avec Pastor/Wbll1 (V14) avec 0% de similarité. Ces variétés et lignées ont des origines génétiquement très éloignées.

Tableau 59 : Indices de similarité des blés tendres

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
100%	0%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	0%	20%	11
	100%	0%	0%	0%	0%	20%	0%	20%	0%	12
		100%	50%	50%	50%	50%	50%	20%	50%	13
			100%	100%	50%	50%	100%	50%	100%	14
				100%	50%	50%	100%	50%	100%	15
					100%	50%	50%	20%	50%	16
						100%	50%	20%	50%	17
							100%	50%	100%	18
								100%	50%	19
									100%	20

Lorsque les valeurs de l'indice de similarité sont élevées, les diagrammes apparaissent voisins et donc les lignées sont d'origine voisine, c'est le cas de Kauz/Pastor/Fiscal (V18) avec Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna (V20), et Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi (V15) avec Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna (V20) et Kauz/Pastor/Fiscal (V18) et c'est le cas de Pastor/Wbll1 (V14) avec Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna (V20) et avec Kauz/Pastor/Fiscal (V18) et ainsi de suite. Leur diagramme présente un indice de similarité IRS maximale de 100% (Tableau 59).

Une valeur moyenne de similarité (IRS=50%) est trouvée entre les variétés (Hidhab et Pastor/Wbll1 (V14) et entre Hidhab et Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi (V15) etc … (entre les autres lignées illustrées sur le tableau 59).

Selon Autran et Bourdet (1975) il existe une relation entre l'hétérogénéité électrophorétique des gliadines et l'origine génétique du blé. Les variétés dont les diagrammes sont très proches, elles sont génétiquement très apparentées et possèdent des indices de similarité élevé. Celles dont les diagrammes sont très différents, elles ont plutôt des origines génétiques éloignées et des IRS faibles.

3.2. Etablissement de diagramme type variétal :

L'analyse du diagramme électrophorétique et le calcul des indices de similarité mettent en évidence des différences variétales (Tableau 60).

Le diagramme type variétal est fondé sur un caractère qualitatif (absence ou présence d'un allèle ou d'une bande : 0 pour absence et 1 présence).

Tableau 60 : Diagramme des SG-HPM des Blés tendres révélées par SDS-PAGE

Locus	**Glu-A1**		**Glu-B1**					**Glu-D1**		
Variétés / Allèles	**a**	**b**	**a**	**b**	**c**	**d**	**k**	**a**	**b**	**d**
Ain abid	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
Arz	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Hidhab	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
Pastor/Wbll1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
Wbll1*2/Brambling	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
Thelin//2*Attila*2/Pastor	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
Kauz/Pastor/Fiscal	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
Prl/2*Pastor	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1

Le tableau 60 du diagramme type variétal montre que les variétés pouvant être distingué sans ambiguïté à partir d'une ou plusieurs différences significatives dans les diagrammes. Cette représentation permet de conserver une image réelle des gels pour servir comme base de données dans l'identification variétale.

3.3. Classification hiérarchique du blé tendre :

Les relations entre les variétés de blé tendre sont établies à partir de leurs ressemblances génétiques. Pour cela une représentation sous forme d'arbre hiérarchique ou dendrogramme est réalisée (figure 34). Ce dernier tient compte de la diversité des protéines de réserve étudiées (SG-HPM). La distance entre variétés (indice qui mesure combien deux

variétés différent) est la conséquence de la contribution des bandes protéiques (absence ou présence) à la formation de chacun des nœuds. Ces nœuds indiquent le degré de ressemblance et facilitent la classification hiérarchique des variétés de blé tendre selon leur constitution génétique.

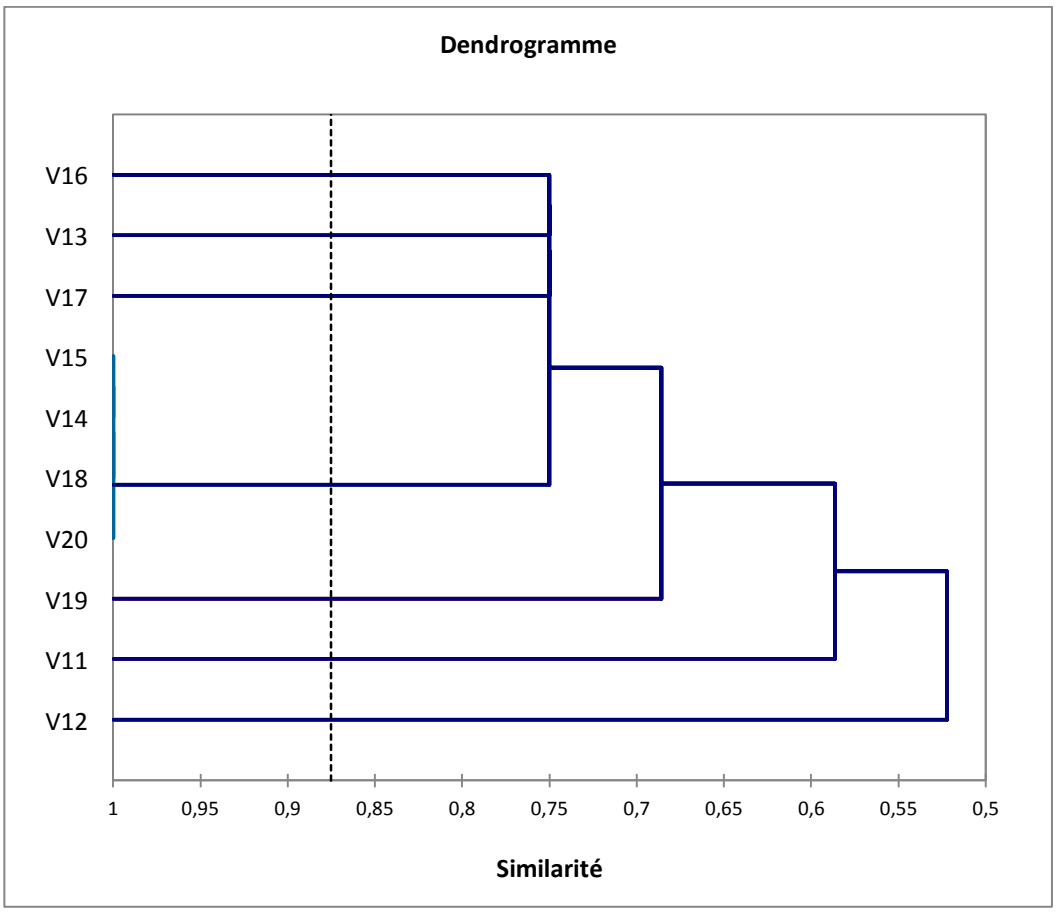


Figure 34 : Classification hiérarchique de 10 variétés de blés tendres selon la méthode UPGMA

La figure 34 montre que les 10 variétés de blé tendre sont classées en 2 groupes distincts dont le second est plus polymorphe que le premier. Chaque groupe est formé d'individus très proches génétiquement.

Le premier groupe est composé d'une seule variété locale Arz (V12). Le second groupe est formé de 2 clusters, dont le second est plus polymorphe que le premier, ce dernier cluster est composé seulement de la variété locale Ain Abid (V11) tandis que et l'autre cluster est composé de 2 sous-groupes le premier sous-groupe est formé par la lignée Prl/2*Pastor (V19) et le second sous-groupe est composé de variétés très semblables et génétiquement très proches (diagrammes types identiques), ce sous-groupe est constitué de

Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna (V20), Kauz/Pastor/Fiscal (V18), Pastor/Wbll1 (V14), Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi (V15), Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17), Hidhab (V13) et Wbll1*2/Brambling (V16).

3.4. Effet des Glutenines HPM sur la qualité des blés tendres :

Des approches sur les relations entre spectre électrophorétique des gluténines et la qualité (Orth et Buhuk, 1973) d'abord sans succès sont suivies de résultats de plus en plus probants (Branlard et Dardevet, 1985). Il est apparu que certaines SG-HPM sont corrélées avec la qualité des blés. Il est logique de rechercher des qualités technologiques intrinsèques.

L'objet de cette étude est de présenter les sous-unités gluténines de haut moléculaires qui sont corrélées avec les principales caractéristiques rhéologiques et de définir celles qui sont souhaitables de réunir au sein d'un même génotype pour obtenir un blé de qualité.

Les différentes sous unités observées sur les 10 blés tendres d'origine génétique assez variée sont peu nombreuses : 12. Les 12 bandes électrophorètiques sont les suivantes : 1, 2, 2*, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 22. Plusieurs de ces sous unités correspondent à des gènes liés et ceci pour les sous-unités 5 et 10, 7 et 8, 7 et 9, 3 et 12, 2 et 12, 6 et 8.

La qualité des blés tendre est appréciée par les tests de l'alveographe Chopin, de gonflement de Pelshenke, du test de sédimentation SDS, des teneurs en protéine et en gluten. L'étude menée est basée sur l'influence de la présence de chacune de ces unités sur les caractéristiques technologiques ci-dessus. Une comparaison des effets alléliques intra-locus est réalisée pour les divers critères technologiques étudiés et représentée sur les tableaux 61, 62 et 63)

Tableau 61 : Comparaison intra locus des effets des allèles des Gluténines HPM sur les valeurs moyennes des tests technologiques. (Allèles du locus Glu A1)

Allèles	**Prot**	**Pel**	**SDS**	**GH**	**GS**	**W**	**P**	**G**	***P/L***
1	12,33 ***	48,33 ***	29,08 **	29,3 ***	10,15 ***	215,4 ***	65,4 *	18,8 ***	0,87 *
2*	9,53	35,35	20,22	23,12	8,10	170,5	60,4	13,8	0,94

*, **, *** : différences significatives au seuil 5%, 1% et 1‰ respectivement.

Tableau 62 : Comparaison intra locus des effets des allèles des gluténines HPM sur les valeurs moyennes des tests technologiques. (Allèles du locus Glu B1)

Allèles	**Prot**	**Pel**	**SDS**	**GH**	**GS**	**W**	**P**	**G**	***P/L***
(7 - 8)	12,6	53	31,5	29,2	10	225	89	16	1,45
	**		***	**		***		***	***
22	12,7	53	29,5	31,3	11	255,5	74	20,7	0,85
(7 - 8)	12,6	53	31,5	29,2	10	225	89	16	1,45
			***	***	***	***	***	**	***
7	13	36,5	29,5	31,6	11	189,6	74	18,6	1,12
(7 - 8)	12,6	53	31,5	29,2	10	225	89	16	1,45
			***			***	***	***	***
(7 – 9)	12,5	49,4	25	30,2	10,6	255	89,2	16,2	1,45
(7 - 8)	12,6	53	31,5	29,2	10	225	89	16	1,45
	***	*	*	*		*	**	***	***
(6 – 8)	13	48,8	26	29,8	10,5	255,2	72	19,2	0,97
22	12,7	53	29,5	31,3	11	225,5	74	20,7	0,85
		***					***	**	***
7	13	36,5	29,5	31,6	11	189,6	74	18,6	1,12
22	12,7	53	29,5	31,3	11	225,5	74	20,7	0,85
	***	*	***			***		***	***
(7 – 9)	12,5	49,4	25	30,2	10,6	255	89,2	16,2	1,45
22	12,7	53	29,5	31,3	11	225,5	74	20,7	0,85
	***	**		**				***	**
(6 – 8)	13	48,8	26	29,8	10,5	225,2	72	19,2	0,97
7	13	36,5	29,5	31,6	11	189,6	74	18,6	1,12
		***	***	*		***	***		*
(7 – 9)	12,5	49,4	25	30,2	10,6	255	89,2	16,2	1,45
7	13	36,5	29,5	31,6	11	189,6	74	18,6	1,12
		***		***			***		**
(6 – 8)	13	48,8	26	29,8	10,5	225,2	72	19,2	0,97
(7 – 9)	12,5	49,4	25	30,2	10,6	255	89,2	16,2	1,45
	***						***	*	***
(6 – 8)	13	48,8	26	29,8	10,5	225,2	72	19,2	0,97

Tableau 63 : Comparaison intra locus des effets des allèles des gluténines HPM sur les valeurs moyennes des tests technologiques. (Allèles du locus Glu D1)

Allèles	Prot	Pel	SDS	GH	GS	W	P	G	*P/L*
(2 – 12)	12,6 **	53 ***	31,5 **	29,2 ***	10,16	225	89,2	16,2	1,45 ***
(3 – 12)	12,3	43	33,2	23,6	11	225,5	80,6	20,4	0,94
(2 – 12)	12,6 *	53 *	31,5 ***	29,2 **	10,16 **	225 ***	89,2	16,2 **	1,45 ***
(5 – 10)	12,7	49,4	26	30,4	10,6	224,4	82,2	18,9	1,08
(3 – 12)	12,3 ***	43 ***	33,2 ***	23,6 ***	11	225,5	80,6	20,4	0,94 *
(5 – 10)	10,7	49,4	26	30,4	10,6	224,4	82,2	18,9	1,08

*, **, *** : différences significatives au seuil 5%, 1% et 1‰ respectivement.

Les variations les plus élevées sont observables au loci Glu A1 et Glu D1. Plusieurs allèles portés par Glu B1 ont un effet très favorable sur le gluten humide GH, la force W, la ténacité P, le gonflement G, sur le *P/L* et le Pelshenke. Ces effets de comparaison sont étendus aux effets inter-loci (tableau 64). Un classement des allèles est effectué pour les neuf critères technologiques. Les résultats du tableau montrent la supériorité des allèles 22, (6 + 8), (7 + 9), (2 + 12), (5 + 10) et (7 + 8), par rapport aux autres allèles pour le W, le P, le SDS, le GH et le Pelshenke.

Les sous unité codée par 1AL c'est-à-dire 1 (Glu-A1a) et 2^{*} (Glu-A1b) gène allèle à la bande 1 ne présentent pas a un effet significatif sur la qualité technologique appréciées par les tests rhéologiques étudiés (Tableau 64).

Selon les résultats du tableau 64, les sous unités codées par 1BL c'est-à-dire les bandes 7 + 8 (Glu-B1b), 7 + 9 (Glu-B1c) et 6 + 8 (Glu-B1d) ont une influence sur la qualité des blés. Les résultats du tableau 63 montrent que la présence de la bande 7 + 8 (Glu-B1b), a un effet favorable sur le volume de sédimentation SDS, sur le GH, sur la ténacité P et sur le Pelshenke. Quant aux sous unités 7 + 9 (Glu-B1c) et 6 + 8 (GluB1d) ont une influence sur la force W, sur le gluten GH et sur la ténacité P. Selon les résultats obtenus, l'allèle 22 (Glu-B1k) a un effet direct sur la force W, le GH et le Pelshenke,

Les résultats consignés sur le tableau 64, montrent que les sous-unités codés par le chromosome 1DL c'est-à-dire l'allèle 5 + 10 (Glu-D1d) est lié à la ténacité P et au GH et

l'allèle 2+12 (Glu-D1a) est lié au volume de sédimentation SDS, au GH, à la ténacité P et au Pelshenke. Par contre les sous unités 5+10 qui correspondent à un allèle des sous unités 2+12 ou 3+12 ont un effet favorable très marqué sur la qualité. De manière générale, il semblerait que ce sont le Pelshenke, le SDS, la force W et la ténacité P qui varient le plus en fonction de la diversité allélique des gluténines de HPM. Cependant, les critères de gonflement G et le rapport de ténacité au gonflement *P/L* ne répondent pas de manière systématique aux variations alléliques de ces protéines. D'une manière générale, il n y a pas de différences significatives entre les valeurs moyennes en protéines, en gonflement G et du rapport *P/L* des variétés ayant l'un ou l'autre des allèles des loci Glu A1, Glu B1 et Glu D1.

Tableau 64 : Comparaison inter-loci des effets des 10 allèles des gluténines HPM sur les variations des valeurs moyennes des tests technologiques. Allèles des loci Glu A1, Glu B1 et Glu D1Comparaison selon la méthode de Tukey.

Protéines	6-8	7	5-10	22	2-12	7-8	7-9	1	3-12	2*
	13	13	12,70	12,70	12,60	12,60	12,50	12,33	12,3	9,53
Pelshenke	2-12	7-8	22	5-10	7-9	6-8	1	3-12	7	2*
	53	53	53	49,4	49,4	48,8	48,33	43	36,5	35,35
SDS	3-12	2-12	7-8	22	7	1	5-10	6-8	7-9	2*
	33,2	31,5	31,5	29,5	29,5	29,08	26	26	25	20,2
GH	7	22	5-10	7-9	6-8	1	2-12	7-8	3-12	2*
	31,6	31,3	30,4	30,2	29,8	29,2	29,2	29,2	23,6	23,12
GS	3-12	22	7	5-10	7-9	6-8	2-12	1	7-8	2*
	11	11	11	10,6	10,6	10,5	10,16	10,15	10	8,1
Force « W »	22	6-8	7-9	3-12	2-12	7-8	5-10	1	7	2*
	255,5	255,2	255	255,46	225	225	224,4	215,4	189,6	170,5
Ténacité « P »	2-12	7-9	7-8	5-10	3-12	22	7	6-8	1	2*
	89,2	89,2	89	82,2	80,6	74,6	74	72	65,4	60,4
Gonflement « G »	22	3-12	6-8	5-10	1	7	2-12	7-9	7-8	2*
	20,7	20,4	10,2	18,9	18,8	18,6	16,2	16,2	16,2	13,8
« P/L »	2-12	7-9	7-8	7	5-10	6-8	2*	3-12	1	22
	1,45	1,45	1,45	1,12	1,08	0,97	0,94	0,94	0,87	0,85

II. Discussion

A l'issue de cette étude et du traitement statistique de ces résultats, il apparait que les essais réalisés s'inscrivent pleinement dans le contexte de multiples travaux antérieurement publiés dans ce domaine, dans les différentes dimensions développées dans cette thèse : variétale, bioclimatique, agronomique, technologique.

Le stress abiotique demeure le facteur limitant majeur de la production des cultures de blé pour les 1,4 billions d'hectares de terres agricoles dans le Monde (Chandler et Bartels, 2003). En moyenne, il peut réduire le rendement en grain de 17 à 70% (Nouri-Ganbalani, *et al.*,2009). Pour remédier à cette situation, des variétés nouvelles sont en permanence adaptées aux conditions défavorables du milieu, par sélection classique ou, maintenant et de plus en plus, par les techniques de biotechnologie. Ces approches seront certainement toujours une composante centrale dans le package agricole.

Le stress hydrique est le facteur imprédictible à l'impact le plus important sur la sécurité alimentaire mondiale, il a été le catalyseur de plusieurs famines et guerres historiques et dévastatrices. Cette étude est une contribution pour comprendre les mécanismes de tolérance au stress hydrique chez des variétés de blé tendre *Triticum aestivum* L. et d'établir les interactions génotypes-milieux pour évaluer la variabilité génotypique.

Dans la première série d'essais de ces travaux, l'étude conjointe de différents mécanismes d'adaptation au stress hydrique, évalués dans des conditions semi-contrôlées, permet de caractériser l'effet du stress sur le comportement biochimiques des plantes dans des conditions déficitaires et leur comportement morpho-physiologique et agronomique en condition pluviale, sur champs. Les résultats statistiques des 10 variétés de blé tendre étudiées montrent que leur comportement est significativement différent face au déficit hydrique. En condition pluviale, ce sont les variétés Hamam 1 (V4) et Attila (V9) qui sont les plus productives et présentent le paramètre de rendement NE/M^2 le plus important (Figure 12). Quant au rendement, le plus faible est enregistré pour les variétés locales, Ain Abid (V1), Hidhab (V3) et la variété introduite Angi-4 (V7), situation courante sous climat méditerranéen (Araus *et al.*,2002) avec un impact négatif sur la fertilité de l'épi (Tambussi, *et al.*,2005) et le poids des mille grains PMG (He et Rajaram, 1994 ; Tian *et al.*, 2012). Selon Rekika (1997), ces faibles rendements pourraient résulter d'une production accrue de biomasse et/ou du système racinaire (El Fakhri *et al.*,2010), qui mobilisent alors chacun une part importante des photosynthètas. Cependant, il est à noter que Kara (2001), observe que les variétés les plus productives sont généralement les plus sensibles au déficit hydrique, alors

que Huang *et al.*,(2006) considèrent que le rendement est un caractère quantitatif complexe dont la variation dépend de plusieurs gènes, de contrôle donc très probablement multifactoriel. Outre leur importance intrinsèque, les composantes du rendement sont prises en considération en raison leur importance aussi dans la tolérance à la sécheresse ou au stress hydrique. Ainsi, si le poids des mille grains PMG est l'une des composantes du rendement et du caractère variétal, le nombre de grain par épi NGE est, lui, directement lié à la fertilité des fleurs. Ce facteur, déterminant pour le rendement en grain, est sensible aux facteurs abiotiques, surtout ceux liés aux températures extrêmes pendant la période de floraison car les basses températures nocturnes, la variabilité et les amplitudes thermiques provoquent la stérilité des fleurs, d'où des NGE faibles (Farooq *et al.*,(2010).

Concernant le PMG et le NGE, la variété introduite Cham 6 (V8) a les valeurs plus élevées et les variétés 5119 (V5) et Attila/2 Pastor (V10) les valeurs les plus faibles (Figure 12). Ce faible rendement pourrait résulter d'un cycle phénologique plus long et, de ce fait, d'une plus longue durée de phase végétative perturbant ainsi la période du remplissage du grain. Des corrélations positives se dégagent d'ailleurs entre des paramètres du rendement, en parfaite concordance avec des travaux antérieurs (Bamoun, 2004 ; Ali *et al.*, 2008 ; Yao *et al.*, 2014). De plus un NGE élevé augmente la disponibilité des assimilats pour le remplissage du grain (Maydup *et al.*,2010) et selon Khan *et al.*, (2010), la variété de céréale qui produit plus de grains par épi est considérée comme tolérante à la contrainte hydrique.

La productivité est généralement expliquée comme étant la résultante entre le rendement en grains et ces composantes, alors que l'adaptation semble être liée à certains caractères morphologiques comme la hauteur des chaumes. La hauteur de la plante est très influencée par le milieu notamment les facteurs limitant de la croissance qui sont liés aux paramètres climatiques, tels que la pluviométrie et la variabilité et les amplitudes thermiques qui peuvent contrarier la croissance et le développement des plantes (Khan *et al.*, 2010). Les résultats statistiques montrent une corrélation positive significative entre les dates d'épiaisons EPS et la hauteur de la plante HTR (Annexe 13). La variété locale Ain Abid (V1) et la variété introduite Angi-4 (V7) montrent les hauteurs des plantes les plus élevées et elles sont les plus tardives (Figure 12). A l'inverse, les variétés les plus précoces sont les plus courtes : Hamam 1 (V4) et Attila (V9). Ces résultats semblent corroborés à ceux de Gonzales *et al.*, (2003) qui notent que la hauteur des plantes est associée à leur phénologie. Selon Chen *et al.*, (2012), une paille relativement haute confère à la plante une certaine plasticité en conditions de stress hydrique. Le stade phénologique jouerait donc un rôle important dans la tolérance à la

sécheresse. L'approche de l'évitement des stress par les plantes, sur la base de la durée du cycle, est démontrée par des travaux antérieurs. Ainsi, la plante peut raccourcir son cycle pour éviter le stress hydrique en fin de cycle ou le gel printanier chez les variétés précoces (Kara, 2001). La précocité de l'épiaison peut être utilisée comme critère de sélection pour améliorer la production dans les zones sèches (Amor *et al*., 2005). C'est l'un des caractères les plus importants dans l'adaptation des plantes au déficit hydrique terminal. Ainsi, en conditions méditerranéennes, la recherche d'une plus grande précocité a été, jusqu'en 1992, le moyen le plus utilisé pour éviter les effets négatifs du déficit hydrique et des hautes températures de fin de cycle sur le remplissage des grains (Dib *et al.*, 1992). Selon Oosterom *et al.*, (1993), la précocité d'épiaison est positivement corrélée au rendement en grains. Cependant, le blé est généralement cultivé en conditions pluviales dans le bassin méditerranéen, qui imposent souvent un certain nombre de contraintes environnementales sur les variétés tardives. Une combinaison de la rareté de l'eau et des températures chaudes pendant la période de remplissage des grains, se traduit généralement par des baisses de rendement, mais dans la plupart des cas, on obtient une très bonne qualité de grain (Nazco *et al.*, 2012). Ce constat n'est cependant d'aucune utilité pratique en sélection, lorsqu'il s'agit de régions où le gel tardif persiste dans la durée. En fait, l'adaptation au stress hydrique est basée sur deux types de paramètres : la phénologie comme stratégie d'adaptation et les paramètres physiologiques.

Les résultats observés en conditions semi-contrôlées montrent que, lors d'un stress hydrique à 40% C.C., les plantes accumulent comme osmolyte la proline et les sucres solubles (Annexe 6). Cette accumulation constitue un véritable mécanisme de tolérance à la sècheresse, en particulier chez les variétés les plus résistantes qui, en association avec d'autres facteurs tels que la réduction de la transpiration par fermeture des stomates et la réduction de la surface foliaire, permet de garder la turgescence requise aussi élevée que possible (Wang *et al.*,2003 ; Zerrad *et al.*, 2008). Ces variétés donnent par conséquent les meilleurs rendements et présentent aussi la capacité de remplissage de grains la plus élevée (Maydup *et al.*,2010). La réponse des plantes aux variations de stress hydrique dépend à la fois des caractéristiques du stress et des aptitudes physiologiques de la plante. Les caractères physiologiques mesurés traduisent également une tolérance, dans le sens où un taux de proline nettement supérieur par rapport aux témoins indique une perturbation métabolique qui révèle et suit l'intensité du stress hydrique. L'évolution de la teneur en proline des feuilles des variétés de blé tendre étudiées montre l'effet du niveau du stress hydrique sur le métabolisme cellulaire. En effet, il est noté d'importantes différences dans les quantités accumulées de proline. A cet égard et à

l'issue de cette étude, il se dégage des groupes de variétés qui répondent différemment aux contraintes hydriques. Les variétés introduites Milan/S87230/Babax (V6) et 5119 (V5) avec des teneurs en proline les plus élevées et la variété locale stressée Ain Abid (V1) qui présente les teneurs les plus faibles (Figure 16). Cette différence résulte probablement d'un potentiel variétal génétiquement différent, ce qui est largement observé par ailleurs (Shao *et al.*,2006a ; Zerrad *et al.*, 2008 ; Geravandi *et al.*,2011). Cette accumulation de proline est une des stratégies adaptatives fréquemment observée chez les plantes pour limiter les effets du stress hydrique. Outre son rôle osmoprotecteur, la proline sert aussi de réserve de composés azotés et carbonés pour les multiples besoins de croissance de la plante (Zerrad *et al.*, 2008).

L'accumulation des sucres solubles résulte d'une grande variabilité génotypique. Leur augmentation est reliée à la variété de génotypes de blé dur et de blé tendre (Brinis, 1995 ; Kameli et Losel, 1995) sous contrainte hydrique et cette augmentation est plus marquée chez les génotypes les plus tolérants à la déshydratation (Bamoun, 2004). La présence de sucres solubles en période de chaleur et de sécheresse protégerait les thylakoïdes de l'altération irréversible des membranes et exercerait une action favorable sur la résistance protoplasmique à la sécheresse (Wang *et al.*,2003). La température, associée à l'insolation, pourrait être un facteur déterminant pour l'accumulation des sucres. Au stress imposé à 40% C.C., les variétés introduites Angi-4 (V7) et Attila (V9) accusent une augmentation importante de la teneur en sucres solubles (Annexe 6). Justement, elles se révèlent alors comme les variétés les plus tolérantes, contrairement à Attila/2 Pastor (V10) qui a les teneurs les plus faibles, elle est aussi la plus sensible à la contrainte hydrique. Selon Hare *et al.*,(1998), l'enrichissement des feuilles en sucres solubles a une grande incidence sur le maintien d'une pression de turgescence qui est à la base des différents processus contrôlant la vie d'une plante, tels : la photosynthèse, la translocation, la respiration.

La mesure de la teneur relative en eau (TRE) permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique de la plante, en réponse au stress salin et hydrique. Elle donne une évaluation aussi du maintien d'une turgescence cellulaire convenable (El Jaafari, 2000). L'évolution de la TRE des variétés étudiées montre que le stress hydrique entraîne une chute du pourcentage d'eau chez les variétés stressées. Cette chute est spécifique de la variété par son comportement vis-à-vis du manque d'eau. Les variétés les moins affectées par la contrainte hydrique sont Ain Abid (V1) et Angi-4 (V7). Leurs TRE sont les plus élevées par rapport aux autres cultivars (sous l'effet d'un stress à 40% C.C). Selon Shao *et al.* (2006b), le maintien d'une TRE élevée en condition de stress peut résulter de deux mécanismes

d'adaptation : le maintien d'une élasticité élevée des tissus ou une diminution de la pression osmotique. Ceci résulte probablement d'une osmorégulation active, par un mécanisme de tolérance au stress par ajustement osmotique lié à l'accumulation de la proline (Li *et al.*,2003 ; Geravandi *et al.*,2011). D'après Benlaribi et Monneveux (1988), les génotypes qui ont une meilleure aptitude à conserver une TRE assez élevée sont ceux qui accumulent plus de sucres solubles. C'est justement le cas spécifique des variétés Ain Abid (V1) et Angi-4 (V7) qui a, à la fois, la plus forte TRE, une forte teneur de sucres solubles et une faible accumulation de la proline (Figure 16). Le maintien d'une TRE élevée, sous stress hydrique, est donc une forme remarquable de résistance.

Le statut hydrique de la plante est déterminant pour son activité photosynthétique, surtout en condition de stress hydrique. Lorsque la plante subit un stress, le niveau de Chlorophylle diminue, affectant la coloration de la plante et ralentissant ses activités de croissance (Percival et Sheriffs, 2002 ; Li *et al.,* 2006). La chute observée des teneurs en Chlorophylle a, b et en Chlorophylles totales des variétés stressées résulte probablement de la synergie de plusieurs facteurs : réduction de l'ouverture des stomates qui limite l'évapotranspiration, augmentation de la résistance, baisse de l'entrée du CO_2 atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Shao *et al.*,2005 ; Qiao *et al.*,2010). D'après Chandrasekar *et al.*, (2000), la réductionde la Chlorophylle est due le plus souvent à une baisse du contenu en protéines thylacoïdales des chloroplastes et à une diminution du nombre de photosystèmes dans la cellule thylacoïdale (Quartacci *et al.*,1995). Selon Tambussi *et al.*,(2007), une diminution des teneurs en Chlorophylles perturbe le mécanisme photosynthétique des parties supérieures de la plante, feuilles et épis, altérant ainsi sévèrement le remplissage des grains en affectant aussi le rendement final. Dans ce même cadre, Fourkes *et al.*,(2007) ; Ehdaia *et al.*,(2008) ; Alvaro *et al.*,(2008) indiquent que la diminution en Chlorophylles perturbe la redistribution des assimilats stockés par la tige, vers les différentes parties de la plante, ce qui perturbe sa croissance. Les taux les plus faibles sont notés pour Ain Abid (V1), Cham6 (V8), Attila (V9) et Attila/Pastor (V10), pour un niveau de stress de 40% de la C.C. Ces dernières variétés sont les plus sensibles aux contraintes hydriques imposées. D'après Ali Dib (1992) une couleur foncée des feuilles correspond le plus souvent à un rapport Chla/Chl b faible, alors qu'une couleur pâle correspond généralement à un rapport Chl a/Chl b élevé. Les résultats montrent que lors du stress impliqué, le rapport Chl a/Chlb le plus élevé est observé pour les variétés Ain Abid (V1) et Milan/S87230/Babax (V6). Ce sont celles qui s'adaptent le mieux aux contraintes hydriques (Annexe 6). La valeur élevée du rapport Chl a/ Chl b est

associée à un LHC (Light Harvesting Complex) du photosystème II, plus petit, et indirectement avec une meilleure capacité de transport des électrons qui est un caractère favorable dans les environnements à forte intensité lumineuse (Ali Dib, 1992).

Le deuxième essai expérimental consiste à tester 10 lignées de blé tendre au niveau de trois sites géographiques différents : Sétif, Constantine et Guelma. Durant deux campagnes (2010-2011 et 2011-2012) et avec pour chaque site un climat spécifique : hauts plateaux semi-aride, plaine intérieure semi-aride et aire sub-littoral sub-humide. Les résultats des paramètres phénologiques, morphologiques et agronomiques fluctuent dans le temps et dans l'espace.

Les résultats observés à Sétif durant la première campagne expérimentale 2010-2011 montrent que la variété locale Ain Abid (V11) à chaume élevé, fournit le rendement RDT et le NGE les plus importants (Tableaau 16). De même que les variétés introduites Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) et Prl/2*Pastor (V19) se distinguent par un RDT, un PMG, et un nombre d'épi par mètre carré (NE/M^2) élevés. Durant la deuxième année 2011-2012, la variété locale Hidhab (V13) donne les meilleurs RDT et PMG sur le même site (Tableau 17). Les variétés introduites Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi (V15) et Wbll1*2/Brambling (V16) se distinguent par un RDT, un PMG et NGE plus importants.

Sur le site de Constantine, les variétés locales Ain Abid (V11), Hidhab (V13) et la variété introduite Pastor/Wbll1 (V14) sont à chaumes élevés et à NGE les plus importants, durant la première année expérimentale 2010-2011 (Tableau 24). Durant la deuxième campagne, les lignées introduites Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17), Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna, Prl/2*Pastor (V19) et Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna (V20) fournissent le PMG et le NGE les plus élevés (Tableau 25).

Les résultats observés à Guelma pour la première année expérimentale montrent que seule la variété Kauz/Pastor/Fiscal (V18) à chaumes élevés produit les meilleurs PMG, NGE et NE/M^2. Pour la deuxième campagne, les variétés Hidhab et Prl/2*Pastor (V19) sont celles qui fournissent le meilleur rendement.

Les résultats obtenus à Sétif, durant les deux campagnes expérimentales, montrent que les variétés locales Ain Abid (V11), Arz (V12) et la lignée introduite Prl/2*Pastor (V19) se distinguent par un RDT, un PMG, un NGE élevés et la variété Hidhab (V13) et les lignées introduites Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) et Kauz/Pastor/Fiscal (V18) par un NE/M^2et une HTR élevés (Figure 20).

Une comparaison inter-sites montre que les essais sur le Constantinois pendant les deux années montrent que les lignées Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) la plus précoce et la

lignée la plus haute Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna (V20) fournissent le meilleur RDT et sa composante NE/M^2. La variété locale Hidhab (V13) et les lignées Pastor/Wbll1 (V14), Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi (V15) et Prl/2*Pastor (V19) sont fortement corrélées aux paramètres du rendement à savoir le PMG et NGE (Figure 25). Sur le site de Guelma, La variété locale Hidhab (V13) la plus tardive fournit le NGE le plus important suivie des lignées Pastor/Wbll1 (V14), Wbll1*2/Brambling (V16), Kauz/Pastor/Fiscal (V18) et Prl/2*Pastor (V19) sont fortement corrélées aux paramètres du rendement RDT et le PMG (Figure 30).

Des corrélations positives se dégagent entre PMG et RDT sur les deux années à Sétif (Annexe 23), constat confirmé par certains auteurs (Yao *et al.*,2014).

Sur le site de Guelma le PMG est corrélé négativement avec le stade phénologique (Annexe 43). Ainsi les variétés tardives, à cycle végétatif long et du fait de leur durée de phase végétative, compromettent le remplissage du grain par manque de précipitation (entre Mai et Juin). Les dates d'épiaison et de maturité jouent aussi un rôle important dans la tolérance des variétés de blé à la sécheresse. Les résultats montrent une variabilité importante du cycle phénologique des variétés d'un site à un autre sur les deux années. Elles sont plus précoces sur le site de Guelma, avec les plus faibles paramètres : RDT, NE/M^2. Les variétés les plus tardives, cultivées à Constantine fournissent le meilleur RDT (Tableau 48). L'analyse de la variance montre que sur l'ensemble des trois sites, la date d'épiaison et le PMG s'expriment de la même manière durant les deux années d'étude (Tableau 47). Ces propriétés pourraient être mises à profit dans le choix des périodes de semence.

Sur la première campagne agricole du deuxième essai expérimental, le NGE est plus élevé sur les trois sites. La HTR, le RDT et le NE/M^2 s'expriment sur la deuxième campagne. Les résultats obtenus montrent des différences significatives entre les variétés et les environnements (Tableau 47). Annicchiarico, (2002) et Cooper *et al.,* (2009), montrent que sous climat méditerranéen la performance des cultures, telles que le rendement en grain et la stabilité potentielle du rendement, dépendent étroitement des effets combinés du génotype (G), des conditions environnementales du système de production (E) et de leur interaction (G*E). La variation du rendement dépend surtout des variations environnementales. Les résultats de l'interaction génotypes-milieu des deux campagnes expérimentales, sont très hautement significatifs entre tous les paramètres agronomiques étudiés, sauf pour la composante NE/M^2 durant la seconde année (Tableau 47). Les données génotypes-milieu mises en évidence constituent une nouvelle information sur le comportement variétal. Selon

Francia *et al.,* (2011), l'interprétation du rendement en grain chez l'orge par le biais des différences entre génotypes (G), environnement (E) et génotype-environnement (G*E) s'explique à priori par des facteurs génomiques, déterminant ainsi les allèles majeurs qui permettent à la plante une adaptation à l'environnement.

La diversité agro-morphologique est complétée par l'étude de la diversité biochimique et technologique pour les 10 variétés de blé tendre. Cette étude est réalisée sur les variétés de la seconde campagne du deuxième essai expérimental 2011-2012. Les résultats obtenus sur les teneurs en protéines totales du grain montrent une grande variabilité au sein des variétés étudiées. Le site de Sétif (semi-aride) enregistre les teneurs en protéines totales les plus élevées chez la lignée Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17), alors que les plus faibles sont obtenues sur le site de Guelma (sub-humide) pour la variété locale (V12) Arz (Kara *et al.*,2014). D'après Weightman *et al.*,(2008) et Noorka *et al.*, (2009), le stress hydrique (zone semi-aride) augmenterait la teneur en protéines du blé de 18,1%. Cette teneur résulterait de l'accumulation d'azote dans le grain en fin de cycle végétatif et proviendrait du transfert, au cours de la sénescence, de l'azote déjà absorbé et du complément de son absorption (essentiellement prélevé dans le sol) post-floraison. Flagella *et al.*,(2010) stipulent qu'une bonne pluviosité durant le remplissage du grain est souvent positivement associée à la teneur en protéines. Selon Dupont *et al.*,(2010), l'application de fertilisants azotés durant la période de germination du blé a une contribution substantielle sur la teneur en protéines du grain et un effet bénéfique sur la qualité de panification du blé sous stress à haute température. D'autres auteurs montrent que les hautes températures engendrent aussi une augmentation de ce paramètre chez le blé, cette augmentation affecte la qualité du grain et la composition du gluten (Bencze *et al.,* 2004). A l'inverse, Pierre *et al.,*(2008) observent une chute de la teneur en protéines du grain de blé sous cet état de stress. Farzad (2013) indique que l'accumulation de protéines change en réponse au stress, en protection de la plante contre les stress biotiques et abiotiques. En fait, la teneur en protéines est un caractère à faible héritabilité, fortement influencé par les conditions environnementales et les pratiques culturales (Babay *et al.,* 2014). En général, l'amélioration génétique de la teneur en protéines est très difficile à atteindre car il s'agit d'un caractère multigénique dont la variation génétique est faible par rapport aux variations dues à l'environnement. Cependant, le seul gène identifié, responsable de la teneur en protéines, est *GPC-B1*, il a pour origine *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccoides*. Il représente aujourd'hui une ressource précieuse pour augmenter les taux de protéines au niveau des grains (Khan *et al.,* 2000; Brevis *et al.,* 2010).

Les résultats obtenus sur les teneurs en amidon confirment également l'action du milieu sur son taux d'accumulation au niveau du grain. Ainsi, la lignée introduite Prl/2*Pastor (V19) a les teneurs les plus importantes en amidon sur le site de Constantine. Quant aux lignées Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) et Kauz/Pastor/Fiscal (V18), elles ont les teneurs les plus faibles respectivement sur les zones de Sétif et Guelma (Kara *et al.*,2014). Selon Balla *et al.*, (2011), sous stress hydrique et température élevée, les teneurs en amidon diminuent quand le taux de protéines augmente et inversement, ce qui révèle une importante corrélation entre ces deux paramètres biochimiques qui sont déterminants pour la qualité de panification de la pâte. Les travaux de Kara *et al.*, (2014) confirment ce résultat par des corrélations négatives très hautement significatives entre les teneurs en amidon et en protéines chez les variétés de blé tendre cultivées sur les zones de Guelma et Sétif. Park *et al.*, (2009) montrent aussi, dans des travaux similaires sur les blés d'hiver, une corrélation négative entre la teneur en protéines et le type-β d'amidon au niveau du grain, affectant ainsi les propriétés physicochimiques du blé. Par ailleurs et d'après Flagella *et al.*, (2010), la différence de qualité technologique du grain de blé est à la fois dans la différence des caractéristiques de l'amidon et de la teneur en protéines. Selon Zhao *et al.*, (2008), la hausse de température après la floraison réduit la teneur en amidon et perturbe sa distribution vers les grains de blé d'hiver, affectant ainsi le rendement (Barnabas *et al.*, 2008). Selon d'autres travaux, le niveau d'accumulation d'amidon est le même chez les grains se développant sous des régimes de températures (Jour/Nuit) de 24/17°C, 37/17°C et 37/28°C (Altenbach *et al.*, 2003 ; Hurkman *et al.*, 2003). La faible teneur d'amidon notée dans les grains est due à la courte durée d'accumulation d'amidon, inférieure à 6 jours sous un régime de température 37/17°C et de moins de 13 jours sous 37/28°C (Dupont *et al.*, 2003). Guedira et Paulsen (2002), notent que l'accumulation d'amidon débute précocement sous hautes températures durant le remplissage du grain. D'après Dupont *et al.*, (2003), l'environnement influe aussi sur l'expression du gène impliqué dans la biosynthèse de l'amidon. Kang *et al.*, (2013) indiquent que l'expression du gène endogène *TaLSU 1* augmente l'activité de l'ADP-glucose pyrophosphorylase, la teneur en amidon, le poids et le NGE des variétés de blé transgénique.

La teneur en humidité est influencée très significativement par le milieu de culture et par l'aspect variétal. Les résultats obtenus en ce domaine, varient significativement entre les différents génotypes, entre 11,20% et 13,10% pour les variétés cultivées sur le site de Guelma, de 9,67% à 13,23% pour Constantine et entre 9,30% et 12,80% sur Sétif (Tableau 51). La valeur la plus importante est obtenue exclusivement chez la lignée introduite (V20)

Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna et ce sur les 3 sites. Selon les travaux de Noorka *et al.*,(2009), le stress hydrique diminue la teneur d'humidité dans le grain de blé et selon Gonzales-Torralba*etal.,* (2013) le taux d'humidité dans le grain de blé varie inversement à la température. Les températures élevées diminuent le taux d'humidité dans le grain et inversement.

Globalement, le milieu influe très significativement sur tous les paramètres biochimiques étudiés. Selon Khelifi et Branlard (1991), la teneur en protéines du grain varie beaucoup en fonction du lieu de culture. Les résultats révèlent, ainsi, que les teneurs en protéines totales sont plus importantes sur l'essai expérimental de Sétif alors que les plus fortes teneurs en amidon et en humidité sont obtenues pour les variétés de Constantine et Guelma (Tableau 52). De même, au terme d'interaction génotypes-milieu, les résultats statistiques attestent également qu'elle est très hautement significative pour tous les paramètres biochimiques étudiés (Tableau 53).

L'appréciation des paramètres biochimiques est complétée par l'étude de la qualité technologique des 10 variétés de blé tendre cultivées sur les trois environnements (Tableau 54). Les données des caractéristiques technologiques montrent que la lignée Kauz/Pastor/Fiscal (V18) a les valeurs les plus élevées en W (force de la pâte) en G (Gonflement de la pâte), elle donne aussi le meilleur Pelshenke par rapport aux autres variétés. Cette lignée se caractérise par une force boulangère très élevée (blé de force) et reste panifiable malgré des propriétés rhéologiques moyennes. De même, les lignées Pastor/Wbll1 (V14) et Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) qui présentent des valeurs de W qui dépassent les normes de panification algériennes et françaises, sont considérées également comme des blés de Force. Compte tenu des résultats, il apparait que le génotype influe très significativement sur les paramètres technologiques, en dehors de la teneur en gluten. A cet effet, la majorité des améliorateurs prennent en considération la force du gluten comme critère principal de sélection dans leurs croisements (Babay et *al.*, 2014). Les travaux de Babay et *al.*, (2014) montrent également que les paramètres technologiques, tels que les valeurs moyennes de sédimentation SDS, sont très variables en fonction des génotypes de blé dur. Ce qui confirme une importante diversité génétique pour les caractéristiques de qualité des blés étudiés. Ces paramètres sont aussi très variables en fonction du site de culture. Ainsi, sur les sites de Sétif et Guelma se regroupent les variétés de blé tendre aux paramètres technologiques les plus performants (Tableau 55). Les blés cultivés sur ces deux zones sont de bonne qualité et produisent une farine à force boulangère très élevée. Les variétés cultivées sur le site de

Constantine sont de qualité moyenne mais fournissent une farine de bonne force boulangère. De même, le milieu et l'interaction génotypes-milieu influent très significativement sur tous les paramètres technologiques (Tableau 56). Selon Acuna *et al.*,(2005) et Otteson *et al.*, (2008), la qualité du grain de blé repose essentiellement sur la sélection du génotype et sur les conditions environnementales.

Des corrélations entre tests technologiques, paramètres biochimiques et agronomiques sont établies (Annexe 45). Les résultats montrent des corrélations positives très hautement significatives entre le gluten humide et le gluten sec. Une forte corrélation entre gluten sec GS et humide GH est obtenue sur des variétés de blé par Pshenichnikova *et al.,* (2008) et Kaur *et al.,* (2013). Selon Pshenichnikova *et al.,* (2008), la teneur en gluten dans le grain est un caractère déterminant l'usage du grain de qualité, ce trait dépendant considérablement des conditions du milieu de culture. Des corrélations positives sont établies entre la force de la pâte W et la ténacité P et entre W et le gonflement G (Annexe 44). Des travaux antérieurs donnent les mêmes corrélations entre W et G (Poblaciones *et al.*,2009). Selon Indrani *et al.,* (2007) W et G sont les meilleurs paramètres alvéographes qui déterminent la qualité de panification du blé.

Aucune corrélation n'est obtenue entre SDS et GS, pourtant signalée par des travaux sur le blé d'Ozturk et Aydin, (2004), entre les protéines et W, et protéines et *P/L* démontrées par Poblaciones *et al.,* (2009) et entre SDS et Protéines publiées par Farzad (2013). Mais cette absence de corrélation est par ailleurs largement signalée (Du Cros 1987;Vázquez *et al.,* 1996; Brites et Carrillo 2001; Raciti *et al.,* 2003 ; Edwards *et al.,* 2007). En effet, la teneur en protéines est corrélée à l'environnement plus qu'à l'expression génétique, contrairement au volume de sédimentation SDS qui exprime la force du gluten qui, elle, repose particulièrement sur une base génétique (Flagella *et al.,* 2010). Selon Li *et al.,* (2013), les teneurs en protéines de la farine de blé tendre et le volume de sédimentation SDS augmentent sous stress ou sècheresse (augmentation de la ténacité de la pâte P et de la force W, diminution de l'extensibilité L) et sous un stress de haute température (diminution de la ténacité de la pâte P et faible réduction de la force W). La synthèse des protéines du gluten se produit durant le remplissage du grain, certains travaux montrent que la sécheresse et le stress à hautes températures affectent le taux d'accumulation des gluténines et des gliadines, leurs compositions et la distribution des protéines polymériques (Don *et al.,* 2005 , Saint-Pierre *et al.,* 2008). Panozzo *et al.,* (2001), trouvent une augmentation significative de la distribution des gluténines polymériques chez des variétés de blé cultivés en zones humides, alors que

Flagella *et al.,* (2010) montrent une augmentation dans la quantité des gluténines macropolymères sous stress hydrique durant le remplissage du grain.

Le taux d'humidité H est corrélée négativement avec SDS, et avec le GH et le GS. Selon Brandolini *et al.,* (2010), le taux d'humidité du grain associé aux températures élevées provoquent d'une part, la diminution de l'α – amylase et du volume de sédimentation SDS, et d'autre part, l'augmentation de la viscosité et selon Nithya *et al.,* (2011) diminuent l'élasticité du gluten du blé dur.

Des corrélations négatives sont observées entre la teneur en amidon Am et le PMG (Annexe 45). Résultats confirmés par Balla *et al.,* (2011) et Thitisaksakul *et al.,* (2013), qui notent que la teneur en amidon sous stress engendre une chute du PMG et une augmentation du taux de protéines. Selon Mohammadi *et al.,* (2004), cette chute de PMG est de 44% sous stress hydrique et de 67% sous stress combiné. Zhang *et al.,* (2010) rapportent que pour le blé tendre la déficience en eau après la floraison réduit le volume des grains d'amidon de type-B (diamètre<10μm) chez certains cultivars de blé tendre. Fabian *et al.,* (2011) notent aussi qu'en réponse au stress la teneur en amidon de type-B diminue chez certains cultivars de blé tendre perturbant ainsi le rendement et le PMG à la récolte. A l'inverse selon Singh *et al.*,(2008), la teneur de l'amidon de type-A augmente chez d'autres cultivars (après l'anthèse jusqu'au remplissage du grain). Selon Zhao *et al.*,(2010), des températures élevées du stade floraison jusqu'à la maturité du blé, réduisent la période d'accumulation et la distribution des grains d'amidon.

La large variabilité de la force du gluten, qui est un caractère contrôlé principalement par la variation allélique des loci Glu-A1, Glu-B1, Glu-D1,(SG-HPM) et Glu-A3, Glu-B3, Glu-D3(SG-FPM), pourrait donner une idée sur la diversité génétique obtenue par l'expression et la composition de ces loci (Vázquez *et al,*. 1996; Brites et Carrillo 2001; Martinez *et al.*, 2005).

D'une manière générale, le gluten, les paramètres rhéologiques de l'alvéographe (W, P), le test Pelshenke et le volume de sédimentation SDS varient le plus en fonction de la diversité allélique des gluténines HPM. Les résultats du Tableau 64, révèlent la supériorité des allèles 22, (6 + 8), (7 + 9), (2 + 12), (5 + 10) et (7 + 8), par rapport aux autres allèles contrôlant ces paramètres. La présence de la bande 7 + 8 (Glu-B1b) a un effet favorable sur le volume de sédimentation SDS, sur le GH, sur la ténacité P et sur le Pelshenke. Les travaux de Raciti *et al.,* (2003) confirment que cet allèle est lié au volume élevé de sédimentation SDS chez le blé dur méditerranéen et Payne *et al.,* (1989) démontre qu'il est associé à une bonne

qualité de panification et à la force de la pâte. Quant aux sous unités 7 + 9 (Glu-B1c) et 6 + 8 (GluB1d), elles ont une influence sur la force W, sur le gluten GH et sur la ténacité P. Cependant, Shan *et al.,* (2007) indiquent que les SG-HPM présentant l'allèle 7 + 9 (Glu-B1c) sont néfastes sur la qualité du gluten des variétés de blé tendre d'hiver aux USA. Ces valeurs sont significativement diminuées lorsque l'allèle 6 + 8 (Glu-B1d) est présent, ce qui correspond aux protéines ayant des effets défavorables sur la force en général (Payne *et al.* 1987). Au contraire, Pang *et al.*,(2009) notent que l'allèle 6 + 8 (Glu-B1d) est associé à une bonne qualité de panification, quand la sous-unité 1 (Glu-A1a) est présente. Selon les résultats obtenus, l'allèle 22 (Glu-B1k) a un effet direct sur la force W, le GluH et le Pelshenke. Les sous-unités codées par le chromosome 1DL, c'est-à-dire l'allèle 5 + 10 (Glu-D1d), sont liées à la ténacité P et au GH et l'allèle 2+12 (Glu-D1a) est lié au volume de sédimentation SDS, au GH, à la ténacité P et au Pelshenke. Ce groupe de protéines, correspondant à des gènes allèles (allèle 2+12) sur le locus Glu-D1, est d'une performance médiocre sur la qualité et sur la force W de la pâte (Gianibelli *et al.*,2001 ; Brites et Carillo 2001 ; Zhang *et al.*,2003 ; Campos *et al.,* 2004; Tabiki *et al.,* 2006). Par contre, les sous-unités 5+10, qui correspondent à un allèle des sous-unités 2+12 ou 3+12, ont un effet favorable très marqué sur la qualité (Kokourkova *et al.,* 2008). D'après Dumur *et al.,* (2010), l'allèle 5 + 10 (Glu-D1d) est lié à la ténacité P et à la force W de la pâte. Alors que l'allèle 2+12 (Glu-D1a) est souvent associé à l'extensibilité de la pâte. Li *et al.*,(2010) ajoutent que l'allèle 5 + 10 (Glu-D1d) améliore le volume de sédimentation SDS et présente un effet positif sur la dureté du grain de blé tendre. Plusieurs travaux sur le blé tendre montrent également que les sous-unités de gluténines SG-HPM, possédant des paires d'allèles (5 + 10) et (7 + 8), sont associées à plusieurs facteurs technologiques : la force du gluten GH (Branlard *et al.,* 2003, Shan *et al.*,2007 ; Tohver 2007), W et P (Vawser et Cornish, 2004) et donc une bonne qualité de panification (Pang *et al.*,2009). Selon Shan *et al.,* (2007), les teneurs de gluténines et leur taille indiquent que l'allèle (5+10) est lié à une qualité supérieure de panification et ceci sous de multiples conditions climatiques, il semble être spécialement favorable quand le remplissage du grain de blé d'hiver se produit sous un stress à haute température aux USA. Sanchez-Garcia *et al.,* (2015) observent que les variétés de blé possédant les allèles (5+10) semblent s'adapter aussi au stress hydrique, avec des grains de faible teneur en protéines et une faible extensibilité de la pâte. D'après Cornish *et al.,* (2001), les conditions environnementales et la teneur en protéines ont un effet direct sur l'extensibilité de la pâte et selon Williams *et al.*,(2008) et Li *et al.*,(2013), l'interaction G x E est fortement liée à la qualité en protéines et aux propriétés

rhéologiques en général. Selon Zhang *et al.*, (2007) et Barak *et al.*,(2013), les SG-HPM, présentant les allèles 1, 2*, (7 + 9) et (5 + 10) chez le blé tendre, ont une teneur en protéines très élevée. De manière générale, il semblerait que ce sont le Pelshenke, le SDS, la force W et la ténacité P qui varient le plus en fonction de la diversité allélique des gluténines de HPM.

En fin de compte, l'analyse des corrélations entre les sous-unités de gluténines et les critères technologiques permet d'aboutir à une prédiction des potentialités de qualité. C'est précisément cet aspect qu'il convient de retenir car le milieu de culture intervient également dans les variations de cette qualité. Ainsi pour une sélection de blé de force, il conviendrait de prendre des géniteurs possédant l'ensemble des sous-unités considérées d'un impact favorables sur la force : 7 + 8 (Glu-B1b) ; 7 + 9 (Glu-B1c) ; 22 (Glu-B1k) ; 5 + 10 (Glu-D1d). Aucune sous-unité du Glu-A1 n'est sélectionnée dans les résultats. Les sous unité codée par 1AL c'est-à-dire 1 (Glu-A1a) et 2* (Glu-A1b) gène allèle à la bande 1 ne présentent pas a un effet significatif sur la qualité technologique appréciées par les tests rhéologiques étudiés. Plusieurs travaux ont confirmé les résultats contraires, Branlard *et al.*, (2003), Raciti *et al.*,(2003), Tohver (2007) démontrent que les allèles 1 et 2* sur Glu-A1 ont un effet largement positif sur la force W de la pâte, sur le volume de sédimentation SDS et sur la qualité du gluten. Ainsi, à travers les données recueillies, les lignées Pastor/Wbll1 (V14) ; Babax/Lr42//Babax*2/3vivitsi (V15) ; Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) ; Kauz/Pastor/Fiscal (V18) et Prl/2*Pastor (V19) semblent avoir une meilleure qualité boulangère par rapport aux autres variétés de blé tendre étudiés**.**

CONCLUSION

Ce travail avait pour objectifs principaux la caractérisation chez le blé (*Triticum aestivum* L.) de divers paramètres spécifiques, d'expression reconnue diverse en fonction de ses variétés et de leur site géoclimatique de culture : caractères morphophysiologiques, comportement agronomique et technologique, facteurs biochimiques et génétiques, en association à la tolérance des plantes au déficit hydrique. Un traitement statistique et l'analyse croisée de ces critères devraient permettre une sélection variétale basée sur les génotypes les plus performants, à la fois par rapport aux paramètres et aux sites d'étude.

La première partie de l'étude a permis de donner une vue globale des comportements des variétés vis-à-vis du déficit hydrique et de distinguer les variétés les moins affectées par cette contrainte. Etablissant ainsi une remarquable différence variétale de comportement morphologique et physiologique, avec l'identification de variétés introduites Cham 6 (V8) présentant les valeurs les plus élevées en composantes du rendement suivie de Hamam 1 (V4) et Attila (V9) des variétés précoces, courtes et à fort rendement. Cette dernière variété a une réaction spécifique au déficit hydrique. Attila (V9) accumule avec Angi-4 (V7) les sucres solubles sous stress hydrique et Angi-4 (V7) enregistre avec Ain Abid (variétés les plus hautes et les plus tardives) la teneur relative en eau TRE la plus élevée mais enregistrent les rendements les plus faibles. Les génotypes qui ont une meilleure aptitude à conserver une TRE assez élevée sont ceux qui accumulent plus de sucres solubles. Le maintien d'une TRE élevée, sous stress hydrique, est donc une forme remarquable de résistance. Ces génotypes s'avèrent donc les plus tolérants au stress.

La seconde partie a permis de définir le comportement des variétés de blé tendre sur 3 sites de différents étages bioclimatiques et sur une campagne de deux années consécutives. L'étude montre que les essais conduits à Sétif permettent de distinguer que les variétés les plus productives sont les variétés locales Ain Abid (V11), Arz (V12) et la lignée introduite Prl/2*Pastor (V19) et fournissent ainsi un rendement, un PMG et un NGE élevés. Cette lignée introduite Prl/2*Pastor (V19) et Pastor/Wbll1 (V14) suivie de la variété locale Hidhab (V13) se caractérisent également par un rendement et par les composantes du rendement élevées à savoir PMG, NGE et RDT, sur les deux essais expérimentaux de Guelma et du Constantinois.

Il apparaît aussi que des différences significatives se dégagent globalement entre les variétés et entre les différents environnements : les variétés étudiées sont plus précoces sur le site de Guelma où elles ont les plus faibles rendements et paramètres du rendement, alors que les variétés cultivées sur le site de Constantine sont les plus tardives mais avec un meilleur rendement en grain. Cette interaction génotypes-milieu est très hautement significative à travers tous les paramètres agronomiques.

La caractérisation de la diversité agromorphologique est complétée par l'étude de la diversité biochimique et technologique. Les résultats des teneurs en protéines totales, en amidon et en humidité du grain, montrent aussi une grande variabilité au sein des variétés étudiées. Le site de Sétif (semi-aride) enregistre les teneurs en protéines totales les plus élevées chez la lignée Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17), alors que les plus faibles teneurs sont obtenues sur le site de Guelma (sub-humide) pour la variété locale Arz (V12). La lignée introduite Prl/2*Pastor (V19) manifeste les teneurs les plus importantes en amidon sur le site de Constantine. Quant aux lignées Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) et Kauz/Pastor/Fiscal (V18), elles ont les teneurs les plus faibles respectivement sur les zones de Sétif et Guelma. Pour ce qui est de l'humidité, sa valeur la plus importante est observée chez la lignée Babax/Lr42//Babax*2/3/Kukuna (V20), de manière remarquable sur les 3 environnements expérimentaux. L'interaction génotype-milieu, elle est très hautement significative pour tous les paramètres biochimiques étudiés. Il apparaît également que les teneurs en protéines totales sont plus importantes sur les variétés de l'essai expérimental de Sétif mais les plus fortes teneurs en amidon et en humidité sont notées pour celles cultivées sur les sites de Constantine et Guelma.

Les caractéristiques technologiques révèlent que la lignée Kauz/Pastor/Fiscal (V18) est caractérisée par une force boulangère très élevée (blé de force), elle enregistre les valeurs les plus élevées en W et G. De même que les lignées Pastor/Wbll1 (V14) et Thelin//2*Attila*2/Pastor (V17) présentent des valeurs W dépassant les normes de panification algériennes et françaises, elles peuvent être considérées également comme des blés de Force. La nature du milieu et l'interaction genotype-mileu influent très significativement sur tous les paramètres technologiques. Ces paramètres sont très variables en fonction du lieu de culture. Ainsi, sur les sites de Sétif et Guelma se regroupent les variétés de blé tendre aux paramètres technologiques les plus performants. Les blés cultivés sur ces deux zones sont de bonne qualité et produisent une farine à force boulangère très élevée. Les variétés cultivées sur le site de Constantine sont de qualité moyenne mais ils fournissent une farine de bonne force boulangère.

Pour une sélection de blé de force, il conviendrait de prendre des géniteurs réunissant les sous-unités HPM reconnues favorables à la force : 7 + 8 (Glu-B1b) ou 7 + 9 (Glu-B1c) ou 22 (Glu-B1k) ; 5 + 10 (Glu-D1d).

L'analyse de la diversité des sous-unités gluténines de haut poids moléculaire SG-HPM ne peut être suffisamment significative sur une dizaine de variétés de blé tendre. Mais les résultats recueillis montrent clairement que certaines protéines jouent un rôle important dans l'expression des caractéristiques rhéologiques de la pâte.

Selon cette démarche, l'approche analytique et synthétique, en égard aux tests physiologiques, biochimiques, technologiques sous contrainte hydrique, aspire à identifier des modèles physiologiques. Au terme de cette étude ces modèles constitueront un point de départ d'un programme d'amélioration génétique du blé tendre, aboutissant à un ideotype, tout en utilisant des modèles contrastants.

Ce travail, ouvre la voie à de nouvelles approches de sélection de blés performants et de qualité technologique améliorée. Certainement par la caractérisation de la diversité génétique et des marqueurs génomiques intrinsèques de performance, microsatellites SSR et QTL de stress et de qualité, en particulier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ali Y., Atta B.M., Akhter J., Monneveux P. & Lateef Z. (2008). Genetic variability, association and diversity studies in wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm. *Pakistan Journal of Botanic,* **40(5)**: 2087-2097.

Ali Dib T. (1992). Contribution à l'effet de la tolerance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*). Etude de la diversité des caractères phénologiques et morphophysiologiques d'adaptation. Doctorat d'Etat, Université Montpellier, 186p.

Allakhverdiev S.I., Feyziev Y.M., Ahmed A., Hayashi H., Aliev J.A., Klimov V.V., Murata N. & Carpentier R. (1996). Stabilization of oxygen evolution and primary electron transport reactions in photosystem II against heat stress with glycinebetaine and sucrose. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, **34:** 149-154.

Altenbach S.B., Dupont F.M., Kothari K.M., Chan R., Johnson E.L. & Lieu D. (2003). Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in USA spring wheat. *Journal of Cereal Science,* **37:** 9-20.

Alvaro F., Royo C., Garcia del Moral L.F. & Villegas D. (2008). Grain filling and dry matter translocation responses to source-sink modifications in historical series of durum wheat. *Crop Science,* **48:** 1523-1531.

Amiour N., Merlino M., Leroy P. & Branlard G. (2003). Chromosome mapping and identification of amphiphilic proteins of hexaploid wheat kernels. *Theoretical and Applied Genetics,* **108**: 62-72.

Amor S., Moncef B.S., Ben Naceur M. & Zid E. (2005). Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance**.** *Science et changements planétaires* / *Sècheresse*, **16(3)** :225-229**.**

Annicchiarico P. (2002). Genotype x environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. FAO Plant Production and Production Paper No. 174. Food and Agriculture Organization, Rome.

Angridge P., Paltridge N. & Fincher G. (2006). Functionnal genomics of abiotic stress tolerance in cereals. *Briefings in Functional Genomics and Proteomics,* **4(4):**343-354.

Antoine C., Lullien-Pellerin V., Abecassis J. & Rouau X. (2002). Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. *Sciences Des Aliments,* **22**: 545-556.

Araus J.L., Slafer G.A., Reynolds M.P. & Royo C. (2002). Plant breeding in Cereals: what should we breed for? *Annual of Botanic,* **89:**925-940

Atwell W.A. (2001). Wheat flour. Eagan press, Minnesota, USA, 123p.

Autran J.C. & Bourdet A. (1975). L'identification des variétés de blé : Etablissement d'un tableau général de détermination, fondé sur le diagramme électrophorétique des gliadines du grain, *Plantes,* **25(3) :** 277-301.

Axford D.W.E., Dermott E.E. & Redman D.G. (1979). Note on the sodium dodecyl sulfate test of breadmaking quality: comparaison with Pelshenke and Zeleny tests. *Cereal Chemistry,* **56 (5):** 582-585

Balfourier F., Roussel V., Strelchenko P., Exbrayat-Vinson F., Sourdille P., Boutet G., Koenig J., Ravel C., Mitrofanova O. & Beckert M. (2007). A worldwide breadwheat core collection arrayed in a 384-well plate. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, **114(7)**:1265–1275.171

Balla K., Razszegi M., Li Z., Bekes F., Bncze S & Veisz O. (2011). Quality of winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis. *Czeck Journal of Food Science,* **29 (2)**: 117-128.

Bammoun A. Etude des caractères morphologiques, physiologiques agronomiques et moléculaires pour la cartographie des QTLs impliqués dans la tolerance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum turgidum durum Desf.*). Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Constantine, 153p.

Bandurska H. & Stroinski A. (2003). ABA and proline accumulation in leaves and roots of wild (*Hordeum spontaneum)* and cultivated (*Hordeum vulgare* 'Maresi') barley genotypes under water deficit conditions. *Acta Physiology of Plant,* **25:**55-61.

Benlaribi M. & Monneveux P. (1988), Etude compare du comportement de situation de déficit hydrique de deux variétés Algériennes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) adaptées à la sècheresse. *Cahier de Recherche d'Agriculture France*, **74(5)** : 73-83..

Barak S., Mudjil D. & Khatkar B.S. (2013). Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *Food Science and Technology,* **51:** 211-217.

Barnabas B., Jager K. & Feher A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive process in cereals. *Plant Cell and Environnement*, **31:**11-38

Bietz J.A., Shepherd K.W. & Wall J.S. (1975). Single kernel analysis of glutenin use in wheat genetics and bread wheat. *Cereals Chemistry.* **52:** 513-532

Beck E H., Fettig S., Knake C., Hartig K. & Bhattarai T. (2007). Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. *Journal Bioscience* **32 (3)**:501–510.

Behaji A., Li J., Sanchez-Lopez A.M., Baroja-Fernandez E., Munoz F., Ovecka M., Almagro G., Montero M., Ignacio E. & Pozueta-Romoer J. (2014). Starch biosynthesis, its regulation and biotechnological approaches to improve crop yields. *Biotechnology Advanced,* **32:** 87-106.

Bencze S., Veisz O. & Bedo Z. (2004). Effect of high atmospheric CO_2 and heat stress on phytomass, yield and grain quality of winter wheat. *Cereal Research Communication,* **32***:* 75-82.

Benlaribi M. (1990). Adaptation au deficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) études des caractères morphologiques et physiologiques. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Constantine, 164p.

Blum A. (1998) Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilisation. *Euphytica,* **100:** 77-83.

Bolot S., Abrouk M., Masood-Quraishi U., Stein N., Messing J., Feuillet C. & Salse J. (2009). The 'inner circle' of the cereal genomes. *Current opinion in plant biology*, **12(2)**:119–125.

Bousba. R., Djekoun A. & Ykhlef N. (2006). Efficience hydrique et sénescence foliaire chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) sous contrainte hydrique : analyse de la variabilité génotypique. Xème journées scientifiques du réseau " Biotechnologies végétales: amélioration des plantes et sécurité alimentaire" de l'AUF. 149- 150.

Bramley H., Turner D W., Tyerman S D., Turner N C. (2008). Water Flow in the Roots of Crop Species: The Influence of Root Structure, Aquaporin Activity, and Waterlogging, p.133-196. *In* Elsevier (Ed.), Advances in Agronomy

Brancourt- Hulmel M. & Lecomte C. (1994). Sélection et stabilité du rendement chez le blé tendre d'hiver. *Agronomie,* **14 :** 611-625.

Brandolini A., Hidalgo A. & Plizzari L. (2010). Storage-induced changes in eikorn (*Triticum monococcum* L.) and breadwheat (*Triticum aestivum* L. ssp. *aestivum*) flours. *Journal of Cereal Science***, 51:** 205-212

Branlard G. & Dardevet D. (1985). Diversity of grain protein and bread wheat quality II: Correlation between high molecular weight subunits of glutenin and flour quality characteristics. *Journal of Cereal Science,* **3:** 345-354.

Branlard ., Dardevet M. Amiour N., & Igrejas G. (2003). Allelic diversity of HMW and LWM glutenin subunits and omega gliadins in french bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Genetic Research of Crop Evolution, **50**: 669-679.

Brevis JC., Morris C F., Manthey F. & Dubcovsky J. (2010) Effect of the grain protein content locus Gpc-B1 on bread and pasta quality. *Journal of Cereal Science,* **51**: 357-365.

Brini F., Hanin M., Lumbreras V., Irar S., Pages M. & Masmoudi K. (2007). Functional characterization of DHN-5, a dehydrin showing a differential phosphorylation pattern in two Tunisian durum wheat (*Triticum durum Desf.*) varieties with marked differences in salt and drought tolerance. *Plant Science,* **172**:20–28.

Brinis L. (1995). Effet du stress hydrique sur quelques mécanismes morphophysiologiques et biochimiques des traits d'adaptations et déterminisme génétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences, Université de Annaba , 156p

Brites. C. & Carrillo J.M. (2001). Influence of high molecular weight (HMW) and low molecular weight (LMW) glutenin subunits controlled by *Glu-1* and *Glu-3* loci on durum wheat quality. *Cereal Chemistry*, **78**: 59-63.

Campos H., Zuniga J., Rathgeb P. & Jobet C. (2004). Selection of Chilean wheat genotypes carriers of the HMW glutenin allele *Glu-D1 x5* through polymerase chain reaction. *Agricultura Técnica*, **64**: 223–228.

Canadas D. (2006). Evaluation du procédé Oxygreen® pour son potentiel de décontamination en ochratoxine A du blé. Les effets toxiques liés à une exposition sub-chronique à l'ochratoxine A sont-ils atténués? Thèse de Doctorat. Toulouse, France, 215p.

Chandler J.W. & Bartels L. (2003). Drought avoidance and drought adaptation. *Encyclopedia Water Science,* 163-165.

Chandrasekar V., Sairam R.K. & Srivastava G.C. (2000). "Physiological and biochemical responses of hexaploid and tetraploid wheat to drought stress", *Journal of. Agronomic Crop Sciences* **185 :**. 219–227.

Chapman G.P. (2009). Grass evolution and domestication. Grass evolution and domestication, xviii + 390 pp.

Chehat F. (2005). Les politiques céréalières en Algérie. Rapport Annuel. Agri-Med. Agriculture, pêche, alimentation et développement rural durable dans la région Méditerranéenne, CIHEAM 2006.

Chen X., Min D., Yasir T.A. & Hu Y.G. (2012). Evaluation of 14 morphological, yield-related and physiological traits as indicator of drought tolerance in Chinese winter bread wheat revealed by analysis of the membership function value of drought tolerance (MFVD). *Field Crop Research,* **137**: 195-201.

Chinnusamy V., Zhu J., & Zhu J.K. (2006). Gene regulation during cold acclimation in plants. *Physiologia Platarum,* **126 (1):**52-61

Chen P.D. & Gill B.S. (1984). The origin of chromosome 4A and the B and G genomes of tetraploid wheat. *Acta Agronomica Sinica,* **10:** 146-153.

Christmann A., Moes D., Himmelbach A., Yang Y., Tang Y.,Grill E. (2006). Integration of Abscisic Acid Signalling into Plant Responses. *Plant Biology* **8**:314–325.

CIC, Conseil International des Céréales, (2009). Les statistiques mondiales, calculées par le Conseil International des Céréales. Marché des céréales..GRM, N°. 399. Octobre 2009

CIC, Conseil International des Céréales, (2010). Les statistiques mondiales, calculées par le Conseil International des Céréales. Marché des céréales..GRM, N°. 402. Juillet 2010

Clark J.M. (1986). Effect of leaf rolling in leaf water loss *Triticum spp. Canadian Journal of Plant Science,* **66:** 885-891.

Colas A. (1998). Définition de la qualité des farines pour les différentes utilisations. *In :* Les industries de première transformation des céréales Tech et Doc, Lavoisier, Paris, 590p.

Cooper M., Van Eeuwijk F.A., Hammer G.L., Podlich D.W. & Messina C. (2009). Modeling QTL for complex traits: detection and context for plant breeding. *Plant Biology,* **12:** 231-240.

Cornish C.B., Békés F., Allen H.M. & Martin D.J. (2001). Flour proteins linked to quality traits in an Australian doubled haploid wheat population. *Australian Journal of Agricultural Research,* **52:** 1339-1348.

Cross R.J. & Hay R.L. (1994). Characterization of 20 novel Glu-1 molecular weight glutenin alleles by SDS-PAGE and RP-HPLC. In: Proceeding Meeting. Wheat kernel proteins and functional aspects. Viterbo. Italy : 241-243.

Dacosta Y. (1986). Le gluten de blé dur et ses applications. APRIA, Paris, 130p

Dagnélie, P. (1986). Analyse statistique à plusieurs variables Gembloux, Presses agronomiques. 362 p.

Dagnélie, P.(2006). Statistique théorique et appliquée. Tome 2:Inférences à une et à deux dimensions. Bruxelles, université de Boeck et Larcier. 659 p.

Davies W.J., Wilkinson S. & Loveys B. (2002). Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist* **153**: 449-460.

Diamond J. **(2002)**. Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. *Nature*, **418(6898)** :700–707.

Dib A.T., Monneveux P. & Araus J.L. (1992). Adaptation à la sécheresse et notion d'idiotype chez le blé dur. II. Caractères physiologiques d'adaptation. *Agronomie*, **12** :381-93.

Debiton C. (2010). Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par

l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Thèse Docteur d'Université, Clermont-Ferrand, France,132p.

Dedio W., Kaltsikes P.J. & Larter E.N. (1969). Numerical chemo taxonomy in the genus secale. *Canadian Journal of Botanic*, 1175-1180.

Delfrate R. (2005). Mieux connaître la farine, spécial analyses. Supplément technique, I.N.B.P., Laboratoire d'Essais des matériels et Produits Alimentaires (L.E.M.P.A.), Rouen, France, 16p

Delfrate R. & Steaphane C. (2005). Mieux connaître la farine, spécial analyses. *Sotal*, 12p

De Ronde R., Cress W.A., Kruger G.H.J., Strasser R.J. & Van Staden J. (2004) . Photosynthetic response of transgenic soybean plants, containing in *Arabodopsis* P5CR gene, during heat and drought stress. *Journal of Plant Physiology,* **161**: 1211-1224.

Dhanda S., Sethi G.S. & Behl K. (2004). Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. *Journal of Agronomy Crop Science,* **190(1):** 6-12.

Don C., Lookhart G., Naeem H., MacRitchie E. & Hamer R.J. (2005). Heat stress and genotype affect the glutenin particles of the glutenin macropolymer-gel-fraction. *Journal of Cereal Science,* **42**: 69-80.

Dubcovsky J. & Dvorak J. (2007). Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication. *Science*, **316(5833)**:1862.

Dubois M., Gllesk L., Hamilton J.K., Reberg P.A et Smith F. (1956). Colometric method for determination of sugars and related substances. *Analatycal chemistry*. :**28**: 3.

Dubreil L. Compoint J.P. & Marion D. (1997). Interaction of puroindolines with wheat flour polar lipids determines their foaming properties. Journal of Agricultural and Food *Chemistry,* **45**: 108-116. B., Alloush

Du Cros DL (1987) Glutenin proteins and gluten strength in durum wheat. *Journal of Cereal. Science,* **5**: 3–12.

Dumur J., Jahier J., Dardevet M., Chiron H., Tanguy A.M. & Branlard G. (2010). Effects of the replacement of Glu-A1 by Glu-D1 locus on agronomic performance and bread-making quality of the hexaploid wheat cv. Courtot. *Journal of Cereal Science,* **51**: 175-181.

Dupont M.F. & Altenbach S.B. (2003). Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science,* **38**: 133-146.

Dupont M.F., Hurkman W.J., Vensel W.H., Tanaka C., Kothari K.M. & Altenbach S.B. (2006). Protein accumulation and composition in wheat grains: Effect of mineral nutrients and high temperature. *European Journal of Agronomy,* **25**: 96-107.

Edwards N.M., Gianibell M.C., Mc Caig T.N., Clarke J.M., Ames N. P., Larroque O.R. & Dexter J.E. (2007). Relationships between dough strength, polymeric protein quantity and composition for diverse durum wheat genotypes. *Journal of Cereal Science,* **45**: 140-149.

Ehdaie B., Alloush G.A. & Waines J.G. (2008). Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. *Field Crops Research,* **106:** 34-43.

El Djaafari S. (2000). Durum wheat breeding for abiotic stress resistance. Defining physiological trait and criteria. *Option Mediterannenne,* **40:** 251-256.

El Fakhri M., Mahboub S., Benchekroun M. & Nsarellah N. (2010). Effet du stress hydrique sur les caractéristiques d'enracinement du blé dur (*Triticum durum* Desf.*). Nature et Technologie,* **3 :** 6-12.

Eliasson A.C. & Larson, K.(1993). Cereals in breadmaking. A molecular colloidal approach. New York, NY: Marcel Dekker: 371p.

Evers A.D., Blakeney A.B. & O'Brien L. (1999). Cereal structure and composition. *Australian Journal of Agricultural Research*, **50**: 629-650.

Evers T. & Millar S. (2002). Cereal grain structure and development: some implication for quality. *Journal of Cereal Science,* **36** : 261-284.

Fabian A., Jager K., Rakszegi M. & Banabas B. (2011). Embryo and endosperm development in wheat (*Triticum aestivum* L.) kernels subjected to drought stress. *Plant Cell Reports,* **30**: 551-563.

Fana X W., Lia F M., Xionga Y C., Ana L Z. & Longa R J. (2008). The cooperative relation between non-hydraulic root signals and osmotic adjustment under water stress improves grain formation for spring wheat varieties. *Physiologia Plantarum* **132**:283–292.

FAO (1999). FAO Yearbook Production53.

Farooq J., Khaliq I., Ma A., Kaschif M., Rehman A. Naveed M. & Farooq A.(2011). Inheritance pattern of yield attributes in spring wheat at grain filling stage under different temperature regimes. *Australian Journal of Crop Science,* **5(13):** 1745-1753.

Farzad A., Mehrvar M.R., Ali Nazeri A. & Juraimi A.S. (2013): Investigation of wheat grain quality characteristics under water deficit condition during postanthesis stage. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science,* 273-278

Feillet P. (2000). Le grain de blé, composition et utilisation, INRA, Paris.

Flagella Z., Giuliani M.M., Giuzio L., Volpi C. &Masci S. (2010). Influence of water deficit on durum wheat storage protein composition and technological quality. *European Journal of Agronomy*, **33**: 197-207.

Forgeois P., Wertfeimer D. & Picard E. (1993). Le transfert des gènes chez les céréales: méthodes et enjeux; avec un exemple d'essai de la méthode biolistique chez *Triticum aestivum* et *Monococcum* : in le progrès génétique passe-t-il par le repérage et l'inventaire des génes ? Ed. John Libby. Paris,115p

Foulkes M.J., Sylvester-Bradley R., Weightman R. & Snape J.W. (2007). Identifying physiological traits associated drought resistance in winter wheat. *Field Crops Research,***103:** 11-24.

Francia E., Tondelli A., Rizza F., Badeck F.W., Nicosia O.L., Akar T., Grando S., Al-Yassin A., Benabdelkacem A., Thomas W.T.B., Van Eewijk F., Romagosa I., Stanca A.M. & Pecchioni N. (2011). Determinants of barley grain yield in a wide range of Mediterranean environments. *Field Crops Research,* **120:** 169-178.

Fulcher R.G. & Wong S.I. (1980). Inside Cereals — a fluorescence microchemical view. In cereals for food and beverages, Inglett GE, Munck L (eds) New York, Academic Press pp 1-26.

Gale K.R. (2005). Diagnostic DNA markers for quality traits in wheat. *Journal of Cereal Science,* **41:** 181-192.

Galili G. & Feldman M. (1984). Mapping of glutenin and gliadin genes located on chromosome 1B of common wheat. *Molecular of Genie Genetic,***193:** 293.

Geravandi M., Farshadfar E. & Kahrizi D.(2011). "Evaluation of some physiological traits as indicators of drought tolerance in bread wheat genotypes", *Russian Journal of Plant Physiology* **58**:. 69-75.

Gianibelli M.C., Laroque O.R., & MacRitchie F. (2001). Biochemical, genetic, and molecular characterization of wheat glutenin and its component subunits**.** *Cereal Chemistry,* **78:** 635-646.

Gill B.S. & Kimber G. (1974). Giemsa c-banding and evolution of wheat. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, **71**: 4086-4090.

Gleeson D., Lelu-Walter M.A. & Parkinson M. (2004). Influence of exogenous L-proline on embryogenic cultures of larch (*Larix leptoeuropaea* dengler), sitka spruce (*Picea sitchensis*) and oak (*Quercus robur* L.) subjected to cold and salt stress. *Annals of Forest Science,* **61:** 125-128.

Gobaa S., Brabant C., Kleiger G. &Stamp P. (2008). Effect of the 1BL.1RS tranlocation and of the Glu-B3 variation on fifteen quality tests in a doubled haploid population of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science,* **48**: 598-603.

Godon B. (1991). Composition biochimique des cereals, pp: 77-94. In: les industries de première transformation des céréales. Godon B. et Will M.C. Lavoisier Tec et Doc. Apria. Paris, 221p.

Goesaert H., Brijs K., Veraverbeke W.S., Courtin C.M., Gerbuers K. & Delcour J.A. (2005). Wheat flour constituent: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology,* **16:** 12-30.

Gonzalez F.G., Slafer G.A. & Miralles D.J. (2003). Grain and floret number in reponse to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheats. *Field Crops Research,* **81**: 17-27.

Gonzalez-Torralba J., Arazuri S., Jare C. & Arregui L.M. (2013). Influence of temperatute and r.h. during storage on wheat bread making quality. *Journal of Stored Products Research,* **55:** 134-144.

Grieu P., Maury P., Debaeke P.& Sarrafi A. (2008) . Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol : apports de l'écophysiologie et de la génétique. *Innovations Agronomiques,* **2**: 37-51.

Guedira M. & Paulsen G.M. (2002). Accumulation of starch in wheat grain under different shoot/root temperature during maturation. *Functional Plant Biology,* **29**: 495-503.

Gu Z., Ma B., Jiang Y., Chen Z., Su X. & Zhang H. (2008). Expression analysis of the calcineurin B-like gene family in rice (*Oryza sativa* L.) under environmental stresses. *Gene* **415** :1–12

Guinet R. & Godon B. (1994). La panification française. Eds., Lavoisier-Apria, Tec et Doc, Paris: 534 p

Gupta R.B & Shepherd K.W. (1**990).** Two-step one-dimensional SDS-PAGE analysis of LMW subunits of glutenin. 1. Variation and genetic control of the subunits in hexaploid wheat. *Theorological and Applied of Genetic,* **80**: 65-74.

Hameed A., Bibi N., Akhter J. & Ikbal N. (2011). Differential changes in antioxydants, proteases and lipid peroxidation in flag leaves of wheat genotypes under different levels of water deficit condition. *Plant Physiology and Biochemistry,* **49**: 178-185.

Hare P.D., Cressw A. & Van Staden J. (1998). Dissecting the roles of osmolyte accumulation during plant stress. *Cell and Environment,* **21**: 535-553.

He Z. & Rajaram S. (1994). Differential responses of bread wheat characters to high temperature. *Euphytica,* **72:** 197-203.

Hinton J.J.C. (1955). Resistance of the testa to entry of water into wheat kernel. *Cereal Chemistry,* **32**: 296-306.

Hu H., Dai M, Yao J., Xiao B, Li X., Zhang & Q.,Xiong L. (2006). Overexpressing a NAM, ATAF, and CUC (NAC) transcription factor enhances drought resistance and salt tolerance in rice. *Agricultural sciences* **103** *(35)*:12987–12992.

Huang X.Q., Cloutier S., Lycar N., Radavanovic D.C. & Somers P.D. Brown. (2006). Molecular detection of QTLs for agronomic and quality traits in a doubled haploid population derived from two Canadian wheats (*Triticum aestivum* L.), *Theorlogical Apllied Genetic*, **113**: 753-766.

Hurkman W.J., McCue K.F., Altenbach S.B., Korn A;, Tanaka C.K., Kothari K.M., Johnson E.L. Bechtel D.B. & Dupont F.M (2003).Expression of gene for starch biosynthesis is regulated by high temperature in developing wheat endosperm. *Plant Science*, **164:** 873-881.

Huseynova I M., Suleymanov S Y. & Aliyev J A. (2007). Structural–functional state of thylakoid membranes of wheat genotypes under water stress. *Biochimica et Biophysica Acta* **1767**:869–875.

Igrejas G., Gaborit T., Oury F.X. Chiron H., Marion D. & Branlard G. (2001). Genetic and environmental effects on puroindoline-a and puroindoline-b content and their relationship to technological properties in French bread wheats. *Journal of Cereal Science*, **34:** 37-47.

Iqbal N., Ashraf M.Y. & Ashraf M. (2011). Modulation of endogenous levels of some key organic metabolites by exogenous application of glycine betaine in drought stressed plants of sunflower (*Helianthus annuus* L.), *Plant Growth Regulation*, **63:** 7-12.

J.O.R.A. (1991). *Décret exécutif N° 91/572 du 31 Décembre* relatif à la farine de panification au pain.

Kacperska A. (2004). Sensor types in signal transduction pathways in plant cells responding to abiotic stressors: do they depend on stress intensity. *Physiologia Plantarum* **122** :159–168.

Kameli A. & Losel D.M. (1995). Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic ajustement in wheat leaves under water stress. *Journal of Plant Physiology*, **145**: 363-366.

Kampinga H.H., Hageman J., Vos M.J., Kubota H., Tangua R.M., Brufor E.A., Cheetham M.E., Chen B. & Hightower L.E. (2009). Guidelines for the nomenclature of the human heat shock proteins. *Cell Stress & Chaperones,* **14:** 105-111.

Kang G., Liu G.L., Peng X., Wei L., Wang C., Zhu Y., Ma Y., Jiang Y. & Guo T. (2013). Increasing the starch content and grain weight of common wheat by overexpression of the cytolosique AGPase large subunit gene. *Plant Physiology and Biochemistry,* **73:** 93-98.

Kara Y. (2001). Etude de caractères morphophysiologiques d'adaptation à la sécheresse du blé dur et de quelques espèces apparentées, Intérêt potentiel de ces espèces pour l'amélioration de ces caractères. *Thèse de Doctorat d'Etat,* Université de Constantine, 402p

Kara K. & Brinis (2012). Réponse Physiologique au Stress Hydrique de Variétés de Blé Tendre (*Triticum aestivum L.*) Cultivées en Algérie, *European Journal of Scientific Research* **81(4)** : 524-532

Kara K., Kanouni- Rached M, Tahar A. & Brinis (2014). Influence of Mediterranean conditions on yield parameters and quality of breed wheat (*Triticum aestivum*), *International Journal of Advanced Scientific and Technical Research,* **4(3):** 157-164

Kasarda D.D. (1989). Glutenin structure in relation to wheat quality, pages 277- 302,in: Wheat is unique. Pomeranz, Y, eds., Am. ***Assoc.*** *Cereal* ***Chern.,*** St Paul, MN.

Kaur A., Sigh N., Ahlawat A.K., Kaur S., Singh A.M., Chauhan H. & Singh G.P. (2013). Diversity in grain, flour, dough and gluten properties amongst indian wheat cultivars varying in high molecular weight subunits (HMW-GS). *Food Research International,* **53:** 63-72**.**

Kawaguchi R., Girke T., Bray E A & Bailey-Serres J. (2004). Differential mRNA translation contributes to gene regulation under non-stress and dehydration stress conditions in Arabidopsis thaliana. *Plant Journal* ***38*****:** 823-839

Kerfal S., Giraldo P., Rodriguez-Quijano M., Vazquez J., Adams K., Lukow O.M., Roder M.S., Somers D.J. & Carillo J.M. (2010). Mapping quantitative trait loci (Qtls) associated with dough quality in soft x hard bread wheat progeny. *Journal of Cereal Science,* **52:** 46-52.

Khan IA., Procunier JD., Humphreys DG., Tranquilli G., Schlatter AR., Marcucci-Poltri S., Frohberg R. & Dubcovsky J., (2000) Development of PCR-based markers for a

high grain protein content gene from *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccoides* transferred to bread wheat. *Crop Science,* **40**: 518-524.

Khan A.J., Azam F. & Ali A. (2010). Relatioship of morphological traits and yield in recombinant inbread wheat lines grown under drought conditions. *Pakistan Journal of Botanic,* **42(1):** 259-267.

Khelifi D. & Branlard G. (1991) A new tow-step electrophoresis method for analyzing gliadin polypeptids and high and low molecular weight subunits of glutenin of wheat? *Journal of Cereal Sciences***, 13:** 41-47.

Kiger J.C. & Kiger J.L. (1967). Techniques modernes de la pâtisserie-boulangerie industrielles artisanales et des produits régimes. Ed Dunod, Paris, Vol 1, 676p.

Kislev M. (**1984)**. Emergence of wheat agriculture. *Paléorient*, **10(2)** :61–70.

Kocourková Z., Bradová J., Kohutová Z., Slámová L., Vejl P. & Horčička P. (2008). Wheat Breeding for the Improved Bread-making Quality Using PCR Based Markers of Glutenins. *Czech Journal of Genetic and Plant Breeding,* **44(3)*:*** 105–113.

Labhilili M., Joudrier P. & Gautier M F. (1995). Characterization of cDNAs encoding *Triticum durum* dehydrins and their expression patterns in cultivars that differ in drought tolerance. *Plant Science,* **112:**219-230

Laemmli U.K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature,* **227**: 680-685

Lawrence G.J & Shepherd K.W. (1980). Variation in glutenin protein subunits of wheat. *Australian Journal of Biological Science,* **33**: 221-233

Leal I., Misra S., Atree S.M. & Fowke L.C. (2003). Effect of abcissic acid, osmoticum and dessication on 11S storage protein gene expression in somatic embryos of white spruce. *Plant Science,* **106:** 121-128

Le Clech B. (2000). Agronomie "des bases aux nouvelles orientations". Editions Synthèses Agricole. Bordeaux. 260p

Lesage V. (2011). Contribution à la validation fonctionnelle du gène majeur contrôlant la dureté/tendreté de l'albumen du grain de blé par l'étude de lignées quasi-isogéniques**.** *Thèse de Doctorat d'Université,* Université Blaise Pascal, 118p.

Li Y.H., Wang Q.J. & Ma A. (2003). "The osmotic adjustement and photosynthesis of wheat cultivar Hanfeng9703 with high yield, drought resistance under drought stress", *Acta Agronomica,* **30** : 759-764.

Li R.H., Guo P.C., Baum M., Grando M. & Ceccarelli S. (2006). Evaluation of chlorophyll content and fluorescence parameters as indicators of drought tolerance in barley. *Agricultural Science of China,* **10:** 751-757.

Li Y., Zhou R., Branlard G. & Jia J. (2010). Development of introgression lines with 18 alleles of glutenin subunits and evaluation of the effects of various alleles on quality related traits in wheat *(Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science,* **51:** 127-133.

Li Y., Wu Y., Hernandez-Espinoza N. & Pefia J.R. (2013). The influence of drought and heat stress on the expression of end-use quality parameters of common wheat. *Journal of Cereal Science,***57:**73-78.

Lopez H.W., Adam A., Leenhart F., Scalbert A. & Remezy C. (2001). Maîtrise de la valeur nutritionnelle du pain. *Céréale,* **124** : 15-20.

Loretti E., De Bellis L., Alpi A. & Abbo S. (2001). Why and how do plant cells sense sugars ?. *Annual of Botanic,* **88**: 803-812.

Ma Q. Q., Wangb W., Li Y. H. and Li D Q. & Zou Q. (2006). Alleviation of photoinhibition in drought-stressed wheat (*Triticum aestivum)* by foliar- applied glycinebetaine. *Journal of Plant Physiology,* **163**: 165-175.

Maggie L. (2000). Le blé dur en Afrique du Nord. Agriculture et Agro-alimentation Canada (AAC). Pub. Division analyse du marché, Bulletin bimensuel, vol. **13** : 2000. http://www.agr.ca/policy/win/biweekly/index.htm.

MacRitchie F. (1985). Studies of methodology for fractionation and reconstitution of wheat flours. *Journal of Cereal Sciences,* **3**:221-230

MacRitchie F., du Gros D.L. & Wrigiey C.W. (1990). Flour Polypeptides Related to Wheat

Quality. Pages 79-133**,** in: Advance in Cereal Science and Technology, Pomeranz, y. (eds.), *American. Association of Cereal Chemistry*. St. Paul.

Mann G., Diffey S., Cullis B., Azanza F., Martin D., Kelly A., McIntyre L., Schmidt A. &Morell M.K. (2009). Genetic control of wheat quality : interactions between chromosomal regions determining protein content and composition, dough rheology, and sponge and dough baking properties. *Thorological Applied Genetic,* **118:** 1519-1537.

Martre P., Gretchen B., North, E. G., Bobich & Park S. N. (2002). Root Deployment and Shoot Growth for Two Desert Species in Response to Soil Rockiness.**.** *American Journal of Botany***.** ***89:*** 1933-1939

Martinez D.E., Luquez V.M., Bartoli C.G. & Guiamet J.J. (2003). Persistence of photosynthetic components and photochemical efficiency in ears of water-stressed wheat (*Triticum aestivum), Physiology Plant,* **119:**1-7.

Martinez M.C., Ruiz M. & Carrillo J.M. (2005). Effect of different prolamin alleles on durum wheat quality properties. *Journal of Cereal Science,* **41**: 123–131.

Massaux C., Bodson B., Lenardz J., Sindic M., Sinaeve G., Dardenne P., Falisse A. & Deroanne C. (2006). L'amidon natif du grain de blé : un composé naturel à valoriser par la connaissance de ses propriétés technofonctionnelles ? Livre blanc « céréales » Ed. Faculté universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux et CRA-W, Gembloux : 1-9 p

Maydup M. L., Antonietta M., Guiamet J.J. Graciano C., Lopez J.R. & Tambussi E.A. (2010). The contribution of ear photosynthesis to grain filling in bread wheat (*Triticum aestivum). Field Crop Research,* **119:** 48-58.

McKevith B. (2004). Nutritional aspects of cereals. *Nutrition Bulletin,* **29:** 111-142.

Mohanmmadi V., Qannadha M.R., Zali A.A. **& Yazdi-Samadi B. (2004).** Effect of post anthesis heat stress on heat traits of wheat. *International Journal of Agriculture and Biology,* **6**: 42-44.

Monneveux P. (1984): Sélection des variétés de blé du *(Triticum durum Desf.)* de valeur technologique élevée : quantité de protéines du grain. *Ind.Cereal* **28 :** 21-25

Naega S. (2005). Wheat and flour testing methods : A guide to understanding wheat and flour quality. Published by "*Wheat Marketing Center, Inc"* Portland, Oregon, USA, 71p.

Nazco R., Villegas D., Ammar K., Pena R.J., Moragues M. & Royo C (2012). Can Mediterranean durum wheat landraces contribute to improved grain quality attributes in modern cultivars. *Euphytica,* **185:** 1-17.

Nelson J.C., Andreescu C. & Breseghello F. (2006). Quantitative Trait Locus analysis of wheat quality traits. *Euphhytica,* **149:** 145-159.

Netting A. (2002). pH, abscisic acid and the integration of metabolism in plants under stressed and non-stressed conditions. II. Modifications in modes of metabolism induced by variation in the tension on the water column and by stress. *Journal of experimental Botany,* **53(367):** 151-173.

Nithya U., Chelladuarai V., Jayas D.S. & White N.D.G. (2011). Safe storage guidelines for durum wheat. *Journal of Stored Research,* **47**: 328-333.

Nouri-Ganbalani A., Nouri-Ganbalani G. & Hassanpanah D. (2009). Effects of drought stress condition on the yield and yield component of advanced wheat genotypes in Ardabil. Iran Journal of Food and Agricultural Environment, **7**: 228-234.

Noorka I.R., Rehman J.R, Haidry J.R., Khaliq I., Tabassum S. & Din G. (2009). Effect of water stress on physicochemical properties of wheat (*Triticum aestivum* L. *)Pakistan Journal of Botany,* **41:** 2917-2924.

Nylander M., Svensson J., Palva E.T. & Welin B.V. (2001). Stress-induced accumulation and tissue-specific localization of dehydrins in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Molecular and Biology,* **45(3)**:263-79.

Oosterom V.E., Cecca R. & Peacock J.M. (1993). Yield response of barley to rainfall and temperature in Mediterranean environments. *Journal of Agronomic Science*, **121**; 307-313.

Osborne T.B. (1924). The vegetable proteins. Longmans, Green. London

Orth R.A. & Bushuk W. (1974). Studies of glutenin VI. Chromosomal location of genes coding. *Cereals Chemistry.***51:**118-126

O'Toole J.C. & Cruz R.T. (1980). Response of leaf potential, stomatal resistance and leaf rolling to water stress. *Plant Physiology*, **51:** 993-997.

Ounane G., Cuq B., Abecassis J., Yesli A. & Ounane S.M. (2006). Effcts of physiological characterictics and lipid distribution in algerian durum wheat semolinas on the technological quality of couscous. *Cereal Chemistry*, **83**: 377-384.

Paux E., Sourdille P., Salse J., Saintenac C., Choulet F., Leroy P., Korol A., Michalak M., Kianian S. & Spielmeyer W. (2008). A physical map of the 1-gigabase bread wheat chromosome 3B. *Science*, **322(5898)**:101.

Palm R. (2000). L'analyse de la variance multivariée et l'analyse canonique discriminante : principes et applications. Notes tat.Inform. Gembloux, 40p.

Pang B.S., Yang Y.S., Wang L.F & Zhang X.Y. (2009). Complementary effect of high-Molecular weight glutenin subunits on bread making quality in common wheat. *Acta Agronomica Sinica*, **35(8):** 1379-1385.

Panozzo J.F., Eagles H.A. & Wootton M. (2001). Changes in protein composition during grain development in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, **52:** 485-493.

Park S.H., Wilson J.D., & Seabourne B.W. (2009). Starch granule size distribution of hard red winter and hard spring wheat: its effects on mixing and breadmaking quality. **Journal of** *Cereal Science*, **49:**98-105

Payne P.I., Corfield K.G. & Blackman J.A. (1979). Identification of high molecular weight subunit of glutenin whose presence correlates with breadmaking quality in wheats. Related pedigree**;** *Theorological Applied of Genetic.* **88:** 153-159

Payne P.I., Law C.N. & Mudd E.E. (1980). Control by homeologous Group 1 chromosome of high molecular weight subunits of glutenin, a major protein of wheat endosperm. *Theoretical and applied genetics*, **58**: 113-120.

Payne P.I., Holt L.M., & Law C.N. (1981). Structural and genetical studies on the high molecular weight subunits of wheat glutenin. Part I:Allelic variation in subunit amongst varieties of wheat (*Triticun aestivum)*. *Theoretical and applied genetics*, **60**: 229-236.

Payne P.I., Holt L.M., & Lawrence G.J. (1981). Detection of novel hight-molecular-weight subunit of glutenin in some Japanese hexaploid wheat. *Journal of Cereal Science*, 3-8.

Payne P.I., Nightingale M.A., Kratiiger A.F. & Holt L.M. (1987). The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. *Journal of Science and. Food Agriculture,* **40:**51-65**.**

Percival G.C. & Sheriffs C.N. (2002). Identification of drought-tolerant woody perenials using chlorophyll fluorescence. *Journal of Arboriculture,* **28**: 215-223.

Picard E. (1988). Sélection du blé. L'intégration des biotechnologies: 48-58

Pierre C.S., Peterson C.J., Ross A.S., Ohm J., Verhoeven M.C., Larson M. & White B.H. (2008). Wheat grain quality changes with genotype, nitrogen fertilization, and water stress**.** *Agronomy Journal***, 100:** 414-420.

Poblaciones J.M., Lopez-Bellido L. & Lopez-Bellido R. (2009). Field estimation of technical bread-making quality in wheat, *Field Crop Research,* **112**: 253-259.

Pshenichnikova T.A., Ermakova M.F. Chistyakova A.K., Shchkukina L.V., Berezovskaya E.V., & Borner A. (2008). Mapping of the quantitative Trait Loci (QTL) associated with grain quality characteristics of the bread wheat grown under different environnemental conditions. *Russian Journal of Genetics.***44:** 74-84.

Pomeranz Y. (1988). Chemical composition of kernel structures. Wheat: *chemistry and technology* **I** : 97-158.

Popineau Y. (1985). Propriétés biochimiques et physico-chimiques des protéines de céréales. In Protéines végétales (B.GODON) TEC.Doc. Lavoisier Apria. 629p

Qio Y., Zhang H., Dong B., Shi C., Li Y. & Zhai H. (2010). Effect of elevated CO_2 concentration of growth and water use efficiency of winter wheat under two soil water regimes. *Agricultural water Management,***97:**1742-1748.

Quartacci M.F., Pinzino C., Sgherri C.L.M. & Navarri-Izzo F. (1995). "Lipid composition and protein dynamics in thylakoids of two wheat cultivars differently sensitive to drought", *Plant Physiology,* **108**: 191-197.

Raciti C.N. Doust M.A., Lombardo G.M., Boggini G. & Pecetti L. (2003). Characterization of durum wheat maditerraneen germplasm for high and low molecular weight glutenin subunits in relation with quality. *European Journal of Agronomy,* **19:**373-382

Radaelli R., Morel M.H., Autran J.C. & Pogna N.E. (1995). Genetic analysis of low glutenin subunits fractionated by two-dimensional electrophoresis (A-PAGE x SDS-PAGE). *Journal of Scientific Science,* **21:**5-13

Ramanjulu S. & Bartels D. (2002). Drought- and desiccation-induced modulation of gene expression in plants. *Plant, Cell and Environment* **25:**141–151.

Rampino P., Pataleo S., Gerardi C., Mita G.,Perrotta C., **(2006)**. Drought stress response in wheat: physiological and molecular analysis of resistant and sensitive genotypes. *Plant, Cell and Environment,* **29**: 2143–2152.

Rekika D. (1997). Identification en analyse génétique des caractères physiologiques liés au rendement en condition de sécheresse chez le blé dur. *Intérêt potentiel des espaces sauvages apparentées pour l'amélioration de ces caractères*. Thèse Doctorat, ENSA, Montpellier, 158p.

Robredo A., Perez-Lopez U., Sainz de la Mazaa H., Gonzalez-Moro B., Lacuesta M., Mena-Petite A. & Munoz-Rueda A. (2007). Elevated CO2 alleviates the impact of drought on barley improving water status by lowering stomatal conductance and delaying its effects on photosynthesis. *Environmental and Experimental Botany* ***59***:252–263.

Saint Pierre C., Peterson C.J.? Ross A.S., Ohm J.B., Verhoeven M.C., Larson M. & Hoefer B. (2008). Winter wheat genotypes under different levels of nitrogen and water stress: changes in grain protein composition. *Journal of Cereal Science,* **47**: 407-416.

Salse J., Bolot S., Throude M., Jouffe V., Piegu B., Quraishi U., Calcagno T., Cooke R., Delseny M. & Feuillet C. (2008). Identification and characterization of shared duplications between rice and wheat provide new insight into grass genome evolution. *The Plant Cell Online,* **20(1)**:11.

Sanchez-Garcia M., Alvaro F., Peremarti A. & Martin-Sanchez J.A.(2015). Changes in bread- making quality attributes of bread wheat varieties cultivated in Spain during the 20th century. European Journal of Agronomy, **63:** 79-88.

Savoure A., Jouaua S., Hua X.J. Ardiles W., Van Montagu M. & Verbruggen N. (1995). Isolation, characterisation and chromosomal location of a gene encoding the -1-pyrroline-5-carboxylate synthetase in *Arabidopsis thaliana* . *FEBS Letters,* **372**:13-19.

Schachtman D P. & Goodger J. Q. D. (2008). Chemical root to shoot signaling under drought. *Trends in Plant Science*. **13** (6) **:**281– 287.

Shan X., Clayshulte S.R., Haley S.D. & Byrne P.F. (2007). Variation for glutenin and waxy alleles in the US hard winter wheat germplasm. *Journal of Cereal Science,* **45**: 199-208.

Shao H.B., Liang Z.S. Shao M.A. Sun S.M. & Hu Z.M. (2005). Investigation of dynamic changes of photosynthetic characteristics of 10 wheat (*Triticum aestivum L.)* genotypes during two vegetative-growth stages at water deficits. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces,* **43:**221-227

Shao H.B., Liang Z.S. & Shao M.A. (2006a). Osmotic regulation of 10 wheat (*Triticum aestivum L.)* genotypes of soil water deficits. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces,* **47:**132-139

Shao H.B., Chen X.Y., Chu L.Y., Zhao X.N., Wu G., Yuan Y.B., Zhao C.X. & Hu Z.M. (2006b). Investigation of the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces,* **50:**113-119

Shewry P.R., Tatham A.S., Forde J., Kreis M. & Miflin B.J. (1986). The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: a reassessment. *Journal of Cereal Science,* **4:**97-106.

Shewry P.R. (1995). Plant storage proteins. *Biological review,* **70:** 375-426.

Shewry P.R., Napier J.A. & Tatham A.S. (1995). Seed storage proteins: Structure and Biosyhthesis. *Plant Cell,* **7:** 945-956.

Shewry P. **(2009)**. Wheat. *Journal of experimental botany*, **60(6):**1537.

Singh N.K. & Shephred K.W. (1988). Linkage mapping of genes controlling endosperm storage proteins in wheat: I. Genes on the short arms of group 1 chromosome. *Theoretical and Applied Genetics*, **75**:628-641.

Singh N.K. & Shephred K.W., Cornish G.B. (1991) A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunit of glutenin. *Journal of cereal Science,* **14:** 203-208.

Singh S., Singh G., Singh P. & Singh N. (2008). Effect of water stress at different stages of grain development on the characteristics of starch and protein of different wheat varieties. *Food Chemistry*, **108:** 130-139.

Soltis P. (2005). Ancient and recent polyploidy in angiosperms. *New Phytologist*, **166(1)**:5–8.

Sung D.Y., Kaplan F., Lee K.J. & Guy C.L. (2003). Aquired tolerance to temperature extremes. *Trends in Plant Science*, **8:** 179-187.

Surget A. & Barron, C. (2005). Histologie du grain de blé, *Industrie des céréales*, **145** : 4-7.

Tabiki T., Ikeguschi S. & Ikeda T.M. (2006). Effects of High-molecular-weight and Low-molecular-weight glutenin subunit alleles on common wheat flour quality. *Breeding Science*, **56**: 131–136.

Tadesse. W, M,. Schmolke S.L.K., Hsam V., Mohler G., Wenzel F & Zellerx J. (2010). Chromosomal location and molecular mapping of a tan spot resistance gene in the winter wheat cultivar Red Chief, *Journal of Applied Genetic*, **51(3)**: 235–242.

Talame V., Ozturk N., Bohnert H. & Tuberosa R. (2007). Barley transcript profiles under dehydratation shock and drought stress treatments: a comparative analysis. *Journal of Experimental Botany*, **58(2):** 229-240.

Tambussi E.A., Nogues S. & Araus J.L.(2005). Ear of durum wheat under water stress : water relations and photosynthetic metabolism. *Planta*, **221:** 446-458.

Tambussi E.A., Bort J., Guilamet J.J., Nogues S., & Araus J.L. (2007). The photosynthetic role of ears in C_3 cereals: metabolism, water use efficiency and contribution to grain yield. *Revue of Plant Science*, **26:1**-16

Tambussia E A., Bartolia C G., Beltranoa J., Guiameta J J. & Araus J L. (2000). Oxidative damage to thylakoid proteins in water-stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum).* *Physiologia Plantarum* **108**:398–404.

Thitisaksakul M., Jimenez R., Arias M.C. & Bekles D.M. (2013). Effects of environmental factors on cereal starch biosynthesis and composition. *Journal of Cereal Science*, **56**: 67–80.

Tian J.C., Deng Z.Y., Hu R.B. & Wang Y.X. (2012). Yield components of super wheat culitvars with different types and the path coefficient analysis on grain yield**.** *Acta of Agronomic,* **32(11):** 1699-1705.

Tohver M. (2007). High molecular weight (HMW) glutenin subunit composition of some Nordic and Middle European wheats. *Genetic Research of Crop Evolution,* **54:** 67-81.

Troll W. & Lindsley J. (1955). A photometric method for the determination of proline. *Biology of Chemistry*. **215:** 655-660.

Urao, T., Yakubov, B., Satoh, R., Yamaguchi-Shinozaki, K., Seki, M., Hirayama, T. & Shinozaki, K. (1999) A transmembrane hybrid-type histidine kinase in *Arabidopsis* functions as an osmosensor. *Plant Cel,l* **11**, 1743-1754.

Vawser M. & Cornish G.B. (2004). Over-expression of HMW glutenin subunit Glu-B1 7 x in hexaploid wheat varieties (Triticum aestivum)**.** *Australian Journal of Agricultral Research,* **55:** 577-588.

Vazquez J.F., Ruiz M., Nieto-Taladriz M. & Albuquerque M.M. (1996). Effects on gluten strength of low glutenin subunits coded by alleles at the Glu-A3 and Glu-B3 loci in durum wheat, *Journal of Cereal Science*, **24**: 125–130.

Vendruscolo E.C.G., Schuster I., Pilleggi M., Scapim C.A. & Vieira L.G.E (2007). Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. *Journal of Plant Physiology,* **164:** 1367-1376.

Vensel W.H., Tanaka C.K., Cai N., Wong J.H., Buchanan B.B. & Hurkman W.J. (2005). Developmental changes in the metabolic protein profiles of wheat endosperm. *Proteomics,* **5** :1594-1611.

Veraverbeke W.S. & Delcour J.A. (2002). Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition,* **42:** 1179-1208

Verslues P., Agarwal M., Katiyar-Agarwal S., Zhu J., & Zhu J. (2006). Methods and concepts in quantifiying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that effect plant water statues. *The Plant Journal,* **45:**523-539

Wang W., Vinocur B., Shaseyov O. & Altman A, (2001).Biotechnology of plant osmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. *Acta Horticulture,* **550:** 285-292.

Wang W., Vinocur B. & Altman A, (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta,* **218:**1-14.

Wang L., Li G., Pena R.J., Xia X. & He Z. (2010). Development of STS markers and establishment of multiplex PCR for Glu-A3 alleles in common wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Cereal Science,* **51**: 305-312.

Weightman R.M., Millar S., Alava J., Foulkes M.J., Fish L. & Snape J.W. (2008). Effects of drought and the presence of the 1BL/1RS translocation on grain vitreosity, hardness and protein content in winter wheat. *Journal of Cereal Science,* **47:** 457-568.

Williams R.M., O'Brian L.O., Eagles H.A., Solah V.A. & Jayasena V. (2008). The influence of genotype environment and genotype x environment interaction on wheat quality. *Australian Journal of Agricultural Research,* **59:** 95-111.

Wilkinson S. & Davies W. J. (2002). ABA-based chemical signaling: the co-ordination of responses to stress in plants. *Plant, Cell and Environment* **25**:195–210.

Wirth D., Christians E.S., Drion P.V., Dessy-Doice C. & Gustin P.(2003). Les protéines de choc thermique (head shock prteins-Hsps). II. HPS70: biomarqueur et acteur du stress cellulaire. *Annales de Médecine et vétérinaire,* **147 :** 127- 144.

Wrigley *C.* W. & **Bietz J.A. (1988)**. Proteins and amino acids. Pages 159-275 in: Wheat: Chemistry and Technology, vol. I.3rd ed. Y. Pomeranz (eds.). *Am. Assoc. Cereal. Chem.,* St Paul, MN.

Wrigley C., Bekes F. & Bushuk W. (2006). Gliadin and glutenin: the unique balance of wheat quality, edited by AACC international press, 446 pp.

Xiao H., Siddiqua M., Braybrook S. & Nassuth A. (2006). Three grape CBF/DREB1 genes respond to low temperature, drought and abscissic acid. *Plant Cell of Environment,* **29:** 1410-1421.

Xiong L. & Zhu J K. (2001). Abiotic stress signal transduction in plants: Molecular and genetic perspectives. *Physiologia Plantarum* **112:**152–166.

Xu Z., Yu Z W., Wang D. & Zhang Y L. (2005). Nitrogen Accumulation and Translocation for Winter Wheat under Different Irrigation Regimes. *Journal of Agronomy & Crop Science* **191**: 439- 449.

Yao J., Ma H., Yang X., Yao G.U. & Zhou M. (2014). Inheritance of grain yield and its correlated with yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *African Journal of Biotechnology,* **13(12)**: 1379-1385.

Yordanov I., Velikova V. & Tsonev T. (2003). Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology, 5:187*-206

Zerrad W., Maatoui B.S., Hilali S., El Antri S. & Hmyene A. (2008). Etude comparative des mécanismes biochimiques de résistance au stress hydrique de 2 variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal*, **9(2)** : 27-36.

Zhang Y.B., Xin W.L., Sun L.F Xiao Z.M. & Qi S.Y. (2003). Flour quality differences between near-isogenic lines with HWM glutenin subunits 2 + 12 and 5 + 10 in wheat. *Acta Agronomica Sinica*, **29**: 93-96.

Zhang L.L., Li X.Q., Yang X.M., Li H.J., Wang H., & Li L.H. (2007). High molecular weight glutenin subunit composition of chinese wheat germplasm. *Agricultural Sciences in China*, **6(8):** 899-907.

Zhang T.Z., Wang Y., Yin R., Cai S., Yan S. & Li W. (2010). Starch content and granule size distribution in grains of wheat in relation to post-anthesis water deficits. *Journal of Agronomy and Crop Science,* **196:** 1-8

Zhao H., Dai T., Jiang D. & Cao W. (2008). Effects of high temperature on key enzymes involved in starch and protein formation in grains of two wheat cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science,* **194**: 47-54.

Zhu X., Gong H., Chen G., Wang S. & Zhang C. (2005). Different solute levels in two spring wheat cultivars induced by progressive field water stress at different developmental stages. *Journal of Arid Environnement,* **62**:1–14

Zohary D. & Hopf M. (1988). Domestication of plants in the Old World. Oxford. Clarendon Press.

Zoghmaz M. (2007). Etudes des caractères morphophysiologiques liés au rendement en condition de sécheresse sur quelques variétés de blés cultivés dans le Constantinois. Mémoire de Magister, Université de Constantine, 127p.

ANNEXES

Annexe 1 : Protocole du test de Sédimentation SDS

Produits :
- Sodium Dodécyl Sulfate
- Acide acétique à 90%

Réactifs :
- 20 mg de SDS dissouts dans 1L d'eau plus 20 ml de solution dérivée
- Acide lactique (1 volume d'acide pour 1 volume d'eau)

Préparation de l'échantillon
- 20 g de grain sont débarrassés de leurs impuretés
- Broyage de l'échantillon avec un moulin type (Brabender, réglage 90 : mouture la plus fine)

Prise d'essai de : 6g de farine

Essai de sédimentation
- La prise d'essai est introduite dans un cylindre gradué (Eprouvette à 100ml)
- 50 ml d'eau à 22°C sont rajoutées

Mode n°1 (AXFORD)
Toutes les opérations sauf les agitations se passent dans un bain-marie à 22°C.
- L'horloge est réglée à 0
- t=0, le mélange est agité rapidement pendant 15 secondes
- t=2mns, le mélange est agité rapidement pendant 15 secondes
- t=4mns, le mélange est agité rapidement pendant 15 secondes

Immédiatement 50ml du réactif SDS-Acide lactique à 22°C est ajouté.
Le cylindre est retourné 4 fois pour mélanger et l'horloge est réglée à 0
- t=2mns, le cylindre est retourné 4 fois
- t=4mns, le cylindre est retourné 4 fois
- t=6mns, le cylindre est retourné 4 fois

Le cylindre est retiré du bain-marie et est placé en position verticale. Il reste au repos 20 mns pour lire le volume de dépôt

---

Annexe 2 : Protocole du test de Pelshenke

Mouture
- 11 à 15g de grain de blé sont réduits en farine avec un moulin de type Brabender
- 10g de farine sont placés dans un bol à 18-20°C (24h au maximun avant son utilisation)

Préparation des levures
- Solution mère de levure (Saccharomyces cerevisiae)
- Eau distillée

Cette solution est préparée avant l'utilisation et est maintenue sous agitation constante à 32°C

Préparation des béchers
Les béchers les plus appropriés sont d'une contenance de 150 ml et hauts de 80 mm

- Chaque bécher est rempli de 120 ml d'eau distillée à 32°C et est maintenue à 32°C
- Pour éviter l'évaporation, chaque bécher est recouvert de verre

Fabrication de la pâte (à température ambiante)

- A l'aide d'une spatule, un trou est creusé au centre de la farine et 6ml de la solution de levure est versée dessus
- La farine est énergiquement mélangée avec une spatule. Chaque particule de farine est utilisée pour former un pâton.
- La petite boule de pâte est posée sur une plaque de verre et pétrie à la main pendant 30s. Allonger la pâte avec la paume de la main puis refaire une boule et recommencer.
- Après 30s, le rouleau de pate est divisé en deux parts égales avec un scalpel
- Les deux parts sont roulées entre les deux paumes des mains pour former deux boules sphériques.
- Ces boules sont placées dans les béchers préparés à l'avance (avec 120ml d'eau).

L'instant où la première boule est placée dans le bécher constitue le temps T0. L'instant où la seconde est placée dans le second bécher est le temps T'0

Calcul de l'indice Pelschenke

Le dioxyde de carbone produit par les levures augmente le volume du pâton qui remplit tout le bécher. Après un temps variable, la boule formée éclate et retombe. Cet instant est noté 1 pour la première boule et T'1 pour la seconde.

L'indice Pelshenke est exprimé en minutes :

$$\mathbf{Pel = (T1-T0+T'1-T'0) / 2}$$

La valeur de Pelshenke peut varier entre 15 mns (mauvaise qualité boulangère) et plus de 240 mns (pâte très consistante)

Annexe 3 : Extraction des protéines de réserve (Singh et *al.*, 1991)

20 mg de farine ou ½ grain broyé au mortier

↓

Ajouter 1 ml de solution A et Vortexer

Incuber 30 min à 65°C en vortexant toutes les 10 min

Centrifuger 1 min à 10000 g

Extraction des gluténines	**Extraction des gliadines**
↓	↓
Eliminer le surnageant	Récupérer le surnageant
↓	↓
Introduire 1ml de la solution A - Vortexer	Evaporation du surnageant
Etuver 30 min à 65°C	1 nuit à 65°C
Centrifuger 1 min à 10000g	↓
Eliminer le surnageant	Reprendre le résidu sec avec
↓	0,2 ml de la solution C
Introduire 0,5 ml de la solution A	Vortexer
Emietter le culot, vortexer	Etuver 15 min à 65°C
Centrifuger 5 min à 10 000g	Centrifuger 5 min à 10 000g
Eliminer le surnageant par aspiration	↓
↓	↓
Introduire 0,1 ml de solution B1 - Vortexer	↓
Incuber 15 min à 65°C et Centrifuger 5 min à 10 000g	↓
↓	↓
Ajouter 0,1 ml de la solution B2- Incuber 15 min à 65°C	↓
Centrifuger 2 min à 10 000g	↓
↓	↓
Prélever 0,1 ml de surnageant	↓
Additionner 0,1 ml de la solution C et vortexer	↓
Incuber 15 min à 65°C. Centrifuger 2 min à 10000g	↓
↓	↓
Révélation des gluténines FPM et HPM sur	Révélation de ω-gliadine sur
SDS-PAGE T= 12,8 % C= 0,97%	SDS-PAGE T= 10,3 % C= 1,3%

Annexe 4 : Solution utilisée dans l'extraction des gluténines

Solution A

Propanol-1	50 ml
Eau permutée	qsp 100 ml

Solution B

Propanol-1	10 ml
Tris HCL 1M pH = 8	1,6 ml
Eau permutée	qsp 20 ml

Solution B1

Solution B	7 ml
D-L Dithiothreitol (DTT)	70 mg

Solution B2

Solution B	7 ml
4- Vinylpyridine	98 µl

Solution C

SDS	20 mg
Glycérol	4 ml
Bleu de bromophenol	2 mg
Tris HCL 1M pH = 8	0,8 ml
Eau permutée	qsp 10 ml

Annexe 5 : **Résultats de la description des données. Valeur des moyennes (m) plus ou moins l'ecart-types (s) calculée par variable et par variété pour l'année 2009-2010**

Variétés	EPS	HTR	NE/M^2	NGE	PMG	RDT
V1	110 ± 0	101 ±0,816	303,7 ± 2,5	67,5 ± 1,7	37,13 ± 0,6	66,12 ± 5,1
V2	106 ± 0	87 ± 0,816	337,2 ±2,63	59,00± 0,82	37,80± 3,32	57,62± 3,32
V3	108 ± 0	99,5 ± 0,58	329,3 ±9,78	73,3 ± 2,06	37,4 ± 2,96	53,3 ± 2,96
V4	105 ± 0	87,3 ±2,63	538,5 ±2,38	70,5 ± 0,58	38 ± 4,97	67 ±4,97
V5	106 ± 0	91,5 ±2,38	391,5 ±2,38	56,8 ± 1,50	33,4 ± 8,50	66,7± 8,50
V6	106 ± 0	89,5 ± 0,58	379,8 ±1,26	60,8± 1,89	37,5± 1,81	67,4 ± 9,07
V7	110 ± 0	101,3 ±7,50	397,0 ±2,45	60,5 ± 1,0	39,3 ± 0,17	53,7 ± 7,62
V8	106 ± 0	95,8 ± 0,96	386,8 ±9,07	76,8 ± 3,20	41,6 ± 0,62	64,0 ± 8,98
V9	108 ± 0	81,0 ± 2,00	411,3 ± 6,3	61,0 ± 0,82	39,4 ± 1,24	61,6 ± 8,63
V10	105 ± 0	93,8 ± 4,79	370,3 ±29,8	55,8 ± 4,03	35,7 ± 0,08	63,7 ± 8,00

Annexe 6 : Résultats de la description des données. Valeur des moyennes (m) plus ou moins l'écart-types calculée par variable physiologique et par variété stressées (S) et variétés témoins (T) pour l'année 2009-2010

Var	Prol	S	TRE %	SF	CHL Tot	CHL a/b
VS1	21± 1	311,6 ± 6,76	76,2 ± 7,09	1333± 56,5	0,252± 0,01	2,0
VS2	25,6	250,3± 8,72	37,2± 0,77	887± 90	1,4± 0,14	1,8± 0,2
VS3	29,3± 0,37	361,4± 9,9	41± 4,83	683± 116,5	1,7±0,17	1,8± 0,19
VS4	24± 6,01	270,3± 6,46	64± 12,4	1010±475,4	0,6±0,01	1,6± 0
VS5	33,2±6,63	336,1±7,3	66,6±5,57	1099±313,5	1,5±0,11	1,7± 0,1
VS6	34,2±1,19	437,8±8,36	61±1,77	973±44,5	1,6±0,16	2,4±0,27
VS7	30,2±4,14	599±14,93	64,7±9,24	1065±448,1	0,7±0,02	1,9±0,12
VS8	34±22,04	285±24,9	41,3±9,24	735±82,5	0,358±0,03	1,8±0,58
VS9	23,5±3,88	481,2±41,29	35,7±5,27	928±35	0,427±0,03	1,6±0,58
VS10	31,1±6,1	222,8±4,7	79,4±1,05	727±30	0,37±0,06	1,7±0,58
VT1	12,4±0,13	725±2,57	84±8,6	1098±74,85	0,663±0,4	1,7
VT2	12±0,21	239,7±9,93	66,2±3,57	1338±171,06	1,7±0,65	1,5±0,4
VT3	14,2±3,23	246,7±3,14	71,4±7,89	1371±34,42	2,2±0,17	1,6±0,16
VT4	12,8±0,93	207±2,88	75,7±3,7	1092±329,25	1,7±0,06	1,8±0,12
VT5	13±0,56	298±7,21	70,8±2,4	1395±390,6	1,99±0,17	1,9±0,06
VT6	15,7±2,04	324,4±13,91	64,8±1,09	1245±67,45	2±0,19	1,85±0,13
VT7	16,5±0,93	249±9,88	79,8±1,5	1382±126,6	1,765±0,08	1,7±0,18
VT8	13,8±0,21	285±24,96	72±1,62	1544±89	1,9±0,02	1,9
VT9	14±3,41	481,2±41,29	80,4±4,44	1110±498	2,2±0,03	1,98±0,13
VT10	14,2±3,33	262,1±18,6	73±0,9	812±264,4	2,195±0,31	2±0,35

Annexe 7 : Comparaison des teneurs en proline entre variétés témoins et variétés stressées chez 10 variétés de blé tendre. Test *t* de Student

Variétés	Moyenne des variétés stressées	Moyenne des variétés témoins	T_{0bs}	P
V1	21,0	12,3	14,84	0,000***
V2	Valeurs identiques	Valeurs identiques	N.S	N.S
V3	29,25	14,19	8,08	0,001***
V4	23,88	12,77	3,17	0,034*
V5	33,22	13,08	5,24	0,006**
V6	34,19	15,74	13,86	0,000***
V7	30,18	16,53	5,57	0,005**
V8	33,9	13,82	1,58	$0,190^{NS}$
V9	23,51	14,05	3,17	0,034*
V10	31,10	14,20	4,21	0,014*

Annexe 8 : Comparaison des teneurs en sucre soluble entre variétés témoins et variétés stressées chez l0 variétés de blé tendre. Test *t* de Student

Variétés	Moyenne des variétés stressées	Moyenne des variétés témoins	T_{0bs}	P
V1	311,61	241,71	16,74	0,000***
V2	250,28	239,71	1,39	$0,238^{NS}$
V3	361,42	246,66	19,14	0,000***
V4	270,28	207,0	7,50	0,002**
V5	336,09	298,00	6,43	0,003**
V6	437,81	324,5	12,10	0,000***
V7	599,0	249,04	33,66	0,000***
V8	284,9	284,9	0,00	$1,000^{NS}$
V9	481,2	481,2	0,00	$1,000^{NS}$
V10	222,85	262,1	3,84	0,024*

Annexe 9: Comparaison des teneurs en TRE entre variétés témoins et variétés stressées chez l0 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne des variétés stressées	Moyenne des variétés témoins	T_{0bs}	P
V1	76,18	83,97	1,21	$0,292^{NS}$
V2	37,200	66,23	13,76	0,000***
V3	40,96	71,46	5,71	0,005**
V4	63,9	75,72	1,87	$0,191^{NS}$
V5	66,65	70,86	1,20	$0,295^{NS}$
V6	60,95	64,79	3,20	0,033*
V7	64,76	79,83	2,79	0,049*
V8	41,29	71,90	9,61	0,001**
V9	35,72	80,35	8,81	0,001**
V10	79,39	72,98	8,02	0,001**

Annexe 10 : Comparaison des valeurs de la surface foliaire entre variétés témoins et variétés stressées chez l0 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne des variétés stressées	Moyenne des variétés témoins	T_{0bs}	P
V1	1333,0	1098,3	4,33	0,012*
V2	887	1338	4,04	0,016*
V3	683	1371,7	9,81	1,001**
V4	1010	1093	0,25	$0,817^{NS}$
V5	1099	1396	1,02	$0,363^{NS}$
V6	973,3	1245,0	5,82	0,004**
V7	1066	1383	1 ,18	$0,304^{NS}$
V8	735,3	1544	11,54	0,000***
V9	928	1110	0,63	$0,562^{NS}$
V10	727	812	6,86	$0,608^{NS}$

Annexe 11 : Comparaison des teneurs en chlorophylle totale (a+b) entre variétés témoins et variétés stressées chez l0 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne des variétés stressées	Moyenne des variétés témoins	T_{0bs}	P
V1	0,2627	0,659	1,73	$0,160^{NS}$
V2	1,757	2,067	0,81	$0,464^{NS}$
V3	1,765	2,133	2,63	0,058*
V4	0,2997	1,7700	40,70	0,000***
V5	1,720	2,017	2,55	0,063*
V6	1,670	1,895	1,57	$0,192^{NS}$
V7	0,3140	1,6883	27,49	0,000***
V8	0,3170	1,9667	80,01	0,000***
V9	0,3193	2,2333	74,98	0,000***
V10	0,3717	2,133	9,78	0,001***

Annexe 12: Comparaison des valeurs du rapport de la chlorophylle a/b entre variétés témoins et variétés stressées chez 10 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne des variétés stressées	Moyenne des variétés témoins	T_{0bs}	P
V1	Valeurs identiques	Valeurs identiques	N.S	N.S
V2	1,840	1,495	1,38	$0,253^{NS}$
V3	1,786	1,529	1,82	$0,143^{NS}$
V4	Valeurs identiques	Valeurs identiques	N.S	N.S
V5	1,686	2,066	5,59	0,005**
V6	2,307	1,903	2,32	0,081*
V7	2,072	1,826	1,95	$0,123^{NS}$
V8	Valeurs identiques	Valeurs identiques	N.S	N.S
V9	2,333	1,977	1,04	$0,357^{NS}$
V10	2,66	1,600	2,24	0,052*

Annexe 13 : Matrice de corrélation des différentes variables analysés pour les paramètres agronomiques chez les 10 variétés de blé tendre de l'année 2009/2010

	EPS	HTR	NE/M²	NGE	PMG
HTR	0,537				
	0,109				
NE/M²	-0,434	-0,471			
	0,210	0,170			
NGE	0,101	0,315	0,103		
	0,782	0,376	0,778		
PMG	0,222	-0,001	0,141	0,582	
	0,538	0,998	0,697	0,078	
RDT	-0,463	-0,328	0,320	-0,060	-0,270
	0,177	0,354	0,368	0,870	0,450

Annexe 14 : Matrice de corrélation des différentes variables analysés pour les traits physiologiques chez les 10 variétés de blé tendre de l'année 2009/2010

	Proline	Sucre	TRE	SF	CHL (a+b)
Sucre	0,090 0,804				
TRE	0,042 0,908	-0,113 0,755			
SURF FOL	-0,442 0,200	0,246 0,493	0,493 0,148		
CHL (a+b)	0,392 0,263	0,084 0,817	-0,271 0,448	-0,175 0,628	
CHL a/b	0,356 0,312	0,270 0,451	0,197 0,585	0,189 0,601	0,398 0,254

Contenu de la cellule : Corrélation de Pearson
Valeur de P

Annexe 15 : **Résultats de la description des données. Valeur des moyennes (m) plus ou moins l'écart-types (s) calculée par variable et par variété pour l'année 2010-2011 sur le site de Sétif**

	VAR	EPS	HTR	NE/M²	NGE	PMG
	VS1	134±2	85±4,3	345,25±159	33±5	30±3,3
	VS2	130,25±0,5	86,75±9,1	450±72,5	28,25±2,4	30,15±3
	VS3	134,00	90,75±3,3	420±61,6	29,75±5,3	34,225±0,7
	VS4	134,00	91,±5,2	431,25±97,3	30±1,8	30,35±2
	VS5	130,00	90,25±3	417,5±71,8	36±4	33,675±4,2
	VS6	129,5±1	84,75±5,4	378,75±135	38,25±3	34,125±2
	VS7	130,00	90,25±3	571,25±217	26,25±1,3	27,7±2,4
	VS8	131,00	90,25±3,6	450±47	27,5±5,3	27,975±2,6
	VS9	130,25±0,5	84,25±1,5	457,5±135	25,75±1,3	30,625±2,8
	VS10	130,25±0,5	87,75±1,3	433,75±81,7	33,25±3,3	30,875±1,7

Annexe 16 : **Résultats de la description des données. Valeur des moyennes (m) plus ou moins l'écart-types (s) calculée par variable et par variété pour l'année 2011-2012 sur le site de Sétif**

VAR	EPS	HTR	NE/M²	NGE	PMG	RDT
V11	134±2	85±4,3	345,25±159	33±5	30±3,3	34,05±3,2
V12	130,25±0,5	86,75±9,1	450±72,5	28,25±2,4	30,15±3	33,9±3,2
V13	134,00	90,75±3,3	420±61,6	29,75±5,3	34,225±0,7	41,4±3
V14	134,00	91,±5,2	431,25±97,3	30±1,8	30,35±2	35,2±4
V15	130,00	90,25±3	417,5±71,8	36±4	33,675±4,2	36,05±4
V16	129,5±1	84,75±5,4	378,75±135	38,25±3	34,125±2	34,84±1,6
V17	130,00	90,25±3	571,25±217	26,25±1,3	27,7±2,4	32,45±4
V18	131,00	90,25±3,6	450±47	27,5±5,3	27,975±2,6	35,1±1,5
V19	130,25±0,5	84,25±1,5	457,5±135	25,75±1,3	30,625±2,8	31,5±1,1
V20	130,25±0,5	87,75±1,3	433,75±81,7	33,25±3,3	30,875±1,7	32,7±4,6

Annexe 17 : Comparaison entre années pour le site de Sétif, des teneurs moyennes en HTR chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne de l'année 2010	Moyenne de l'année 2011	T_{0bs}	P
V11	95,50	85,00	7,61	0,000***
V12	80,75	86,75	2,37	0,027*
V13	89,750	90,75	0,99	$0,333^{NS}$
V14	91,750	91,00	0,50	$0,624^{NS}$
V15	85,50	90,00	3,70	0,001**
V16	92,750	84,83	4,88	0,000***
V17	93,00	90,42	2,72	0,012*
V18	84,75	90,25	4,63	0,000***
V19	82,50	83,75	2,01	0,057*
V20	86,50	83,75	4,25	0,000***

Annexe 18 : Comparaison entre années pour le site de Sétif, des teneurs moyennes en NE/M² chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne de l'année 2010	Moyenne de l'année 2011	T_{0bs}	P
V11	396	345	0,95	$0,352^{NS}$
V12	385,0	450,0	2,82	0,010*
V13	419,0	420,0	0,05	$0,963^{NS}$
V14	450,0	431,3	0,69	$0,500^{NS}$
V15	364,3	417,5	2,41	0,024*
V16	352,8	362	0,21	$0,835^{NS}$
V17	534,9	571	0,63	$0,538^{NS}$
V18	428,5	450,0	1,58	$0,128^{NS}$
V19	402,3	457	1,52	$0,142^{NS}$
V20	459,3	432,6	0,81	$0,425^{NS}$

Annexe 19 : Comparaison entre années pour le site de Sétif, des teneurs moyennes en NGE chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne de l'année 2010	Moyenne de l'année 2011	T_{0bs}	P
V11	63,30	33,08	8,88	0,000***
V12	41,75	28,25	9,13	0,000***
V13	27,25	29,67	1,07	$0,295^{NS}$
V14	34,80	29,75	1,38	$0,180^{NS}$
V15	38,00	36,00	0,87	$0,391^{NS}$
V16	28,75	38,25	8,36	0,000***
V17	36,75	26,25	6,25	0,000***
V18	42,75	27,50	5,37	0,000***
V19	58,50	25,75	29,45	0,000***
V20	33,75	33,33	0,32	$0,753^{NS}$

Annexe 20 : Comparaison entre années pour le site de Sétif, des teneurs moyennes en PMG chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne de l'année 2010	Moyenne de l'année 2011	T_{0bs}	P
V11	37,6	30,00	2,00	0,092*
V12	37,80	30,15	2,86	0,029*
V13	33,00	34,225	1,10	$0,314^{NS}$
V14	32,90	30,35	1,34	$0,228^{NS}$
V15	32,55	33,67	0,38	$0,718^{NS}$
V16	29,85	34,13	3,50	0,013*
V17	47,70	27,70	9,96	0,000***
V18	40,77	27,98	2,78	0,032*
V19	43,50	30,625	3,04	0,023*
V20	30,88	30,88	00,0	$1,00^{NS}$

Annexe 21 : Comparaison entre années pour le site de Sétif, des teneurs moyennes en RDT chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne de l'année 2010	Moyenne de l'année 2011	T_{0bs}	P
V11	45,67	34,05	5,41	0,002**
V12	42,08	33,90	2,14	0,076*
V13	39,16	41,40	0,62	$0,555^{NS}$
V14	33,97	35,17	0,41	$0,699^{NS}$
V15	37,62	36,04	0,45	$0,669^{NS}$
V16	30,52	34,84	4,41	0,005**
V17	45,16	32,45	4,00	0,007**
V18	43,98	35,09	3,13	0,020*
V19	46,19	31,49	6,19	0,001**
V20	31,24	32,71	0,40	$0,701^{NS}$

Annexe 22 : Matrice de corrélation des différentes variables analysés pour les paramètres agronomiques chez les 10 variétés de blé tendre de l'année 2010/2011 sur le site de Sétif

	EPS	HTR	NE/M²	NGE	PMG
HTR	0,201				
	0,578				
NE/M²	0,149	0,248			
	0,681	0,490			
NGE	0,213	-0,094	-0,151		
	0,554	0,796	0,676		
PMG	-0,073	-0,119	0,542	0,477	
	0,841	0,742	0,105	0,163	
RDT	0,226	-0,168	0,213	**0,700**	**0,862**
	0,530	0,643	0,555	0,024	0,001

Annexe 22 : Matrice de corrélation des différentes variables analysés pour les paramètres agronomiques chez les 10 variétés de blé tendre de l'année 2011/2012 sur le site de Sétif

	EPS	HTR	NE/M²	NGE	PMG
HTR	0,265				
	0,459				
NE/M²	-0,389	0,413			
	0,266	0,236			
NGE	-0,097	-0,199	**-0,679**		
	0,789	0,581	0,031		
PMG	0,045	-0,103	**-0,557**	**0,686**	
	0,903	0,778	0,094	0,029	
RDT	**0,533**	**0,502**	-0,315	0,208	**0,593**
	0,113	0,140	0,375	0,565	0,071

Contenu de la cellule : Corrélation de Pearson
Valeur de P

Annexe 23 : Matrice de corrélation des différentes variables analysés pour les paramètres agronomiques chez les 10 variétés de blé tendre sur le site de Sétif sur deux années

	EPS	HTR	NE/M²	NGE	PMG
HTR	0,393				
	0,262				
NE/M²	-0,074	0,232			
	0,839	0,520			
NGE	0,177	-0,299	-0,436		
	0,624	0,402	0,208		
PMG	-0,172	-0,153	0,537	0,184	
	0,635	0,673	0,109	0,611	
RDT	0,388	-0,017	0,163	0,267	**0,703**
	0,268	0,963	0,652	0,455	0,023

Annexe 24 : **Résultats de la description des données. Valeur des moyennes (m) plus ou moins l'écart-types (s) calculée par variable et par variété pour l'année 2010-2011 sur le site de Constantine**

	VAR	EPS	HTR	NE/M²	NGE	PMG
	VS1	134±2	85±4,3	345,25±159	33±5	30±3,3
	VS2	130,25±0,5	86,75±9,1	450±72,5	28,25±2,4	30,15±3
	VS3	134,00	90,75±3,3	420±61,6	29,75±5,3	34,225±0,7
	VS4	134,00	91,±5,2	431,25±97,3	30±1,8	30,35±2
	VS5	130,00	90,25±3	417,5±71,8	36±4	33,675±4,2
	VS6	129,5±1	84,75±5,4	378,75±135	38,25±3	34,125±2
	VS7	130,00	90,25±3	571,25±217	26,25±1,3	27,7±2,4
	VS8	131,00	90,25±3,6	450±47	27,5±5,3	27,975±2,6
	VS9	130,25±0,5	84,25±1,5	457,5±135	25,75±1,3	30,625±2,8
	VS10	130,25±0,5	87,75±1,3	433,75±81,7	33,25±3,3	30,875±1,7

Annexe 25 : **Résultats de la description des données. Valeur des moyennes (m) plus ou moins l'écart-types (s) calculée par variable et par variété pour l'année 2011-2012 sur le site de Constantine**

VAR	EPS	HTR	NE/M²	NGE	PMG	RDT
V11	144	83	365,25±70	34,5±3,8	38,675±3	56,1±4
V12	144	72±0,8	441,25±90	31±7	43,875±3,3	48,1±7,5
V13	144	87,75±1,3	309,75±55	36,75±2,5	44,15±2,5	49,1±13,7
V14	144	89±0,8	314,25±46	37±5	43,3±2,5	52,3±5,8
V15	144	95±0,8	425,25±50	37,25±8	45,55±5	49,05±8,3
V16	142	91±0,8	497,75±121	26,25±3,3	38,825±3	55,3±2,4
V17	139	95,25±1	294±43	40,25±7	47,475±0,8	56,1±1,6
V18	144	105±0,8	475±130	30,75±7,6	42,9±5,8	53,1±1,6
V19	141	99±0,8	393±36	39±4,3	46,825±1,6	53,55±3
V20	139	104±0,8	436,25±72	35±6	47,2±2,5	55,675±2

Annexe 26 : **Comparaison entre années pour le site de Constantine, des teneurs moyennes en HTR chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student**

Variétés	Moyenne de l'année 2010	Moyenne de l'année 2011	T_{0bs}	P
V11	105,00	83,000	47,77	0,000***
V12	80,00	71,75	14,25	0,000***
V13	100,750	87,75	25,43	0,000***
V14	94,92	89,17	7,65	0,000***
V15	90,000	95,00	7,82	0,000***

V16	84,75	91,00	12,64	0,000***
V17	83,25	95,25	19,03	0,000***
V18	80,250	105,08	45,59	0,000***
V19	77,00	99,00	33,19	0,000***
V20	92,92	112,3	2,27	0,033*

Annexe 27 : **Comparaison entre années pour le site de Constantine, des teneurs moyennes en NE/M² chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student**

Variétés	**Moyenne de l'année 2010**	**Moyenne de l'année 2011**	**T_{0bs}**	**P**
V11	426,0	363,5	1,64	$0,116^{NS}$
V12	327,5	441,3	4,32	0,000***
V13	340,0	309,8	0,92	$0,369^{NS}$
V14	385,0	314,3	3,34	0,003**
V15	291,3	425,3	8,58	0,000***
V16	338,8	498,0	4,36	0,000***
V17	348,8	294,0	3,00	0,000***
V18	401	475,0	1,50	$0,148^{NS}$
V19	403,75	393,1	1,08	$0,292^{NS}$
V20	416,0	436,3	0,57	$0,575^{NS}$

Annexe 28 : **Comparaison entre années pour le site de Constantine, des teneurs moyennes en NGE chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student**

Variétés	**Moyenne de l'année 2010**	**Moyenne de l'année 2011**	**T_{0bs}**	**P**
V11	63,0	34,33	6,27	0,000***
V12	57,0	31,0	6,08	0,000***
V13	62,67	36,75	9,39	0,000***
V14	64,80	39,0	7,44	0,000***
V15	60,80	37,00	6,13	0,000***
V16	58,50	26,75	11,77	0,000***
V17	57,30	40,00	4,13	0,000***
V18	51,25	30,75	8,46	0,000***
V19	79,75	39,08	13,24	0,000***
V20	61,30	41,25	4,94	0,000***

Annexe 29 : **Comparaison entre années pour le site de Constantine, des teneurs moyennes en PMG chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student**

Variétés	**Moyenne de l'année 2010**	**Moyenne de l'année 2011**	**T_{0bs}**	**P**
V11	37,23	38,67	0,54	$0,606^{NS}$
V12	36,90	43,88	3,05	0,023*
V13	35,57	44,15	5,25	0,002**
V14	37,35	43,30	2,78	0,032*
V15	40,650	45,55	1,94	$0,100^{NS}$
V16	37,28	38,83	0,77	$0,468^{NS}$
V17	38,17	47,475	5,52	0,001**
V18	37,95	42,90	1,54	$0,175^{NS}$

V19	37,35	46,82	5,24	0,002**
V20	39,13	47,20	3,83	0,009**

Annexe 30 : **Comparaison entre années pour le site de Constantine, des teneurs moyennes en RDT chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student**

Variétés	Moyenne de l'année 2010	Moyenne de l'année 2011	T_{0bs}	P
V11	51,17	56,10	1,35	$0,225^{NS}$
V12	42,58	48,10	1,15	$0,295^{NS}$
V13	39,8	49,1	1,06	$0,330^{NS}$
V14	44,50	52,33	1,67	$0,147^{NS}$
V15	45,6	49,05	0,47	$0,653^{NS}$
V16	48,50	55,30	1,11	$0,311^{NS}$
V17	45,3	56,08	2,13	0,077*
V18	36,85	53,10	2,88	0,028*
V19	43,25	53,55	2,46	0,049*
V20	46,90	55,67	2,55	0,044*

Annexe 31 : Matrice de corrélation des différentes variables analysés pour les paramètres agronomiques chez les 10 variétés de blé tendre de 2010/2011 sur le site de Constantine

	EPS	HTR	NE/M²	NGE	PMG
HTR	-0,160				
	0,659				
NE/M²	**0,505**	0,134			
	0,137	0,712			
NGE	-0,087	0,010	0,240		
	0,811	0,979	0,505		
PMG	0,215	-0,148	-0,158	-0,145	
	0,551	0,683	0,662	0,689	
RDT	0,424	0,360	0,077	0,156	0,211
	0,222	0,307	0,833	0,667	0,559

Annexe 32 : Matrice de corrélation des différentes variables analysés pour les paramètres agronomiques chez les 10 variétés de blé tendre de 2011/2012 sur le site de Constantine

	EPS	HTR	NE/M²	NGE	PMG
HTR	-0,494				
	0,147				
NE/M²	0,074	0,175			
	0,839	0,628			
NGE	-0,294	0,199	**-0,787**		
	0,409	0,581	0,007		
PMG	**-0,554**	0,415	-0,294	**0,695**	
	0,097	0,234	0,409	0,026	

RDT	**-0,632**	0,437	-0,004	-0,013	-0,153
	0,050	0,206	0,991	0,972	0,672

Contenu de la cellule : Corrélation de Pearson
Valeur de P

Annexe 33 : Matrice de corrélation des différentes variables analysés pour les paramètres agronomiques chez les 10 variétés de blé tendre sur le site de Constantine sur deux années

	EPS	**HTR**	**NE/M²**	**NGE**	**PMG**
HTR	-0,420				
	0,226				
NE/M²	-0,122	0,029			
	0,736	0,936			
NGE	-0,418	0,254	-0,270		
	0,229	0,479	0,451		
PMG	**-0,522**	0,218	0,180	0,427	
	0,122	0,546	0,619	0,219	
RDT	-0,094	0,314	0,430	0,150	-0,171
	0,796	0,377	0,215	0,678	0,638

Contenu de la cellule : Corrélation de Pearson
Valeur de P

Annexe 34 : Résultats de la description des données. Valeur des moyennes (m) plus ou moins l'écart-types (s) calculée par variable et par variété pour 2010-2011 sur Guelma

	VAR	**EPS**	**HTR**	**NE/M²**	**NGE**	**PMG**
	VS1	134±2	85±4,3	345,25±159	33±5	30±3,3
	VS2	130,25±0,5	86,75±9,1	450±72,5	28,25±2,4	30,15±3
	VS3	134,00	90,75±3,3	420±61,6	29,75±5,3	34,225±0,7
	VS4	134,00	91,±5,2	431,25±97,3	30±1,8	30,35±2
	VS5	130,00	90,25±3	417,5±71,8	36±4	33,675±4,2
	VS6	129,5±1	84,75±5,4	378,75±135	38,25±3	34,125±2
	VS7	130,00	90,25±3	571,25±217	26,25±1,3	27,7±2,4
	VS8	131,00	90,25±3,6	450±47	27,5±5,3	27,975±2,6
	VS9	130,25±0,5	84,25±1,5	457,5±135	25,75±1,3	30,625±2,8
	VS10	130,25±0,5	87,75±1,3	433,75±81,7	33,25±3,3	30,875±1,7

Annexe 35 : **Résultats de la description des données. Valeur des moyennes (m) plus ou moins l'écart-types (s) calculée par variable et par variété pour 2011-2012 sur Guelma**

VAR	**EPS**	**HTR**	**NE/M²**	**NGE**	**PMG**	**RDT**

V11	**122**	**102±5,3**	524,5±14,8	54,25±17,2	45,2±4,2	39,95±5,4
V12	**114**	**107,25±7,5**	427±11	31,25±3,7	46,175±4,7	42,425±3,4
V13	**124**	**111,25±3**	361,75±17	54,25±7,3	43,65±3	44,105±4
V14	**114**	**111±9,4**	471,5±12,3	46,5±16,3	49,975±3,4	48,59±12
V15	**114**	**110±7,6**	479,75±13	47±8,6	48,4±4	51,85±6
V16	**114**	**99,75±3,4**	458±12	49,5±5,2	52,25±2,3	51,475±7
V17	**114**	**102,25±4,8**	531,25±11,2	38,75±7,4	47,725±4	46,16±3,5
V18	**118**	**119±7,3**	425,5±16	47,5±10	49,25±1,5	41,34±7,6
V19	**110**	**104,25±6,4**	423,25±15,7	55,75±6	50,875±4,5	54,38±2,3
V20	**114**	**109,25±8,7**	347±7,5	43,75±6	50,175±7	49,68±4

Annexe 36 : Comparaison entre années pour le site de Guelma, des teneurs moyennes en HTR chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne de l'année 2010	Moyenne de l'année 2011	T_{0bs}	P
V11	86,00	102,50	9,05	0,000***
V12	74,75	107,25	16,21	0,000***
V13	84,17	111,25	18,80	0,000***
V14	81,50	111,0	10,08	0,000***
V15	95,75	110,00	10,31	0,000***
V16	81,25	99,75	9,48	0,000***
V17	74,75	102,25	19,21	0,000***
V18	82,00	119,0	17,18	0,000***
V19	78,50	104,25	13,21	0,000***
V20	77,75	109,33	10,04	0,000***

Annexe 37 : Comparaison entre années pour le site de Guelma des teneurs moyenne en NE/M² chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne de l'année 2010	Moyenne de l'année 2011	T_{0bs}	P
V11	271,0	532,9	30,56	0,000***
V12	285,0	427,0	32,73	0,000***
V13	259,9	361,1	7,27	0,000***
V14	280,0	471,5	29,88	0,000***
V15	331,0	479,8	14,05	0,000***
V16	239,0	458,0	10,56	0,000***
V17	381,8	531,3	9,31	0,000***
V18	278,0	425,8	9,18	0,000***
V19	282,0	423,3	6,89	0,000***
V20	316,0	347,00	7,52	0,000***

Annexe 38 : Comparaison entre années pour le site de Guelma, des teneurs moyennes en NGE chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne de l'année 2010	Moyenne de l'année 2011	T_{0bs}	P

V11	68,50	54,2	2,76	0,011*
V12	59,3	31,0	7,11	0,000***
V13	66,00	54,25	5,81	0,000***
V14	60,25	46,5	3,18	0,004**
V15	55,75	46,50	2,74	0,012*
V16	69,25	49,50	10,98	0,000***
V17	54,75	39,50	5,55	0,000***
V18	57,75	47,75	3,58	0,002**
V19	57,92	55,75	0,82	$0,422^{NS}$
V20	54,58	43,75	6,08	0,000***

Annexe 39 : Comparaison entre années pour le site de Guelma, des teneurs moyennes en PMG chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne de l'année 2010	Moyenne de l'année 2011	T_{0bs}	P
V11	41,675	45,20	1,65	$0,151^{NS}$
V12	49,33	46,17	1,29	$0,244^{NS}$
V13	48,02	43,65	2,50	0,046*
V14	48,83	49,97	0,46	$0,660^{NS}$
V15	46,225	48,40	1,05	$0,335^{NS}$
V16	49,800	52,25	2,09	0,082*
V17	42,175	47,72	2,75	0,034*
V18	51,950	49,25	3,51	0,013*
V19	47,13	50,88	1,36	$0,223^{NS}$
V20	48,90	50,17	0,32	$0,760^{NS}$

Annexe 40 : Comparaison entre années pour le site de Guelma, des teneurs moyennes en RDT chez les 10 variétés de blé tendre. Test t de Student

Variétés	Moyenne de l'année 2010	Moyenne de l'année 2011	T_{0bs}	P
V11	20,18	39,95	3,94	0,008**
V12	22,82	42,42	4,16	0,000***
V13	34,7	44,11	1,20	$0,276^{NS}$
V14	32,5	48,6	1,69	$0,143^{NS}$
V15	23,59	51,85	6,30	0,001**
V16	21,91	51,47	4,92	0,003**
V17	29,3	46,16	2,89	0,028*
V18	33,23	41,34	1,78	$0,126^{NS}$
V19	29,5	54,37	4,79	0,003**
V20	20,75	49,69	10,10	0,000***

Annexe 41 : Matrice de corrélation des différentes variables analysés pour les paramètres agronomiques chez les 10 variétés de blé tendre de l'année 2010/2011 sur le site de Guelma

	EPS	HTR	NE/M²	NGE	PMG
HTR	0,457				
	0,184				
NE/M²	-0,250	-0,419			

	0,486	0,228			
NGE	**0,550**	0,497	**-0,776**		
	0,099	0,144	0,008		
PMG	-0,210	-0,069	-0,499	-0,055	
	0,560	0,850	0,142	0,880	
RDT	0,154	0,063	-0,026	-0,136	0,252
	0,670	0,862	0,943	0,709	0,482

Contenu de la cellule : Corrélation de Pearson
Valeur de P

Annexe 42 : **Matrice de corrélation des différentes variables analysés pour les paramètres agronomiques chez les 10 variétés de blé tendre de l'année 2011/2012 sur le site de Guelma**

	EPS	**HTR**	**NE/M²**	**NGE**	**PMG**
HTR	0,247				
	0,492				
NE/M²	-0,080	-0,449			
	0,827	0,193			
NGE	0,345	-0,029	-0,076		
	0,329	0,937	0,834		
PMG	**-0,763**	-0,124	-0,020	0,044	
	0,010	0,732	0,956	0,904	
RDT	**-0,725**	-0,283	-0,131	0,209	**0,709**
	0,018	0,429	0,719	0,563	0,022

Contenu de la cellule : Corrélation de Pearson
Valeur de P

Annexe 43 : Matrice de corrélation des différentes variables analysés pour les paramètres agronomiques chez les 10 variétés de blé tendre sur le site de Guelma sur les deux années

	EPS	**HTR**	**NE/M²**	**NGE**	**PMG**
HTR	0,363				
	0,303				
NE/M²	-0,111	0,243			
	0,760	0,499			
NGE	0,496	0,137	0,136		
	0,144	0,705	0,709		
PMG	**-0,636**	0,071	-0,124	-0,113	
	0,048	0,845	0,733	0,755	
RDT	-0,311	-0,028	-0,318	0,075	0,394
	0,382	0,938	0,370	0,837	0,260

Contenu de la cellule : Corrélation de Pearson
Valeur de P

Annexe 44 : Matrice des corrélations entre tests technologiques et caractéristiques biochimiques sur les 10 génotypes de blé tendre (valeur moyenne sur les 3 sites)

Var	Prot	H	Am	SDS	Pel	GluH	GluS	W	G	P	L	P/L
Prot	**1**											
H	-0,1824	**1**										
Am	-0,4410	-0,1986	**1**									
SDS	0,2794	-0,5505	-0,0831	**1**								
Pel	0,5898	0,2367	-0,6974	-0,0910	**1**							
GluH	0,5497	-0,5566	-0,1976	0,4719	-0,0281	**1**						
GluS	0,4785	-0,6159	-0,1634	0,4375	-0,0918	**0,9852*****	**1**					
W	0,2751	-0,0346	**-0,7327***	0,1221	0,4750	0,5079	0,5077	**1**				
G	0,4992	0,1800	-0,2875	-0,0295	0,4316	0,4507	0,3506	0,5081	**1**			
P	0,0056	-0,2189	-0,5787	0,2908	-0,0441	0,4873	0,5265	**0,7219***	-0,0438	**1**		
L	0,5532	0,1585	-0,4387	0,0473	0,5536	0,4470	0,3344	0,5612	**0,9742*****	0,0207	**1**	
P/L	-0,0538	-0,2438	-0,3972	0,1277	-0,1219	0,2921	0,3571	0,4087	-0,4195	**0,8639****	-0,3551	**1**

* , **, ***, significatif, hautement significatif, très hautement significatif

Annexe 45 : Matrice des corrélations entre tests technologiques et caractéristiques biochimiques et agronomiques sur les 10 génotypes de blé tendre (valeur moyenne sur les 3 sites)

Variab	Prot	H	Am	SDS	Pel	GluH	GluS	W	G	P/L	EPS	HTR	NE/M²	NGE	PMG	RDT
Prot	**1**															
H	-0,1824	**1**														
Am	-0,4410	-0,1986	**1**													
SDS	0,2794	-0,5505	-0,0831	**1**												
Pel	0,5898	0,2367	-0,6974	-0,0910	**1**											
GluH	0,5497	-0,5566	-0,1976	0,4719	-0,0281	**1**										
GluS	0,4785	-0,6159	-0,1634	0,4375	-0,0918	0,9852	**1**									
W	0,2751	-0,0346	-0,7327	0,1221	0,4750	0,5079	0,5077	**1**								
G	0,4992	0,1800	-0,2875	-0,0295	0,4316	0,4507	0,3506	0,5081	**1**							
P/L	-0,0538	-0,2438	-0,3972	0,1277	-0,1219	0,2921	0,3571	0,4087	-0,4195	**1**						
EPS	0,3607	-0,2485	-0,2533	0,5467	-0,1875	0,4853	0,4613	0,0320	-0,2545	0,6237	**1**					
HTR	-0,2343	-0,1567	0,2349	0,4228	-0,2247	0,2612	0,2027	0,2438	0,4322	-0,2273	-0,1920	**1**				
NE/M²	0,3327	-0,1697	-0,2441	-0,0856	0,6270	0,0327	-0,0051	0,2795	0,5600	-0,4942	-0,6038	0,1571	**1**			
NGE	0,1306	-0,2030	-0,1342	-0,0447	-0,3160	0,1805	0,2272	-0,2265	-0,4347	0,5184	0,6434	-0,6485	-0,4361	**1**		
PMG	-0,3300	0,1290	0,6671	-0,7079	-0,3096	-0,2275	-0,1690	-0,3531	0,0488	-0,3995	-0,6320	-0,0561	0,0592	-0,1697	**1**	
RDT	-0,1996	0,1678	0,3749	-0,6909	-0,2082	-0,4342	-0,3309	-0,4609	-0,3535	-0,1575	-0,3596	-0,6524	-0,1116	0,2985	0,7168	**1**

Tableau 1 : Production mondiale de blé (en million de tonnes) (CIC, 2009)

MILLIONS DE TONNES	2007	2008	2009
EUROPE	124,2	156,2	141,3
-Dont l'U.E	119,7	151,2	136,6
Ex-URSS	93,8	117,3	109
-Kazakhistan	16,6	13	14,5
-Russie	49,4	63,7	60
-Ukraine	13,9	25,9	20
NORD ET CENTRE AMERIQUE	79,4	100,6	88,9
-Canada	20 ,1	28,6	24,5
-Etats –Unis	55,8	68	60,4
SUD AMERIQUE	23	17,2	16,9
-Argentine	16,3	8,3	7,9
-Bresil	3,8	6	5,2
PROCHE ORIENT	39,9	32,5	36,7
-Iran	15	10	12
-Turquie	15,5	17	18
EXTREME ORIENT	216,3	220,6	226,2
-Chine	109,9	112,5	114
-Inde	75,8	78,6	80,6
AFRIQUE	18,8	20,5	24,4
-Egypte	7,4	7,9	8,2
-Maroc	1,6	3,7	6
OCEANIE	13,4	21,7	23,3
-Australie	13	21,4	23
MONDE	**608,8**	**686,8**	**666,8**

Tableau 2 : Teneur en vitamines et en minéraux de la couche à aleurone (mg pour 100 g de couche à aleurone) d'après Lopez *et al*, (2001)

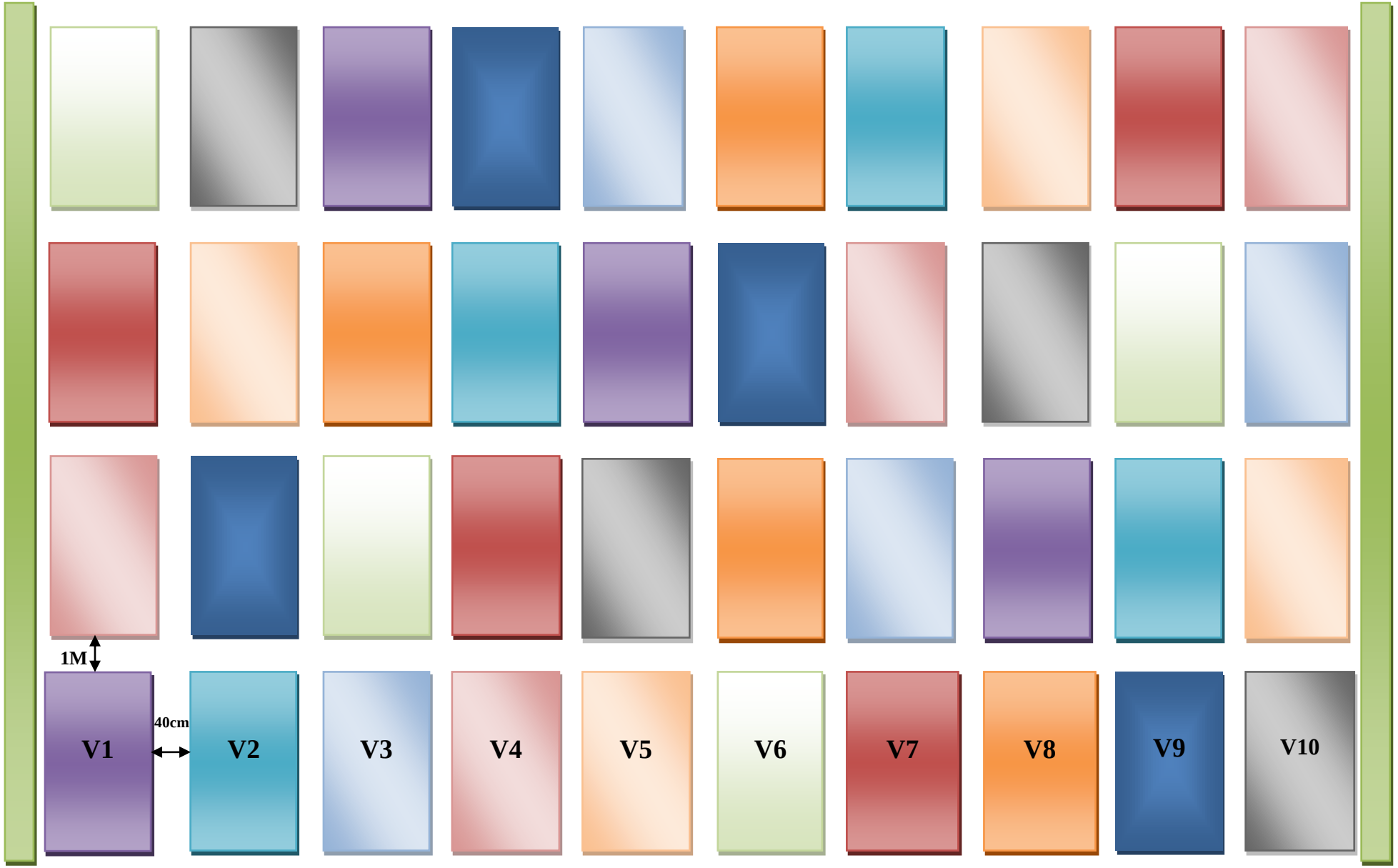
Eléments	**mg/100 g de couche à aleurone sèche**
Vitamine B1	1,6
Vitamine B2	0,3
Vitamine B3	24
Vitamine B6	0,3
Vitamine B9	0,8
Vitamine E	2
Potassium	1600
Phosphate	1140
Magnésium	530
Manganèse	101
Calcium	55
Fer	27
Zinc	8,3

.

Tableau 3 : Différentes classes de protéines du grain de blé (Osborne et *al.*,1907 ; Shewry et *al.*,1986 ; Singh et Shephred, 1988)

Groupe	Solubilité	Molaire (kDa)	Composition	Structure	Localisation des gènes	Fonction
Albumine	Eau	5 à 90				Protéines de structures et fonctionnelle
Globuline	Sels neutres					Protéines de structure et fonctionnelle
Gliadine	Alcool dilués	25 à 75	ω pauvre en S α, β ,γ riches en S	Monomérique	*Gli-1* (1A,1B,1D)	Protéines de réserves ou de prolamines
Gluténine	Acides, Bases	≥ 100	Riches en S	Agrégés ou polymérisés	*Glu-3* (1A,1B,1D)	Protéines de réserves ou de prolamines

DISPOSITIF EXPERIMENTAL



Résumé

La connaissance des caractères physiologiques, biochimiques, agronomiques et technologiques impliqués dans les processus d'adaptation des plantes aux contraintes abiotiques constitue une étape décisive de lutte contre la sécheresse. Cette étude est une contribution pour comprendre les mécanismes de tolérance au stress hydrique chez des variétés de blé tendre *Triticum aestivum* L. et d'établir les interactions génotypes-milieu pour évaluer la variabilité génotypique.

Dans la première série d'essais, l'étude montre que les variétés introduites Cham 6, Hamam 1 et Attila sont les plus productives. La variété locale Ain Abid suivie d'Attila, d'Angi-4 sont les plus tolérantes aux contraintes hydriques.

Le deuxième essai expérimental consiste à tester, durant deux campagnes, 10 lignées de blé tendre au niveau de trois sites géoclimatiques différents : Sétif, Constantine et Guelma. Les résultats des paramètres phénologiques, morphologiques et agronomiques fluctuent dans le temps et dans l'espace. Les variétés les plus précoces fournissent les plus faibles paramètres de rendement à Guelma, alors que les variétés les plus tardives donnent les meilleurs rendements à Constantine. Les variétés locales Ain Abid, Arz et la lignée introduite Prl/2*Pastor fournissent le meilleur rendement et ses composantes sur les sites de Sétif. Cette dernière lignée avec Pastor/Wbll1 et Hidhab se caractérisent par un rendement et par les composantes du rendement élevées sur Constantine et Guelma. L'interaction génotypes-milieu est très hautement significative entre tous les paramètres agronomiques étudiés

Sur le site de Sétif (semi-aride) sont notés les teneurs en protéines totales les plus élevées pour la lignée Thelin//2*Attila*2/Pastor, alors que Prl/2*Pastor accumule les teneurs les plus importantes en amidon sur le site de Constantine. Les teneurs en protéines totales sont plus importantes sur l'essai expérimental de Sétif, tandis que les plus fortes teneurs en amidon et en humidité sont obtenues pour toutes les variétés cultivées à Constantine et Guelma. L'interaction génotypes-milieu est très hautement significative pour tous les paramètres biochimiques et technologiques. Les données montrent que la lignée Kauz/Pastor/Fiscal a les valeurs les plus élevées en W (force de la pâte) en G (Gonflement de la pâte), elle donne aussi le meilleur Pelshenke par rapport aux autres lignées, elle est suivie des lignées Pastor/Wbll1 et Thelin//2*Attila*2/Pastor. Ces dernières se caractérisent par une force boulangère très élevée (blé de force). C'est sur les sites de Sétif et Guelma que s'expriment les lignées de blé tendre aux paramètres technologiques les plus performants.

La large variabilité de la force du gluten, caractère contrôlé principalement par la variation allélique des loci Glu-A1 ; Glu-B1 ; Glu-D1, donne une idée sur la diversité génétique obtenue par l'expression et la composition de ces loci. Le gluten, les paramètres rhéologiques de l'alvéographe (W, P), le test Pelshenke et le volume de sédimentation SDS varient le plus en fonction de la diversité allélique des gluténines HPM. Les résultats montrent la supériorité des allèles 22, (6 + 8), (7 + 9), (2 + 12), (5 + 10) et (7 + 8), par rapport aux autres allèles contrôlant ces paramètres.

Mots clés : *Triticum aestivum*, stress hydrique, marqueurs physiologiques, paramètres agronomiques, marqueurs biochimiques, marqueurs technologiques, interaction génotypes-milieu.

Summary

Knowledge of the physiological, biochemical, agronomic and technological traits involved in plant adaptation process to abiotic stresses is a decisive step in the fight against drought. This study is a contribution to understanding the mechanisms of tolerance to water stress in bread wheat varieties *Triticum aestivum* L. and to establish genotype-environment interactions to evaluate the genotypic variability.

In the first series of tests, the study shows that the varieties introduced Cham 6 Hamam 1 and Attila are the most productive. The local variety Ain Abid followed by Attila of Angi-4 are the most tolerant to water stress.

The second experimental trial is to test during two campaigns, 10 bread wheat lines at three different geo-climatic sites: Setif, Constantine and Guelma. The results of phenological, morphological and agronomic parameters fluctuate over time and space. The earliest species provide lower performance parameters to Guelma, while the later varieties give the best yields in Constantine. Local varieties Ain Abid, Arz and introduced line Prl / 2 * Pastor provide the best yield and its components on Setif sites. This last line with Pastor / Wbll1 and Hidhab feature a performance by high yield and components of yield on Constantine and Guelma. The interaction genotype-environment is very highly significant between all studied agronomic parameters.

On the site of Setif (semi-arid) are rated the highest levels of total protein for Thelin line // 2 * Attila * 2 / Pastor, while Prl / 2 * Pastor accumulates the most important starch contents on Constantine site. Total protein levels are higher on experimental testing of Setif, while higher levels of starch and moisture are obtained for all varieties grown on Constantine and Guelma. The genotype-environment interaction is highly significant for all biochemical and technological parameters. The data show that the line Kauz / Pastor / Fiscal has the highest values W (dough strength) to G (swelling of dough), it also gives the best Pelshenke compared to other lines, it is followed by Pastor / Wbll1 and Thelin // 2 * Attila * 2 / Pastor lines. The latter are characterized by a very high baking strength (strength of wheat). It's on the sites of Setif and Guelma that are expressed wheat lines with the most efficient technological parameters.

The wide variability in gluten strength, character controlled mainly by the allelic variation of loci Glu-A1; Glu-B1; Glu-D1, gives an idea about the genetic diversity obtained by expression and composition of these loci. Gluten, rheological parameters alveograph (W, P), Pelshenke test and SDS sedimentation volume vary as a function of the allelic diversity HMW glutenins. The results show the superiority of the alleles 22, (6 + 8), (7 + 9), (2 + 12), (10 + 5) and (7 + 8), compared to other alleles controlling these parameters.

Keywords: *Triticum aestivum*, water stress, physiological markers, agronomic parameters, biochemical markers, technological markers, genotype-environment interaction.

ملخص

إن معرفة الصفات الفسيولوجية، البيوكيميائية ، الزراعية والتكنولوجية التي تشارك في عملية تكيف النبات للضغوط غير الحيوية هو خطوة حاسمة في مكافحة الجفاف. هذه الدراسة هي المساهمة في فهم آليات التسامح مع الإجهاد المائي لأصناف القمح اللين.*Triticum aestivum* L وإقامة تفاعلات وراثية- بيئة لتقييم التباين الوراثي.

في أول سلسلة من الاختبارات، تبين الدراسة أن أصناف الداخلة Cham 6، Hamam 1 و Attila هي الأكثر إنتاجا. وجاء الصنف المحلي Ain Abid متبوعا ب Attila و Angi -4 هم الأكثر تسامحا للإجهاد المائي.

التجربة الثانية هي اختبار خلال حملتين،عند 10 أنواع من القمح اللين في ثلاثة مواقع جغرافية مناخية مختلفة : سطيف ، قسنطينة وقالمة. نتائج المعاملات الفينولوجية، المورفولوجية والزراعية تتغير مع الزمن والمكان.

الأنواع المبكرة تمد معايير الإنتاج الأقل في قالمة، في حين أن الأصناف المتأخرة تعطي أفضل العوائد في قسنطينة. الأصناف المحلية Ain Abid، Arz و الصنف الداخلي Prl/2*Pastor تقدم أفضل المحصول ومكوناته في سطيف. هذا الأخير مع Pastor/Wbll 1 وHidhab يتميز بأفضل المحصول ومكوناته في قسنطينة و قالمة. التفاعل الوراثي- البيئي معنوي للغاية بين جميع المعاملات الزراعية المدروسة.

في سطيف يتم تصنيف أعلى مستويات البروتين الكلي Thelin//2*Attila*2/Pastor، في حين Prl/2*Pastor تتراكم محتويات النشا الأكثر أهمية في قسنطينة . مستويات البروتين الكلي الأعلى حصل عليها في المناطق التجريبية بسطيف، في حين يتم الحصول على مستويات أعلى من النشا والرطوبة لجميع الأصناف التي تزرع بقسنطينة و قالمة. التفاعل الوراثي- البيئي مهم للغاية لجميع القياسات البيوكيميائية والتكنولوجية.

تشير البيانات إلى أن سلالة Kauz /Pastor/Fiscal لديها أعلى القيم في (قوة العجين: W) و (تورم العجين: G)، كما أنه يعطي أفضل Pelshenke بالمقارنة مع السلالات الأخرى، ويتبع من قبل السلالات Pastor/Wbll 1 و Thelin//2*Attila*2/Pastor. وتتميز هذه الأخيرة بقوة خبز عالية جدا . سلالات القمح اللين الأكثر كفاءة من حيث المتغيرات التكنولوجية الموجودة في سطيف وقالمة.

تباين واسع في قوة الغلوتين صفة مسيطر عليها أساسا من طرف التغير الأليلي Loci Glu-A1 ; Glu-B1 ;Glu-D1 ويعطي فكرة عن التنوع الجيني المحصل عليه من خلال التعبير والتركيب لهذه المواقع. الغلوتين، والمتغيرات الريولوجية (W,P) ، فإن اختبار Pelshenke. وحجم الترسيب SDS تختلف أكثر تبعا للتنوع الأليلي gluténines HPM وأظهرت النتائج تفوق الأليلات 22 ، (6 + 8)، (7 + 9)، (2 + 12)، (10 + 5) و (7 + 8)، بالمقارنة مع غيرها من الأليلات المراقبة لهذه المتغيرات.

الكلمات المفاتيح: *Triticum aestivum* ، الإجهاد المائي، علامات فسيولوجية، متغيرات زراعية، علامات بيوكيميائية، علامات تكنولوجية، تفاعل وراثي- بيئي.

Nom : KARA **Prénom : Karima**	**Date de soutenance : 15 Juin 2015**

Interactions génotype-milieu de variétés de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) sous stress hydrique

Résumé

La connaissance des caractères physiologiques, biochimiques, agronomiques et technologiques impliqués dans les processus d'adaptation des plantes aux contraintes abiotiques constitue une étape décisive de lutte contre la sécheresse. Cette étude est une contribution pour comprendre les mécanismes de tolérance au stress hydrique chez des variétés de blé tendre *Triticum aestivum* L. et d'établir les interactions génotypes-milieu pour évaluer la variabilité génotypique.

Dans la première série d'essais, l'étude montre que les variétés introduites Cham 6, Hamam 1 et Attila sont les plus productives. La variété locale Ain Abid suivie d'Attila, d'Angi-4 sont les plus tolérantes aux contraintes hydriques.

Le deuxième essai expérimental consiste à tester, durant deux campagnes, 10 lignées de blé tendre au niveau de trois sites géoclimatiques différents : Sétif, Constantine et Guelma. Les résultats des paramètres phénologiques, morphologiques et agronomiques fluctuent dans le temps et dans l'espace. Les variétés les plus précoces fournissent les plus faibles paramètres de rendement à Guelma, alors que les variétés les plus tardives donnent les meilleurs rendements à Constantine. Les variétés locales Ain Abid, Arz et la lignée introduite Prl/2*Pastor fournissent le meilleur rendement et ses composantes sur les sites de Sétif. Cette dernière lignée avec Pastor/Wbll1 et Hidhab se caractérisent par un rendement et par les composantes du rendement élevées sur Constantine et Guelma. L'interaction génotypes-milieu est très hautement significative entre tous les paramètres agronomiques étudiés

Sur le site de Sétif (semi-aride) sont notés les teneurs en protéines totales les plus élevées pour la lignée Thelin//2*Attila*2/Pastor, alors que Prl/2*Pastor accumule les teneurs les plus importantes en amidon sur le site de Constantine. Les teneurs en protéines totales sont plus importantes sur l'essai expérimental de Sétif, tandis que les plus fortes teneurs en amidon et en humidité sont obtenues pour toutes les variétés cultivées à Constantine et Guelma. L'interaction génotypes-milieu est très hautement significative pour tous les paramètres biochimiques et technologiques. Les données montrent que la lignée Kauz/Pastor/Fiscal a les valeurs les plus élevées en W (force de la pâte) en G (Gonflement de la pâte), elle donne aussi le meilleur Pelshenke par rapport aux autres lignées, elle est suivie des lignées Pastor/Wbll1 et Thelin//2*Attila*2/Pastor. Ces dernières se caractérisent par une force boulangère très élevée (blé de force). C'est sur les sites de Sétif et Guelma que s'expriment les lignées de blé tendre aux paramètres technologiques les plus performants.

La large variabilité de la force du gluten, caractère contrôlé principalement par la variation allélique des loci Glu-A1 ; Glu-B1 ; Glu-D1, donne une idée sur la diversité génétique obtenue par l'expression et la composition de ces loci. Le gluten, les paramètres rhéologiques de l'alvéographe (W, P), le test Pelshenke et le volume de sédimentation SDS varient le plus en fonction de la diversité allélique des gluténines HPM. Les résultats montrent la supériorité des allèles 22, (6 + 8), (7 + 9), (2 + 12), (5 + 10) et (7 + 8), par rapport aux autres allèles contrôlant ces paramètres.

Mots clés : *Triticum aestivum*, stress hydrique, marqueurs physiologiques, paramètres agronomiques, marqueurs biochimiques, marqueurs technologiques, interaction génotypes-milieu.

Président :	KHELIFI Douadi	Professeur, Université Mentouri Constantine
Promoteur :	BRINIS Louhichi	Professeur, Université Badji Mokhtar Annaba
Examinateurs :	BENBELKACEM Abdelkader	Directeur de recherche, INRA Constantine
	KARA Youcef	Professeur, Université Mentouri Constantine
	TAHAR Ali	Professeur, Université Badji Mokhtar Annaba