



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة باجي مختار - عنابة  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR -ANNABA



FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

THESE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT  
Spécialité :BIOLOGIE VEGETALE

**Etude de l'interaction Génotype X Environnement et  
effet de l'origine de quelques cultivars de blé dur  
(*Triticum durum* Desf.) sur les aptitudes adaptatives et  
qualitatives**

Présenté par : M<sup>me</sup> HACINI Nesrine

**Membre de Jury :**

TAHAR Ali (Professeur) d'Annaba	Président	Université
BRINIS Louhichi (Professeur) d'Annaba	Directeur de thèse	Université
BOUGHDIRI Larbi (Professeur) d'Annaba	Examineur	Université
BELKHODJA Moulay (Professeur)	Examineur	Université d'Oran
DESCLAUX Dominique(Professeur)	Examinatrice	INRA Montpellier
BENBELKACEM A.E.K ( maitre de conférences)	Examineur	INRA Constantine

Année universitaire 2013/2014

# Remerciements

Mes remerciements vont à :

- ✓ Monsieur **TAHAR** Ali, Professeur au département de biologie ,université de Badji –Mokhtar –Annaba, pour avoir voulu présider ce jury, et je le remercie pour sa précieuse aide pour les traitements statistiques.
- ✓ Monsieur **BOUGHDIRI** Larbi , Professeur au département de biologie université de Badji –Mokhtar –Annaba, de bien vouloir faire partie du jury et examiner ce modeste travail.
- ✓ Monsieur **BELKHODJA** Moulay , Professeur au département de biologie université Essenia d’Oran , pour avoir accepté d’examiner ce travail et aussi pour sa disponibilité et les informations scientifiques qu’il m’a prodiguées.
- ✓ Monsieur **BENBELKACEM** directeur de l’INRAA , El khroub de bien vouloir faire partie du jury et examiner ce travail qui n’aurait certes pas abouti sans son extrême aide et collaboration et disponibilité.
- ✓ Madame **DESCLEAU** **Dominique**, Professeur et directrice de l’INRA Montpellier France de bien vouloir faire partie du jury et examiner ce travail. pour son aide ainssi que pour m’avoir accueillie au sein du laboratoire de Diversité et Génome des Plantes Cultivées à INRA de Montpellier . Mes séjours à Montpellier étaient les plus agréable et les plus bénéfiques.
- ✓ Je remercie également Mme Françoise **SAMSON** ingénieur à l’INRA sup –agro Montpellier pour son aide au laboratoire de qualité technologique.
- ✓ Je remercie tout particulièrement, Monsieur **BRINIS** Louhichi Professeur au département de biologie à la faculté des sciences de l’université de Badji –Mokhtar –Annaba, de m’avoir permis d’accéder à ce niveau

d'études, de m'avoir proposé ce sujet, d'avoir mis à ma disponibilité son laboratoire et sa bibliographie. Je le remercie pour avoir supervisé ce travail que pour ses encouragements.

- ✓ Je remercie vivement Mme **TLILI AIT KAKI** Yasmina, Maitre de conférence au département de pharmacie à l'université de Badji –Mokhtar pour sa gentillesse et sa disponibilité.
- ✓ Mes remerciements vont à melle **NORA DERBEL** Maitre assistante université de Guelma pour son aide .
- ✓ En fin je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## Table des matières

<b>Introduction</b> .....	1
<u>Chapitre I</u> : Revue bibliographique	
<b>Partie I : Biologie de blé dur</b>	
1.1. Introduction : .....	3
1.2. Généralité, Origine et histoire de blé dur .....	4
1.3. Classification du blé .....	5
1.4 .Structure génétique .....	5
1.5. La croissance du blé .....	6
1.5.1. La levée .....	7
1.5.2. Le stade "3-4 feuilles" .....	7
1.5.3. Le tallage.....	8
1.5.4. La montaison .....	8
1.5.5. L'épiaison .....	8
1.5.6. La floraison.....	9
1.5.7. Formation du grain .....	9
1.6. La morphologie du blé .....	10
1.6.1. Appareil racinaire .....	10
1.6.2 . Tige et feuille .....	10
1.6.3. Épi .....	10
1.6.4. Épillets .....	10
1.7. Les exigences de blé.....	13
1.7.1 le sol .....	13
1.7.2 le climat:.....	13
a. La température .....	13
b. L'eau .....	13
c. L'éclairement .....	13
d. la fertilisation .....	14
e. L'azote (N) .....	14
f. Phosphore(P) .....	14
g. Potassium(K) .....	14
1.8. Le grain de blé .....	16
a. Les enveloppes .....	16
b. Le germe .....	16

c. L'albumen ou amande .....	17
1.8.1. Composition biochimique du grain .....	17
1.8.2. Physiologie de la germination .....	18
1.8.3. La longévité des semences .....	18

### ***Partie II : La culture de blé dur***

2.1. Introduction .....	19
2.2. Blé dur .....	20
2.3. En Algérie .....	20
a- Les superficies .....	22
2.4. Principales variétés cultivées en Algérie.....	26

### **Partie III: le stress hydrique**

3.1. Introduction .....	31
3.2. Notion de stress .....	31
3.3. Définition du stress hydrique .....	31
3.4. Effets de stress hydrique sur la plante .....	32
a. L'adaptation .....	32
b. la tolérance .....	32
3.5. Les réponses physiologiques au stress .....	32

### **Partie IV : La qualité de blé dur .**

4.1. Introduction .....	34
4.2. Critères de qualité .....	35
4.2.1. Aptitude des semoules de blé dur à être transformées en pâtes alimentaires.....	36
4.2.2. Aspect de pâte satisfaisant.....	36
a ) Couleur jaune .....	36
b) Couleur brune.....	36
c) Gerçures .....	37
e) Bonne qualité des produits crus .....	37
4.3. Marqueurs protéiques .....	37

### **Chapitre II : Utilisation de quelques marqueurs physiologiques et biochimiques dans l'expression de tolérance au stress hydrique chez 10 géotypes de blé dur (*Triticum Durum* DESF)**

2.1. Introduction .....	41
2.2. Matériel et méthodes .....	42
2.2.1. L'objectif expérimental .....	42
2.3. Méthode expérimentale .....	43
2.3.1. Installation de l'essai .....	43

2.3.2. Conduite de premier essai :	43
2.3.3. Conduite de deuxième l'essai	44
2.4. Les tests à faire	44
2.4.1 Essai topographique au tétrazolium (TZ)	44
2.4.2. Méthodes	47
2.5. Analyse biochimique	47
a- Extraction des échantillons	47
b- Réalisation du courbe étalon	48
c- Dosage	48
2.5.2. Dosage de la proline	48
a-Extraction des échantillons	48
b-Réalisation de la courbe étalon	49
c- Dosage	49
2.6. Paramètres physiologique	50
2.6.1. Teneur relative en eau (RWC)	50
2.6. Histologie	51
2.8. Résultats	51
2.8.1. Test de tétrazolium	51
2.8.2. Histologie	55
a. Les témoins	55
b .Les stressés	55
2.8.3 Dosage des sucres solubles	58
2.8.4 Turgescence cellulaire	58
2.8.5 Teneurs en osmolytes : accumulation de proline	59
8.6. Résultats de l'analyse de la variance ANOVA et Test(Student - Newman Keuls)	60
2.9. Interprétation statistique	60
2.9.1 Sucres solubles	60
2.9.2. Turgescence cellulaire	61
2.10.Conclusion.	62
3.1. Introduction	65
3.2. Les différentes zones climatiques	65
3.3. Interaction Génotype X Milieu	67
3.4. Les composantes de rendement	67
3.4.1. Le rendement en grains	67

3.4.2. Le Poids de Mille Grains (PMG) .....	67
3.4.3. La Moucheture du blé dur .....	67
3.4.4. Le taux de mitadinage .....	68
3.4.5. Le potentiel couleur .....	68
3.4.6. La composante jaune .....	68
3.4.7. La composante Brune .....	68
3.5. Matériel et méthodes .....	69
a. Choix des variétés .....	69
b. Choix des stations .....	69
c. Analyse climatique (pluviométrie et températures de la campagne 2008/2009 pour les trois stations .....	70
3.5.1. Analyses effectuées .....	71
3.5.1.1. Sur terrain .....	71
3.5.2 Au laboratoire .....	72
3.5.3 : les analyses statistiques .....	72
a - Recherche de variétés similaires: Analyse en composantes principales (ACP).....	72
b - Recherche de classes de variétés homogènes : Analyse hiérarchique ou classification hiérarchique.....	73
3.6. Résultats et discussion : la collecte des données des dix variétés .....	73
3.6.1 Résultats de l'ACP ....	73
3.6.2 .Analyse du nuage de points-variétés: graphique des individus	78
3.6.3 .Analyse hiérarchique .....	78
3.7. Conclusion .....	80
<b>Chapitre IV : Étude comparative des potentialités technologiques des variétés de blé dur par la méthode NIRS introduite dans différentes zone agro-climatiques d'Algérie</b>	
4.1.Introduction .....	82
4.2.Matériels et méthodes .....	82
4.2.1. Choix des stations .....	82
4.2.2. Choix des variétés .....	83
4.3. Données et Analyses effectuées .....	83
4.3.1. Analyse dans le proche infra rouge NIRS .....	83
a. Intérêt .....	83
b. Principe .....	83
4.3.2. Analyses statistiques : Logiciel utilisé MINITAB Version 16 .....	84
4.4. Résultats et discussion .....	85
4.4.1 Analyse proche infrarouge NIRS .....	85
4.4.2 Résultats de l'analyse de la variance ANOVA et Test du Tukey.....	88
4.4.2.1 Résultats de l'analyse de la variance .....	88
4.4.2.2 Résultats de test du Tukey .....	93

4.4.2.3 : Résultats de l'Analyse statistiques multi variée MANOVA .....	95
4.5 Conclusion .....	96
<b>Chapitre V : Analyse de la composition en protéines des blés par chromatographie liquide haute pression (SE-HPLC et RP-HPLC)</b>	
5.1. Introduction .....	98
5.2. Classification des protéines du grain de blé .....	98
5.3. Protéines et qualité technologique du blé dur .....	99
5.4. Effets agro-climatiques : azote, stress hydrique, températures élevées sur les protéines de réserve du grain de blé .....	101
5.5. Matériel et méthodes : .....	101
5.5.1 Les différentes méthodes pour quantifier et évaluer les protéines du grain de blé .....	101
5.5.2 Analyse de la composition en protéines des grains de blé par SE-HPLC .....	103
5.5.3 Analyse de la composition en gliadines et gluténines de grains de blé par RP-HPLC .....	105
5.6 Résultats et discussion.....	108
5.6.2 Composition en gliadines et en gluténines des variétés étudiées .....	112
5.6.4 Effet des modalités K, S et OS sur la teneur et la composition en protéines de réserve de blés algériens .....	116
5.7 Analyse statistique des Résultats SE-HPLC .....	116
5.8 Analyse statistique des Résultats RP-HPLC .....	118
5.9 Conclusion .....	119
Synthèse et conclusion .....	120
Références bibliographiques	
Annexes	

## Liste des figures

Figure	Titre	N° de page
01	photo descriptive d'épillet et fleur de blé	11
02	les différents stades de développement du blé	12
03	Principaux accidents climatiques au cours du développement du blé	14
04	Coupe d'un grain de blé	17
05	Zones physiographiques du nord de l'Algérie	23
06	Répartition des précipitations dans le nord de l'Algérie	24
07	Classification morphologique du nord de l'Algérie	25
08	Les grandes zones écologiques	25
09	dispositif expérimental	43
10	conduite de l'essai	44
11	Coupe schématique d'un grain de blé	45
12	Grabe 1970 : Tetrazolium testing handbook	46
13	Les variétés les plus vigoureuses	52
14	Les variétés viables et moyennement vigoureuses .	53
15	Les variétés viables mais non vigoureuses.	54
16	Coupes transversales des feuilles de blé dur du témoin (grossissement x10)	57
17	Evolution de la teneur en sucres solubles en fonction des niveaux de stress	58
18	Turgescence cellulaire des dix variétés en fonction des niveaux de stress (exprimés en %)	59
19	Evolution de l'accumulant de la proline en fonction des niveaux de stress	59
20	dispositif expérimental au niveau de l'ITGC .	69
21	Nombre de grain /m <sup>2</sup>	71
22	la hauteur en cm (H)	72
23	le poids de 1000 grain ( PMG)	72

24	Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des deux années du site El-Khroub.	76
25	Représentation graphique des 13 variables à l'intérieur du cercle de corrélations du plan factoriel 1-2 obtenu à partir de données trois sites	77
26	Représentation graphique des points individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenu à partir des données des trois sites .	78
27	Dendrogramme du regroupement des 10 variétés de blé dur obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson, sur les données des trois sites.	79
28	photos de l'appareil NIRS	84
29	spectres de l'analyse avec le logiciel ( SAS) de la NIRS _ analysis of spectrum with SAS logiciel of NIRS.	87
30	photos prise d'écran de la NIRS plan 3D (ACP) montre l'effet lieu sur les	87
31	plan 3D (ACP) montre l'effet lieu sur les Variétés	87
32	comparaison des taux des protienes des 10 variétés de blé dur pour les trois sites	89
33	comparaison des taux de poids de 1000 grains des 10 variétés de blé dur pour les trois sites.	90
34	comparaison du taux de rendement des 10 variétés de blé dur pour les trois sites .	90
35	comparaison du poids spécifique des 10 variétés de blé dur pour les trois sites	91
36	comparaison du taux de mitadinage des 10 variétés de blé dur pour les trois	92
37	comparaison du taux de mitadinage des 10 variétés de blé dur pour les trois sites	92
38	comparaison des paramètres de qualité des 10 variétés dans les trois stations	95
39	Méthodes de quantification des protéines du grain de blé.	102
40	INRA supagro -Montpellier	103

41	photos de HPLC	103
42	Chromatogrammes SE-HPLC types obtenus à partir d'une variété de blé dur	105
43	Chromatogrammes RP-HPLC obtenus pour (a) les gliadines et (b) les gluténine	106
44	préparation des variétés pour la chromatographie liquide haute pression (SE-HPLC et RP-HPLC)	107
45a	Profils RP-HPLC des gliadines (extraits éthanol) pour les variétés 1 à 5	112
45b	Profils RP-HPLC des gliadines (extraits éthanol) pour les variétés 6 à 10	113
46a	Profils RP-HPLC des gluténines (extraits propanol/urée/DTE) pour les variétés 1 à 5	114
46b	Profils RP-HPLC des gluténines (extraits propanol/urée/DTE) pour les variétés 6 à 10	115

## Liste des tableaux

<b>Figure</b>	<b>Titre</b>	<b>N° de page</b>
<i>01</i>	Critères de notation des principaux stades de développement de blé	<i>11</i>
<i>02</i>	Les maladies cryptogamiques de blé	<i>15</i>
<i>03</i>	. Composition chimiques des grains de blé	<i>18</i>
<i>04</i>	Les régions céréalières et principales variétés de blé dur recommandées.	<i>28</i>
<i>05</i>	Les variétés homologuées (J.O N° 666.Sep.1998)	<i>30</i>
<i>06</i>	Paramètres phénologique d'adaptation au déficit hydrique	<i>33</i>
<i>07</i>	. caractéristiques variétales	<i>42</i>
<i>08</i>	Résultats de l'analyse de la variance des comparaisons entre les variétés par traitement et par variable	<i>60</i>
<i>09</i>	Moyennes des composantes de rendement et de qualité étudiés	<i>74</i>
<i>10</i>	matrice de corrélation entre les composantes de rendement	<i>75</i>
<i>11</i>	. Moyennes des paramètres de la qualité étudiés	<i>86</i>
<i>12</i>	Résultats de l'analyse de la variance des comparaisons entre les trois sites par variétés et par variable	<i>88</i>
<i>13</i>	groupement des variétés par station et pour chaque variable avec la méthode de Tukey. MINITAB16	<i>93</i>
<i>14</i>	résultats de l'analyse MANOVA (Multi variées) à l'aide des trois tests pour comparer entre les stations, l'ensemble des variétés et l'ensemble des variables.	<i>95</i>
<i>15</i>	Résultats de SE-HPLC et RP-HPLC	<i>111</i>

## **Introduction**

La production du blé dans le monde (650 Mt en 2010) est aujourd'hui devenue un enjeu important pour nourrir l'humanité. La production de blé ne cesse de croître pour faire face à la demande de sa consommation et aussi parfois pour remplacer le riz dont la culture est exigeante en eau. Les surfaces cultivées en blé (220 Mha) ne peuvent croître indéfiniment d'autant que les conditions agro climatiques et de culture (zone semi-aride, salinité des sols) voire l'extension des zones urbaines sont de réelles limites à sa progression.

La génétique et l'agronomie ont jusqu'ici largement contribué à faire progresser la productivité et la valeur d'utilisation du blé. ( le premier chapitre avec quatre parties )

L'amélioration du rendement et la sélection de critères fiables pour l'identification de mécanismes d'adaptation aux contraintes environnementales prévalant es font partie des objectifs à atteindre. Parmi ces critères, la stabilité du rendement, la tolérance aux stress abiotiques, la résistance aux maladies et une bonne qualité technologique constituent autant d'indices privilégiés d'appréciation.

Notre travail traite d'un mécanisme physiologique et autre biochimique qui permet de quantifier la teneur en un osmoprotecteur, les sucres solubles, teneur en proline et d'autre part, d'un aspect relatif aux capacités endogènes des semences à manifester leur vigueur.

Le test au tétrazolium permet d'affiner l'exploration physiologique à l'échelle embryonnaire et par voie de conséquence, d'identifier les parties embryonnaires jugées aptes à donner ou non des radicules, des plumules (première feuille prolongée par une gaine, le coléoptile).

Il s'agit en fait à travers ce test topographique à l'échelle de l'embryon, d'estimer la vigueur des graines. Cette vigueur est très importante pour la connaissance de la santé de la graine et donc permet de faire des prédictions sur sa cinétique future de croissance et de développement. Justifiée avec une étude histologique. (deuxième chapitre)

L'étude se prolonge vers un aspect agronomique pour traiter les composantes de rendement et l'interaction des génotypes avec l'environnement parce que ces génotypes ont été le plus souvent sélectionnés sur la base de leur potentiel de rendement sans tenir compte de l'aspect adaptation.

de même le problème posé ces dernières années est l'apparition de variétés de blé dur (*triticum durum* Desf) caractérisées par une forte productivité mais aussi par une mauvaise aptitude à la transformation industrielle,

Les principaux critères de sélection retenus au champ sont la vigueur, la précocité, la hauteur, la résistance aux principales maladies notamment les rouilles, la sécheresse et le rendement grain. L'ensemble des essais nationaux installés dans trois stations sont résumés dans les différents chapitres. Les lignées retenues au champ sont soumises à des tests de qualité pour n'en sélectionner que les meilleures.(troisième chapitre )

Parmi les différents facteurs responsables de la qualité , une étude de l'influence prépondérantes des protéines et particulièrement la quantité protéique mesuré avec la NIRS à la station expérimentale de Melgueil INRA Montpellier . ( quatrième chapitre ) a été menée .

Dans un cinquième chapitre l'extraction et la séparation chromatographique des protéines du blé dur par Analyse de la composition en protéines des blés par chromatographie liquide haute pression (SE-HPLC et RP-HPLC) au laboratoire de qualité de l'INRA Sup-agro Montpellier France ont été réalisées.

Les différents aspects Abordés et autour desquels s'est articulée l'objectif même de ce travail a constitué une contribution pour une prise en charge complète d'un germoplasme de blé dur. Cette motivation est aussi justifiée par un souci d'intégrer l'ensemble des éléments, exprimés en termes de réponses par ces ressources phylogénétiques, dans le cadre d'un programme national sur la qualité du blé dur.

Si des travaux, intensifs été jusque là enregistrés sur la question du rendement en grain du blé, il n'en est pas de même pour l'aspect qualité.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre démarche avec une déclinaison tout de même, à savoir l'effet source en tant qu'indicateur de niveaux de qualité technologique.

# Chapitre I : Le blé dur et sa culture

## Partie I : Biologie de blé dur

### 1.1. Introduction :

De toutes les productions algériennes, les céréales sont la plus importante. Elles ont joué un grand rôle dans le développement de la prospérité économique du pays.

Les céréales occupent annuellement une superficie de 3 .500.000 ha, soit près de 46% de la surface agricole utile. La production nationale des céréales à paille des dernières années a été caractérisée par des rendements bas, oscillant entre 5 et 11qx / ha conduisant à une production nationale variant entre 10 et 38 millions de quintaux dont 4 à 13 millions de quintaux pour le blé dur et 1 à 5 millions de quintaux pour le blé tendre.

Malgré ces potentialités, la production nationale reste insuffisante et l'Algérie importe de grandes quantités de blé dur pour pouvoir satisfaire les besoins de consommation des populations.

La production mondiale de blé dur varie entre 22,3 millions de tonnes (En 1983-84 et 1988-89) et 34,4 millions de tonnes (1991-92), soit une moyenne de 27 millions de tonnes, elle présente donc d'importantes fluctuations proches de 25% (**ferret 1996, et Selmi 2000 in Ait Kaki 2008**).

La faiblesse et l'irrégularité des précipitations en Algérie sont des facteurs qui engendrent un risque d'apparition du déficit hydrique (**Boulal , 2007**).

Il est souvent présent à des périodes différentes et restreint au maximum la production céréalière (**Taibi et al., 2003**)

Les travaux concernent plus spécifiquement les filières **blé tendre, blé dur** et **maïs**. Ils visent à aider les généticiens et industriels semenciers à mieux «cibler» la sélection des nouvelles variétés, les industriels à mieux valoriser leurs produits et à optimiser leurs procédés de fabrication, les équipementiers à concevoir de nouvelles machines. Ils s'appuient sur une approche interdisciplinaire couplant l'étude des procédés avec l'analyse des évolutions biochimiques.

### 1.2. Généralité, Origine et histoire de blé dur :

Le mot céréale correspond au nom générique donné à toutes les plantes cultivées pour la production de leur grain en vue d'une consommation humaine et ou animale. Il s'agit à peu

Les trois grandes céréales sont le blé, le riz et le maïs, de par leur rôle historique sur leur continent d'origine, leur extension sur la planète et leurs tonnages mondiaux annuels (de l'ordre de 500 millions chacune). On classe les autres céréales dans le groupe de céréales secondaires.

L'amidonnier (lat. : *Triticum dicoccum* Schrk.) représente le deuxième stade d'évolution vers le blé actuel. Il est issu du croisement de l'engrain et de diverses plantes lui étant apparentées. C'en est en fait, l'ancêtre direct du blé dur qui donnera après de multiples mutations naturelles, le blé tendre.

Le mot blé a longtemps désigné toute la famille des céréales (au nombre de 13), dont le seigle, le sorgho et le mil. Mais le nom latin *Triticum*, plus précis, fait référence à trois groupes distincts par leur nombre de chromosomes : le *Triticum* diploïde ( $2N = 14$ ), *Triticum* tétraploïde ( $2N = 28$ ) et *Triticum* hexaploïde ( $2N = 42$ ).

La production mondiale, en progression constante, et les échanges qui se multiplient entre les régions du monde font de cette céréale l'un des principaux acteurs de l'économie mondiale.

Le mot blé a longtemps désigné toute une série de céréales, dont le seigle, le sorgho, et le mil. Le latin, plus précis, identifie sans le genre *Triticum* les espèces céréalières auxquelles il est légitime de donner le nom de blé.

Trois groupes de *Triticum* sont connus, répartis selon le nombre de leurs chromosomes :

- le groupe diploïde ( $2 \times 7$  chromosomes) comprend *Triticum monococcum* (engrain) et *T. spontaneum*, qui font partie des formes les plus anciennement cultivées, caractérisées par des épis grêles où les grains restent enveloppés par les glumelles.
- Le groupe tétraploïde ( $4 \times 7$  chromosomes) comprend *T. dicoccoïdes* (amidonnier sauvage), *T. dicoccum* (amidonnier), *T. turgidum* et *T. durum* (blé dur), à épis denses dont les graines riches en gluten servent à fabriquer les pâtes alimentaires.
- Le groupe hexaploïde ( $6 \times 7$  chromosomes), représenté par *T. vulgare*, ou *T. aestivum* (blé tendre) et *T. spelta* (épeautre), comprend la majorité des blés à épis assez larges et aux graines riches en amidon nécessaires à la fabrication du pain.

Le froment ou blé tendre (*Triticum vulgare*), est de loin l'espèce la plus cultivée de ce genre avec le blé dur (*T. durum*), qui sert à préparer la semoule pour fabriquer des pâtes alimentaires.

Le blé dur a été cultivé cent ans avant J.C et son aire géographique est l'Asie Centrale, Iran, Irak, Abyssinie, Etats-Unis, monde méditerranéen, tandis que le blé tendre dont le n°m commun, froment, est cultivé dans le monde entier et ce depuis 7 000 ans avant J.C.

Les autres espèces comme l'épeautre (*T. spelta*) , l'engrain (*T. monococcum*), et le blé amidonnier (*T. dicoccum*) ne sont cultivées que dans certains pays d'Asie.

Le blé est une plante annuelle, autogame à la fois simple car elle suit un processus irréversible de croissance développement, et complexe car son cycle est soumis à une multitude d'inter – relations aussi importantes les unes que les autres. Quisenberry 1976, in – (Benssedik, 2000), a dit à son sujet :"

le blé est pour le botaniste, une herbe, pour le biochimiste un composé organique et pour le généticien, un problème". (Anonyme 1).

### 1.3. Classification du blé :

Le blé est une céréale autogame dont la classification botanique est la suivante :

**Emb:** Spermaphyte

**S / Emb:** Angiosperme

**Cl:** Monocotylédones

**O:** Comméliniflorales

**S/O:** Poales

**Fam:** Graminaceae ou Poaceae

**Genre:** *Triticum sp.*

### 1.4 .Structure génétique :

(Sakamura,1918) cité par (Cauderon ,1979), fut le premier à déterminer le nombre exact des chromosomes de diverses espèces de *Triticum* de niveaux ploïde différents :

*Triticum aestivum* : 42 chromosomes, hexaploïdes

*Triticum turgidum* : 28 chromosomes, tétraploïdes «  $2n = 4x = 28$  »

*Triticum monococcum* : 14 chromosomes, diploïde (Cauderon, 1979 ;Liu *et al.*, 1996).

La première espèce tétraploïde, le *Triticum turgidum* résultat d'un croisement naturel entre le *T. monococcum* et une herbe nommée *Aegilops speltoides* (graminée) ; la première espèce fourni le génome A, et la seconde, le génome B.

La domestication de ce blé tétraploïde (AABB) a évolué vers *T. turgidum* ssp. *Dicoccum* puis vers *T. durum* (blé dur cultivé) (Feillet, 2000).

D'après ( Nachit *et al.*,1998), les espèces sauvages représentent une source très riche de variabilité pour les caractères de qualité ; citant l'exemple du *Triticum dicoccoides* utilisé intensivement dans l'amélioration génétique de la valeur nutritionnelle et technologique du blé dur. (Ait kaki , 2008).

### 1.5. La croissance du blé

Le blé est une plante annuelle cultivée dans les régions tempérées. Il représente la majeure partie de la production française. Le blé d'hiver est semé en octobre-novembre. Il pousse en prairie à 10 centimètres de haut et ne change plus de taille jusqu'à la fin de l'hiver. Il peut aussi être semé en avril comme blé de printemps qui se récolte en été, comme le blé d'hiver.

Avant le semis, l'agriculteur prépare la terre : le sol doit d'abord être aéré et labouré, puis désherbé. Des épandages d'engrais de fond l'enrichissent et le préparent à recevoir les semences. Il faut enfin y passer la herse pour émietter les mottes de terre (2 cm constitue une bonne taille de mottes).

Il existe en gros trois types de préparation de sol avant le semis :

\* lors du labour, la terre est profondément retournée par un premier outil, puis émiettée par un second. Cette technique tend à déstructurer les sols, à parfois les tasser et créer ce qu'on appelle une croûte de battance ; \* la technique du faux semis consiste à faire lever les adventices durant l'interculture (août par exemple) puis à les détruire, ensuite, avec le passage d'un déchaumeur ; \* dans le cas du semis direct, un seul outil assure la création de la rainure de semis, le dépôt puis le recouvrement de la graine. Cette technique est de plus en plus utilisée car est plus respectueuse de la structure et de la vie du sol. Elle limite par exemple les phénomènes d'érosion des sols.

### **1.5.1. La levée**

Au début de la germination, la semence de blé est sèche. Après humidification, il sort une radicule (première petite racine), puis un coléoptile. Une première feuille paraît au sommet du coléoptile. La germination est uniquement déterminée par une somme de température 30 °C base 0 °C. Il s'agit de la température moyenne quotidienne cumulée. Il faut en moyenne 30 °C pour la germination, soit trois jours à 10 °C ou 10 jours à 3 °C.

L'axe portant le bourgeon terminal se développe en un rhizome (tige souterraine) dont la croissance s'arrête à 2 cm en-dessous de la surface du sol. Il apparaît un renflement dans la partie supérieure du rhizome qui grossit et forme le plateau de tallage.

La levée commence quand la plantule sort de terre et que la première feuille pointe au grand jour son limbe. Un désherbage peut être pratiqué en pré-semis (juste avant le semis) ou en post-semis prélevée (entre le semis et la levée).

Le rythme d'émission des feuilles est réglé par des facteurs externes comme la durée du jour et le rayonnement au moment de la levée. On exprime le nombre de feuilles en fonction des cumuls de températures depuis le semis. Le phyllotherme est la durée exprimée en somme de température séparant l'apparition de deux feuilles successives. Il est estimé à 100 °C en base 0

°C et varie entre 80 °C (semis tardif) à 110 °C (semis précoce). La période quelques feuilles peut être le moment de désherber et parfois de traiter contre les insectes (larves de taupins, tipules).

### **1.5.2. Le stade "3-4 feuilles"**

Le stade "3-4 feuilles" est une phase repère pour le développement du blé. Des bourgeons se forment à l'aisselle des feuilles et donnent des pousses – ou thalles, ou talles. Chaque thalle primaire donne des

thalles secondaires. Apparaissent alors, à partir de la base du plateau de tallage, des racines secondaires ou adventives, qui seront à l'origine de l'augmentation du nombre d'épis.

### **1.5.3. Le tallage**

Le tallage commence à la fin de l'hiver et se poursuit jusqu'à la reprise du printemps. Il est marqué par l'apparition d'une tige secondaire, une talle, à la base de la première feuille. Les autres feuilles poussent elles aussi leurs talles vertes. Au moment du plein tallage, la plante est étalée ou a un port retombant.

À l'intérieur de la tige on peut trouver ce qu'on appelle la pointe de croissance. Elle commence à ressembler à un épi de blé. Initialement, la pointe est sous terre, protégée contre le gel. Au fur et à mesure de la reprise de la végétation, la pointe de croissance va s'élever dans la tige.

### **1.5.4. La montaison**

La montaison se produit fin avril à fin mai en France. Au sommet du bourgeon terminal se produit le début du développement de l'épi. Parallèlement, on assiste à l'allongement des entrenœuds. Le stade « épi à 1 cm » du plateau de tallage est caractérisé par une croissance active des talles. Le plant de blé a besoin, durant cette phase, d'un important apport d'engrais azoté/azotes.

À la fin de la montaison apparaît la F1. Ce terme désigne la dernière feuille sortie. Cette feuille est essentielle car elle va à elle seule contribuer à 75 % du rendement (et donc au remplissage du grain). Lorsque les maladies causent des dommages à la F1, le rendement a de fortes chances d'être impacté.

### **1.5.5. L'épiaison**

L'épiaison se produit en mai ou juin , quand la gaine éclatée laisse entrevoir l'épi qui va s'en dégager peu à peu (on parle de gonflement). Pour les variétés barbues comme le blé dur, c'est le moment où apparaissent les extrémités des barbes à la base de la ligule de la dernière feuille. Avant l'apparition de l'épi, on peut voir un gonflement de la gaine.

À ce stade, le nombre total d'épi est défini, de même que le nombre total de fleurs par épi. Chaque fleur peut potentiellement donner un grain (par exemple 25 grains par épi), mais il est possible que certaines fleurs ne donnent jamais d'épi, en raison de déficit de fécondation par exemple.

### **1.5.6. La floraison**

La floraison s'observe à partir du moment où quelques étamines sont visibles dans le tiers moyen de l'épi, en dehors des glumelles. Quand les anthères apparaissent elles sont jaunes, après exposition au soleil elles deviennent blanches.

À la fin de la floraison, quelques étamines séchées subsistent sur l'épi.

Environ 15 jours après la floraison le blé commence à changer de couleur : il perd sa couleur verte pour tourner au jaune/doré/bronze.

### **1.5.7. Formation du grain**

Le cycle s'achève par la maturation qui dure en moyenne 45 jours. Les grains vont progressivement se remplir et passer par différents stades tels que les stades laiteux, puis pâteux, au cours desquels la teneur en amidon augmente et le taux d'humidité diminue. Durant cette phase les réserves migrent depuis les parties vertes jusqu'aux grains. Quand le blé est mûr le végétal est sec et les graines des épis sont chargées de réserves. La formation du grain se fait quand les grains du tiers moyen de l'épi parviennent à la moitié de leur développement.

Ils se développent en deux stades :

\* le stade laiteux où le grain vert clair, d'un contenu laiteux, atteint sa dimension définitive ;

\* Le stade pâteux où le grain, d'un vert jaune, s'écrase facilement.

Les glumes et les glumelles sont jaunes striées de vert, les feuilles sèches et les nœuds de la tige encore verts.

Puis le grain mûrit : brillant, durci, il prend une couleur jaune. À maturité complète, le grain a la couleur typique de la variété et la plante est sèche. À sur-maturité, le grain est mat et tombe tout seul l'épi.

**1.6. La morphologie du blé :**Le blé se présente d'abord comme une plante herbacée, dont l'appareil végétatif se caractérise par un :

**1.6.1. Appareil racinaire :**

L'appareil racinaire du type fasciculé peu développé. 55% du poids total des racines se trouve entre 0 et 25 cm de profondeur, 17,5% entre 25 et 50 cm, 14,9% entre 50 et 75%, 12% au-delà. En terre très profonde (sols de limon), les racines descendent jusqu'à 1,50 mètre.

**1.6.2 . Tige et feuille :**

La tige ne commence vraiment à prendre son caractère de tige qu'au début de la phase végétative, la tige en quelque sorte télescopée à partir d'un massif cellulaire qui forme le plateau de tallage. La tige elle-même ou chaume s'allonge considérablement à la montaison, et porte 7 ou 8 feuilles rubanées, engainantes sur toute la longueur d'un entre nœud.

Les feuilles ont des nervures parallèles et sont terminées en pointe.

**1.6.3. Épi :**

Il est aussi du bourgeon terminal du plateau de tallage.

Lorsque le développement de la tige est terminé, l'épi apparaît enveloppé dans la dernière feuille, et après quelques jours on peut étudier sa structure en détail. C'est l'épiaison.

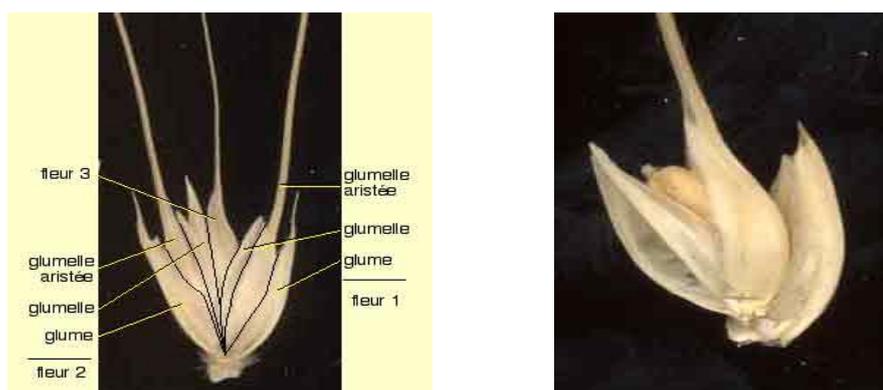
L'épi comporte une tige pleine ou rachis coudée et étranglée à intervalles réguliers et portant alternativement à droite et à gauche un épillet.

**1.6.4. Épillets :**

Ne comportent pas de pédoncule il est attaché directement sur le rachis. Les épillets nombreux (jusqu'à vingt-cinq).

Ils représentent Petits groupes de fleurs, inséré sur l'axe de l'épi. Il est protégé à sa base par deux glumes (bractées), les fleurs sont protégées par des glumelles et des glumellules.

Après la fécondation, la fleur donne naissance à un fruit unique, le caryopse ou grain, qui comporte un embryon ou germe plaqué sur les réserves (**Clément,1971**)

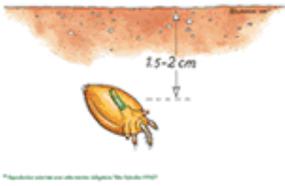


**Figure 1** : photo descriptive d'épillet et fleur de blé

<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/blepain/1ble/11plant/plante.htm>

**Tableau 1** : Critères de notation des principaux stades de développement de blé (Boulal *et al.*, 2007)

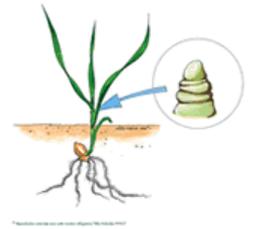
Stades de développement	Critères de notation des dates d'apparition des stades
Levée	90% des plantes ont leur première feuille émergée du sol
Début tallage	50% des plantes ont leur première feuille visible à l'aisselle de la première feuille
Début montaison	Apparition du premier nœud sur 50% des plantes
Gonflement	50% des gaines de la dernière feuille sont en état de gonflement
Début épiaison	50% des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille.
Début floraison	50% des épis présentent des étamines sur plus de la moitié des épillets.
Grain laiteux	50% des épis présentent des gaines qui en s'écrasant laisse apparaître un liquide blanchâtre. état laiteux.
Grain pâteux	50% épis présentent des grains à l'état pâteux.
Maturité physiologique	90% des épis ont des grains durs qui se cassent difficilement entre les dents.



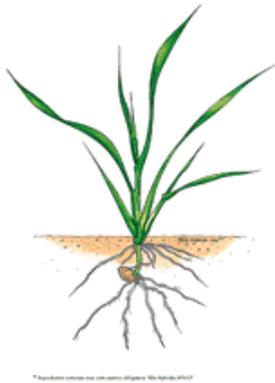
1- La germination



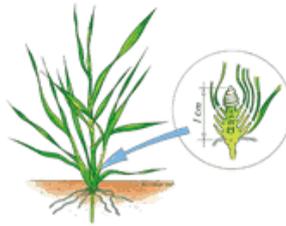
2- La levée



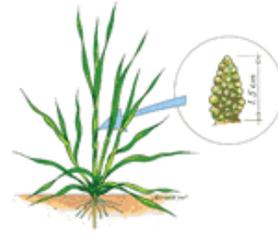
3- Trois feuilles



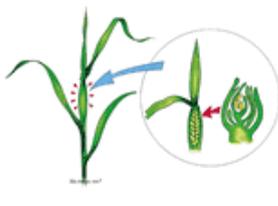
4- Début tallage



5- Épi à 1 cm



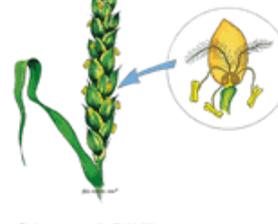
6- Un nœud



7- Méiose pollinique



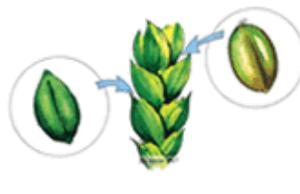
8- L'épiaison



9- La floraison



10- Bâillement.



11- Grain formé



12- Épi à maturité

**Figure 02** : les différents stades de développement du blé

## 1.7. Les exigences de blé :

### 1.7.1 le sol :

Les sols les plus favorables à la culture du blé dur sont :

1-les sols profonds (plus de 60cm de profondeur).

2-les sols suffisamment riches en matières organiques et minérales.

3-les sols bien drainés pour éviter tout développement de maladies.

4-les sols capables de maintenir une réserve en eau suffisant pour assurer une bonne alimentation au moment de l'accumulation des réserves dans le grain (**Zeghida, 2004**).

### 1.7.2 le climat:

#### a. La température :

Une température supérieure à 0° (zéro de végétation du blé) est exigée pour la germination des céréales. Cependant l'optimum se situe entre 20°C et 22°C.

La température conditionne la nitrification et l'activité végétative du blé au cours du tallage et de la montaison.

#### b. L'eau :

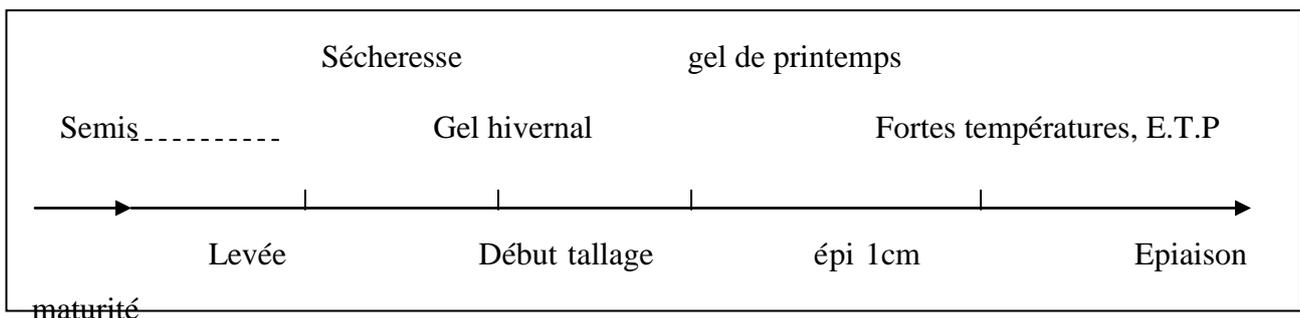
Pour assurer un rendement intéressant, le blé a besoin d'une quantité importante d'eau.

(**Chaker, 1997**).

Il faut environ 500grammes d'eau pour élaborer 1gramme de matière sèche de blé, un bref calcul montre que pour une récolte de 50qx/ha. Il faut environ 4250 mètres cubes d'eau, soit une pluviométrie de 450mm/an.

#### c. L'éclairement :

Une certaine durée du jour (photopériodisme) est nécessaire pour la réalisation du tallage. Quand à l'intensité lumineuse, et à l'aération, elles agissent directement sur l'intensité de la photosynthèse, dont dépend à la fois résistance des tiges à la verse et le rendement (**Dominique, 2005**).



**Figure 03 :** Principaux accidents climatiques au cours du développement du blé (**Soltner, 1990**).

#### **d. la fertilisation:**

La fertilisation est raisonnée sur le principe de la restitution au sol des quantités d'éléments (NPK) fertilisants prélevés par les récoltes

Le blé a besoin de ces trois éléments essentiels et le rôle de chaque élément sur le plant de blé est le suivant :

#### **e. L'azote (N) :**

C'est un facteur déterminant du rendement

- Il permet la multiplication et l'élongation des feuilles et des tiges.
- Il a pour rôle d'augmentation de la masse végétative

#### **f. Phosphore(P) :**

C'est un facteur de croissance qui favorise le développement des racines en cours de végétation.

- C'est un facteur de précocité qui favorise la maturation.
- Il accroît la résistance au froid et aux maladies.
- C'est un facteur de qualité.

#### **g. Potassium(K) :**

- Il régule les fonctions vitales de la croissance végétale.
- Il est nécessaire à l'efficacité de la fumure azotée.
- Il permet une économie d'eau dans les tissus de la plante.
- Il assure une meilleure résistance contre la verse et contre les maladies.

**Tableau 2 :** Les maladies cryptogamiques de blé

<b>L'agent pathogène</b>	<b>Nom scientifique</b>	<b>symptômes</b>
L'oïdium	<i>Erysiphe graminis</i> <i>f.sp.tritici</i>	-taches blanchâtres -ponctuations noires sur les feuilles âgées
La rouille brune	<i>Puccinia triticina</i>	Pustules de petites tailles circulaires ou ovales, orange ou brunâtres sur la face supérieures et inférieures de la feuille.
La rouille jaune	<i>Puccinia striiformis</i>	Pustules jaunes, alignées le long des nervures.
La rouille noire	<i>Puccinia graminis</i> <i>f.sp.tritici</i>	Pustules plus larges que celle de la rouille brune et de couleur rouge brique à marron foncé.
Les pourritures racinaires	<i>Cochliobolus sativus</i> <i>Fusarium culmorum</i> <i>Fusarium graminearum</i>	La fonte de semis, dessèchement des jeunes plantes et enfin l'apparition des épis

	<i>Fusarium avenaceum</i>	blancs prématurés et improductifs Taches nécrotiques ou noirâtres sur le collet, le rhizome ou mes racines.
Les caries	<i>Tilletia caries</i> <i>Tilletia foetida</i>	Le contenu des grains transformé en une masse poudreuse noirâtre. les plantes infestées sont souvent les plus courtes que les plantes seines et de couleur plus foncée.
Le charbon nu	<i>Ustilago tritici</i>	Les épis infectés sont noircis Les enveloppent de la graine ainsi que leur contenu sont détruits et remplacés par une masse sporifère noirâtre.
Le charbon foliaire	<i>Urocystis agropyri</i>	Les plantes atteintes manifestent des stries longitudinales le long des feuilles qui se tordent et s'enroulent. Apparition des masses noirâtres.
La tache helminthosporienne	<i>Pyrenophora tritici repentis</i>	les champignons produits des taches chlorotiques et nécrotiques sur les limbes des feuilles jeunes ou adultes.
La jaunisse nanisante	<i>Virus BYDV</i>	La jaunissement débute du haut de la feuille et progressive vers la bas. Les feuilles de la plante prennent une coloration rouge sombre, pourpre ou jaune.

### 1.8. Le grain de blé :

Lors de la moisson, le battage détache les grains des épis, et beaucoup des grains sont aussi débarrassés des enveloppes florales.

Le grain de blé est un fruit sec dont les dimensions moyennes sont, de 6 à 8mm de longueur et de 3mm environ de largeur et d'épaisseur, est un ellipsoïde plus ou moins bombé, présentant un sillon longitudinal profond de 1,5 à 2mm, l'une des extrémités porte des poils, et sur l'autre se trouve un germe minuscule.

La coupe du grain fait apparaître trois parties :

#### a. Les enveloppes :

Qui représentent 14 à 15% du poids du grain, comprennent :

Le péricarpe ; enveloppe du fruit

Le tégument de la graine ou « testa » et le tégument du nucelle ou « bande hyaline ». L'assise protéique (60% du poids des enveloppes), constituée de cellules à aleurone, riches en protéines.

**b. Le germe :** Qui représente 2,5% du grain, comprend :

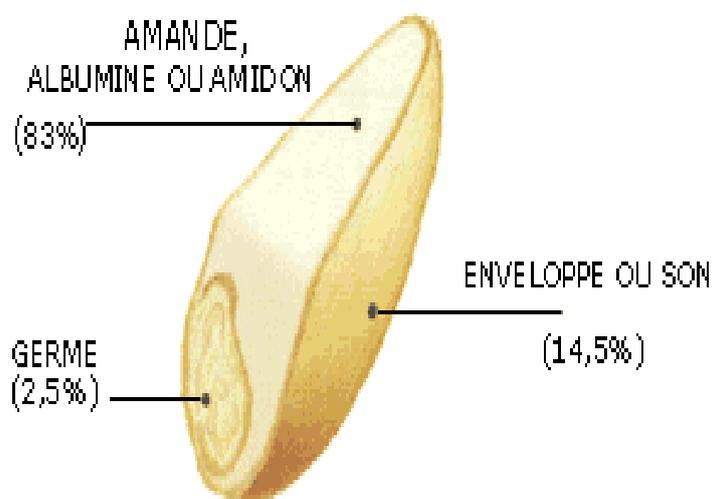
1-le cotylédon ou scutellum riche en lipides et protéines.

2-La plantule plus ou moins différenciée :

La radicule ou racine embryonnaire protégée par le coléorhize. La gemmule comportant un nombre variable de feuilles visibles, enfermées dans un étui protecteur : la coléoptile

(Feuillet, 2000).

**c . L'albumen ou amande:**Qui représente 83 à 85% du poids du grain, est composé 70% d'amidon et de 7% de gluten environ. Chez le blé dur l'albumen est corné vitreux.



**Figure 4 :** Coupe d'un grain de blé

<http://www.unctad.org/infocomm/francais/ble/descript.htm>

### **1.8.1. Composition biochimique du grain :**

Les grains des céréales sont des organes végétaux particulièrement déshydratés.

Les grains de blé renferment d'importants éléments qui déterminent sa valeur alimentaire (Boyeldieu, 1980)

**Tableau 3 : Composition chimiques des grains de blé**

<b>Constituants, en p.100 de la matière sèche du blé</b>	<b>Teneurs</b>
Protéines (N*6,25)	14,3
Lipides p.100	2,2
Cendres p.100	2,0
Matières cellulosiques p.100	3,0
Glucides (extractifs non azotés) p.100	78,5
Thiamine mg/kg	5,5
Niacine mg/kg	63,6
Riboflavine mg/kg	1,3
Acide pantothénique mg/kg	13,6

### **1.8.2. Physiologie de la germination :**

La germination c'est une activation métabolique de l'embryon décelable par les échanges respiratoires de la graine. C'est un processus préparatoire à l'élongation de la radicule, puis de la coléoptile.

Les constituants insolubles de l'albumen (amidon et protéines) disparaissent progressivement pendant que les substances solubles augmentent. Cette solubilisation des réserves s'effectue sous l'action d'enzymes dont les principales sont l'alpha amylases et la protéase. La libération de ces enzymes sous l'action de l'acide gibbérellique

### **1.8.3. La longévité des semences :**

La durée de vie des semences est très variable selon les espèces, mais les plantes cultivées, et parmi elles les céréales, appartiennent au groupe des semences mésobiotiques, ou à longévité moyenne, c'est-à-dire comprise entre trois et quinze ans.

Récoltées et conservées dans de bonnes conditions, des graines de céréales gardent leur pouvoir germinatif de départ pendant au moins trois ou quatre ans. Au-delà de six ou huit ans, le pourcentage de germination commence à baisser, de façon variable selon les cultivars et les Conditions de maturation. On a pu conserver un pouvoir germinatif durant une trentaine d'années sur certains blés séchés jusqu'à 4 ou 5 p.100 d'humidité (**Boyeldieu, 1980**).

## *Partie II : La culture de blé dur*

### **2.1. Introduction :**

Selon le Groupe de l'analyse des marchés, Division des céréales et oléagineux

Direction du développement et de l'analyse du secteur, Direction générale des services à l'industrie et aux marchés Ce rapport constitue une mise à jour des Perspectives de janvier d'AAC pour la saison courante 2012-2013. Il contient les premières perspectives pour la saison 2013-2014, qui commence le 1<sup>er</sup> août 2013.

En **2012-2013**, malgré une augmentation considérable de la production totale, l'offre a légèrement diminué en raison de la faiblesse des stocks de report de la saison précédente. En raison de la hausse des exportations et de la forte utilisation intérieure, les stocks de report devraient chuter pour atteindre un plancher quasi record. Les prix sont élevés et devraient demeurer près de ces sommets historiques en raison, dans une large mesure, d'une baisse de la production aux États-Unis et dans la région de la mer Noire, qui est le résultat de conditions de croissance très sèches.

En **2013-2014**, on prévoit que les prix des céréales au Canada diminueront de 10 % à 20 % en raison de la baisse des prix internationaux. Selon les prédictions, les prix mondiaux subiront la pression exercée par la hausse de la production aux États-Unis et dans d'autres régions céréalières du monde, qui se relèvent de la faible production enregistrée en 2012 en raison de la sécheresse. Les prix des oléagineux devraient également diminuer, bien que dans une moindre mesure, étant donné la forte demande internationale par rapport à l'offre mondiale. Dans l'ouest du Canada, les plus vastes superficiesensemencées en blé et en soja devraient largement compenser la diminution des superficiesensemencées en canola et en lentilles, tandis que les superficiesensemencées en céréales secondaires demeurent relativement stables. De même, dans l'est du Canada, l'accroissement des superficiesensemencées en blé et en soja devrait largement neutraliser la diminution des superficiesensemencées en céréales secondaires et en légumineuses.

Pour les céréales et les oléagineux du Canada, on prévoit une croissance de la production de 5 % pour atteindre 73,8 mégatonnes (Mt), sur *l'augmentation* des superficiesensemencées et récoltées et les rendements moyens. .

On prévoit également une hausse des exportations et de l'utilisation intérieure en raison de l'offre accrue. Les stocks en fin de campagne devraient augmenter, mais demeureront à leur plus faible niveau historique.

## 2.2. BLÉ DUR

En 2012-2013, les exportations devraient augmenter de 16 % par rapport à 2011-2012 pour atteindre 4,15 Mt en raison d'une baisse de la production dans l'Union européenne (UE), au Maroc et dans plusieurs autres pays, ce qui devrait entraîner une hausse de la demande de blé dur canadien. Les stocks de report devraient reculer de 14 % pour s'établir à 1,3 Mt, ce qui est inférieur de 25 % à la moyenne des cinq années précédentes et représente le plus faible niveau depuis 2007-2008.

La production mondiale de blé dur a reculé de 1,4 Mt pour s'établir à 35,3 Mt, alors que l'offre a baissé de 1,1 Mt pour s'établir à 42,9 Mt. La consommation devrait baisser de 0,8 Mt et les stocks de report devraient diminuer de 0,4 Mt pour se chiffrer à 7,2 Mt, soit le plus faible niveau depuis 2008-2009. Les prix moyens du blé dur devraient être semblables à ceux de 2011-2012, car la baisse de l'offre mondiale est neutralisée par une baisse de la consommation mondiale et par une hausse de l'offre aux États-Unis.

## 2.3. En Algérie

En Algérie, le rendement moyen annuel des céréales calculé pour une séquence de 5 ans et pour deux périodes séparées de plus d'un siècle (1871- 1875 et 1991-1995) est toujours compris entre 6 et 8 q/ha ( **Slatyer, 1974** ).

Les rendements des céréales dépendent des caractéristiques endogènes spécifiques à chaque cultivar (structure génétique) dont l'expression est fonction des facteurs du milieu ( **Jouve, 1984** ) . Les exigences climatiques des céréales définies par la F.A.O.( 1976) situent la pluviométrie totale

nécessaire en période de croissance entre 450 et 1000 mm, avec une pluviométrie moyenne mensuelle de 45 à 90 mm pour la phase végétative, de 60 à 90 mm pour le stade floraison, et de 55 à 80 mm pour le stade maturation.

Dans nos régions, le déficit hydrique constitue le principal facteur limitant des rendements en céréales ( **Benseddik et Benabdelli , 2000** ) . Plusieurs voies d'amélioration de la conduite technique des céréales peuvent être envisagées en zone à déficit hydrique : sélection et emploi de génotypes résistants à la sécheresse et capables de maintenir un niveau de rendement satisfaisant en présence de déficit hydrique, position du cycle de la culture dans des périodes où le déficit hydrique est moins probable ou moins accentué (esquive) en jouant sur la date de semis et la précocité variétale, mise en oeuvre de techniques culturales permettant d'améliorer le stockage de l'eau au cours de la période humide par la gestion de l'inter- culture (désherbage, binage) ou le choix du précédent cultural, choix d'un niveau de rationnement suffisant de la culture par les

techniques culturales appliquées au semis du blé (densité de peuplement, fumure minérale équilibrée). Or, dans nos régions, les pluies ont un caractère aléatoire ( **Bensaad, 1993** ) qui rend peu crédible toute tentative de prévision climatique à l'échelle d'un cycle végétatif d'une céréale.

La superficie totale de l'Algérie s'élève à 238 millions d'hectares dont 191 millions sont improductifs. La surface agricole est de 8,2 millions d'hectares dont presque la moitié est habituellement mise en jachère. Les cultures herbacées couvrent 3,8 millions d'hectares.

La polyculture est concentrée dans la riche zone pluvieuse du nord du pays. On y cultive céréales, légumes et fruits et y pratique l'élevage semi intensif, produisant surtout du lait et de la viande.

L'Algérie compte un million d'exploitations dont 70 pour cent ont une surface inférieure à 10 ha. L'exploitation individuelle prédomine, avec 83 pour cent du nombre total des exploitations occupant un quart de la surface agricole utile.

Le pays est riche en ressources naturelles dont deux des principales matières premières nécessaires à la fabrication des engrais, le phosphate naturel et le gaz naturel. La fabrication des engrais azotés et phosphatés satisfait non seulement les besoins du marché intérieur mais permet aussi l'exportation. La gamme des produits fabriqués inclue le nitrate d'ammonium, l'urée, les superphosphates et les engrais composés binaires et ternaires.

De 1986 à 1998, la consommation d'engrais a fortement chuté. Un «ajustement structurel» a impliqué une redistribution des terres, la libéralisation des marchés, une réduction des subventions et, par conséquent, une augmentation du prix des engrais. En 1993, moins d'un kilogramme de blé dur

suffisait à l'achat d'un kilogramme d'azote ou de phosphate. En 1997, deux kilogrammes étaient nécessaires et, en 2004, environ trois.

Un quart seulement des exploitations céréalières applique des engrais et/ou du fumier. La moyenne des rendements céréaliers, principalement du blé, avoisine 1 200 kg/ha alors que des rendements de 5 000 kg/ha sont souvent atteints. Les importations de céréales ont été multipliées par 10 depuis le début des années 1970.



saharien, aride, semi-aride, sub-humide et humide. Ils sont subdivisés en variantes sur la base des seuils thermiques de la température du mois le plus froid (m). Les variantes intéressantes pour la production végétale sont les suivantes:

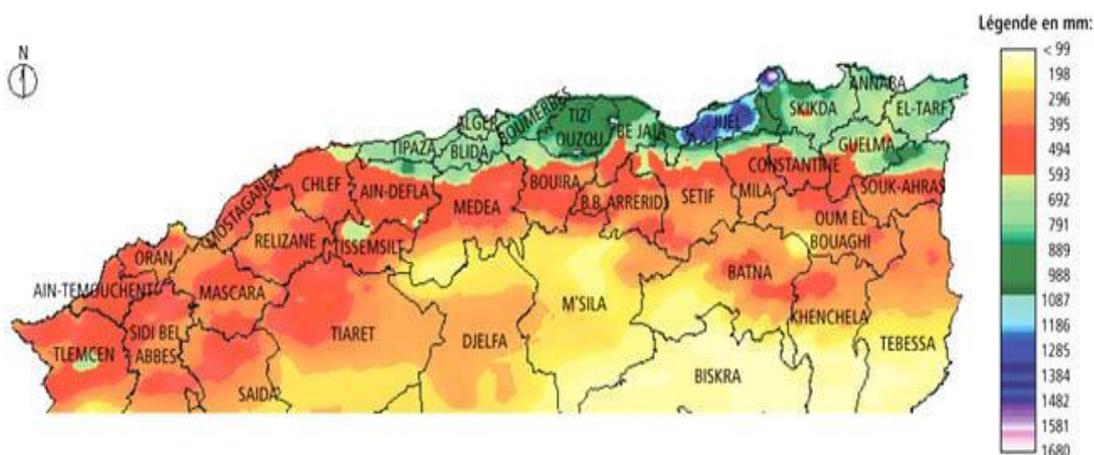
- hiver froid, à gelées durant de longues périodes,  $-3 < m < 0^{\circ}\text{C}$ ;
- hiver frais, à gelées très fréquentes,  $0 < m < 3^{\circ}\text{C}$ ;
- hiver tempéré, à gelées fréquentes,  $3 < m < 5^{\circ}\text{C}$ ;
- hiver doux, à gelées rares,  $5 < m < 7^{\circ}\text{C}$ ;
- hiver chaud, à gelées absentes,  $7 < m < 10^{\circ}\text{C}$ .

Outre les moyennes des températures en hiver, les fortes températures de l'été et la sécheresse estivale sont des freins incontournables pour la production végétale.

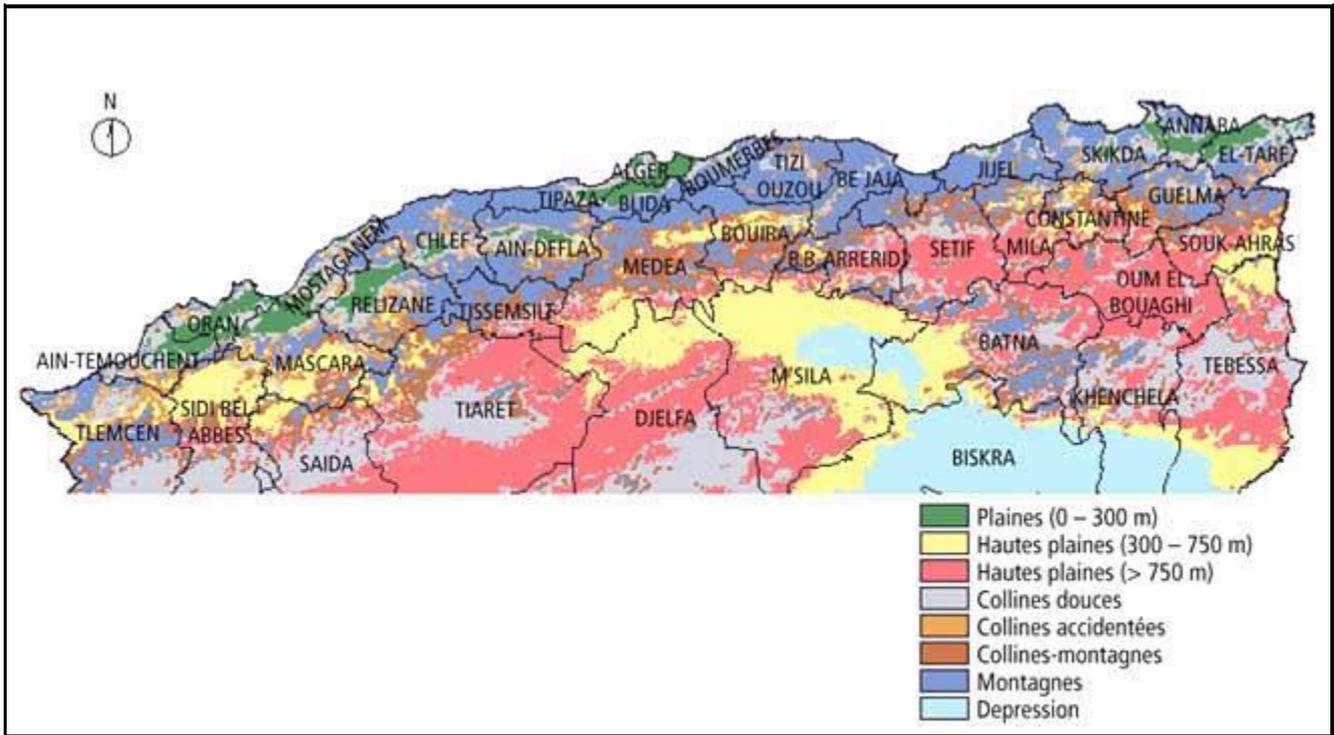
Les précipitations diminuent du nord au sud et d'est en ouest (figure 5). Les moyennes pluviométriques annuelles varient de moins de 25 mm dans les régions sahariennes à plus de 1 500 mm dans certaines localités du nord. Cette variation dans l'espace dépend de la latitude, de la continentalité et du relief.

L'altitude a un effet sur la pluviosité. En outre, une dissymétrie très nette existe entre les versants. Les versants exposés au nord sont les mieux arrosés, les versants exposés au sud sont les plus secs.

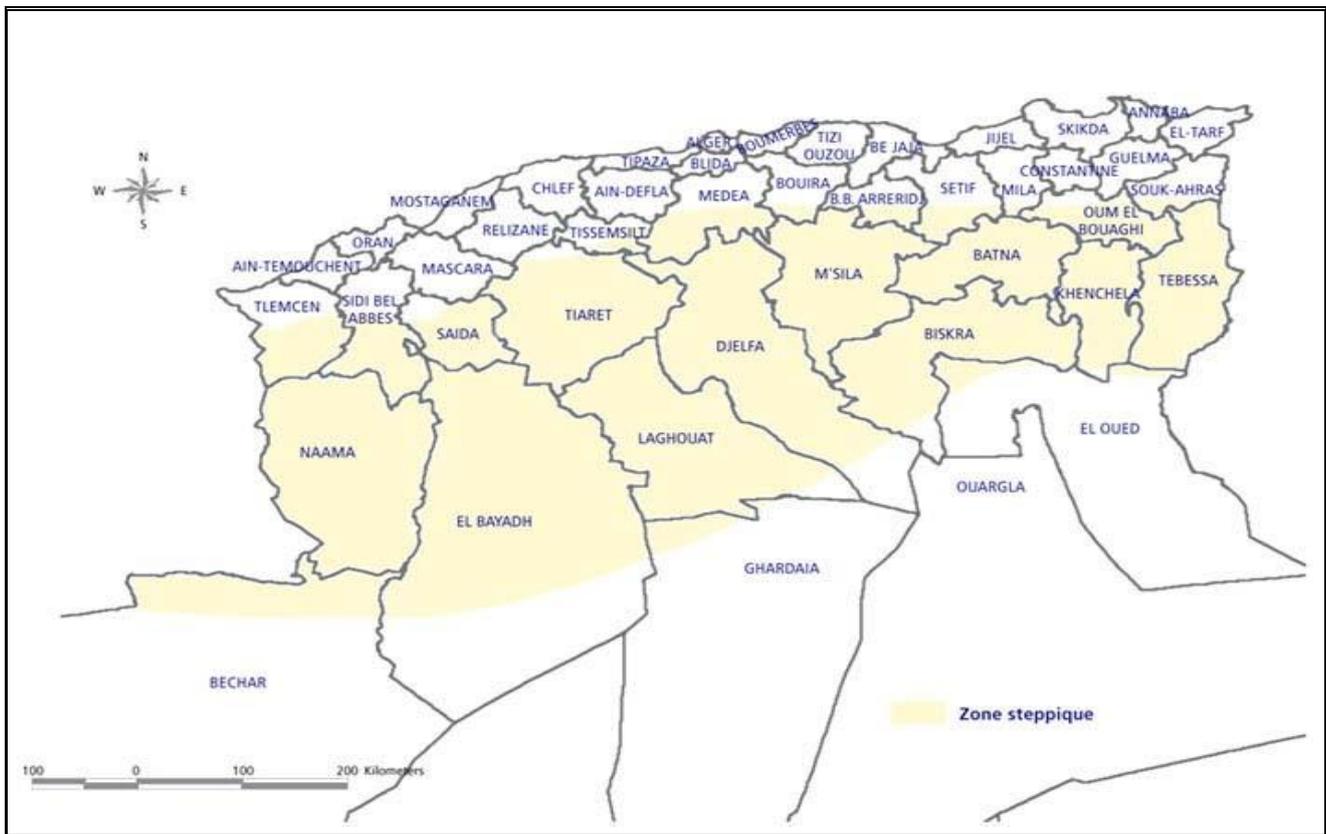
Les grandes régions écologiques se distinguent relativement bien (figures 5 et 6). Au nord, se trouve la zone de culture (littoral, les plaines sub-littorales, les plaines intérieures, les hautes plaines, etc.), au centre la zone steppique et de parcours et, au sud le Sahara avec ses Oasis.



**Figure 6:** Répartition des précipitations dans le nord de l'Algérie



**Figure 7 :** Classification morphologique du nord de l'Algérie



**Figure 8 :** Les grandes zones écologiques

La répartition des sols présente une zonation qui reflète celle du climat. Cependant, elle est largement modifiée par l'influence de la nature des roches mères, du relief, de l'eau, de la végétation, ainsi que des facteurs biotiques et anthropogènes. On rencontre différents types de sols:

- Sols bruns lessivés et sols bruns calcaires dans les bioclimats humides et sub-humides (Luvisols, Calcisols).
- Sols châtaîns et bruns iso humiques, souvent avec des accumulations calcaires en profondeur, dans les bioclimats semi arides et arides (Kastanozems, Calcisols).
- Sols gris subdésertiques, minéraux bruts d'érosion ou d'apport, ainsi que des sols salins aux bioclimats arides et désertiques (Regosols, Solonchaks).

L'Algérie est un grand intervenant sur le marché international des céréales avec un niveau de consommation annuel pas moins de 60 millions de quintaux de céréales (**Kebri, 2003**).

Toutefois, le problème auquel est confrontée l'Algérie réside notamment dans le fait que le niveau de production céréalière nationale est loin de répondre aux besoins de consommation exprimés. Ce qui fait de l'Algérie un important importateur de produits.

D'après le bilan de production végétale du Ministère de l'agriculture (2003), la superficie récoltée (2002/03) est de l'ordre de 1,8 millions d'hectares ; la production est estimée à 19,5 millions de quintaux. Elle recule de - 27 % par rapport à celle enregistrée au cours de la campagne précédente ; mais le rendement reste faible et n'a jamais dépassé 1.3 MT/ha.

Les prévisions d'achat sont estimées à 4,7 millions de tonnes de blé au cours de la campagne 2002/03.

L'Algérie est le quatrième importateur mondial de céréales . Selon ( **Kebri , 2003**), La production nationale des céréales de l'année 2003 est de l'ordre de 42,7millions de quintaux..

#### **2.4. Principales variétés cultivées en Algérie**

Après avoir replacé sommairement l'histoire du blé dur en Algérie, il est nécessaire de donner quelques indications sur l'évolution de ces ressources et l'état actuel de la culture du blé dur. Ce qui semble assez paradoxal , est que toute la diversité du blé dur locaux n'a pas été exploitée.

Le tableau 1 extrait de (**Laumont et Erroux ,1949**) et le tableau 4 rapportant les variétés homologuées, montrent bien le peu d'intérêt accordé aux variétés ou populations locales au profit des introductions parfois massives de matériel végétal étranger.

Malgré la grande richesse des ressources génétiques, les variétés connues actuellement présentent un spectre assez réduit au regard de la diversité des conditions agro- climatiques de l'Algérie pour plusieurs raisons, dont quelques unes sont liées à une méthodologie d'amélioration empirique, d'autres à l'introduction précipitée de matériel végétal présentant des caractéristiques d'adaptation spécifique.

Le résultat est que les variétés connues comme très tolérantes à la sécheresse (Oued-Zenati) sont peu productives. Les études comparatives de variétés à adaptation locale et de variétés plus

productives à adaptation large, ont permis de montrer que le comportement de ces premières s'expliquaient surtout par des caractères morphologiques très précis conduisant à une adaptation très stricte à un milieu donné (**Ali Dib et Monneveux,1992**), (**Ait-kaki, 1993**) et (**Brinis ,1995**).

Les tableaux suivants nous renseignent sur les progrès réalisés en matière de création de matériel végétal.

**Tableau 4 :** Les régions céréalières et principales variétés de blé dur recommandées.

Alger. Chlef	O.Zenati 368.Zenati x Bouteille 13.359	Plaines littorales et sub-littorales	<u>Variétés précoces :</u> Mexicali .Inrat 69 Cocorit, Capéiti, Montpellier, Waha
Sersou de vialar	Hedba 3, O.Z .368		
Sersou de burdeau	O.Z x Bouteille 13.953		
Berrouaghia- Aumale	O.Z368, 7.687-H.3 Langlois 1.527-2 x Bouteille	Plaines d'altitude (700-900 m)	<u>Variétés tardives :</u> O.Z, Bidi 17,M.B.B G.Montgolfier <u>Variétés précoces :</u> Waha, InratT69, Capéiti, Acsad 65
Bouira	P.Zenati 368, Hedba 3. - idem – O.Zenati 368		
Kabylie	Zenati x Bouteille 13.953	Hautes plaines Telliennes	<u>Variétés tardives :</u> O.Z,Bidi17,Polinicum,H3 <u>Variétés précoces :</u> Acsad69, Capéiti, Mexicali, Waha
Mitidja et littoral	O.Zenati 368-Hedba 3, Zenati		
Département d'Oran	X Bouteille 13.953 Langlois 1.527-H3-O.Z		
Plaine d'Oran	Hedba 3 –O.Zenati	Basses plaines Telliennes	<u>Variétés tardives :</u> O.Z,Polinicum,H.3, Montpellier <u>Variétés précoces :</u> Inrat 69, Waha, Mexicali
Ain temouchent	Hedba 3- O.Zenati 368 Biskri Ac2		
Tlemcen	H3 , O.Z 368, Biskri Ac2		
Sidi bel-Abbes Mascara	Langlois 1.527		
Saida	O.Zenati 368,Zenati X Bouteille 13.953		
Tiaret	Zenati x Bouteille 13.953 - id-		
Montgolfier Prévost-Paradol			
Relizane- Sig- Perrégaux	H3-O.Z,M.b Bachir 8.037		
Mostaganem	Bidi 17 , H .3 M.B.B, H.3, Langlois		
Sétif nord	1.527		

**Tableau 5 :** Les variétés homologuées (J.O N° 666.Sep.1998)

<b>Variétés ou populations locales</b>	<b>Variétés d'introduction récente et dénominations</b>
O.Zenati 368 Bidi 17 Polonicum (Chougrane) Hedba 3 Zenati B x Flamengo	Capéiti (Aribs) Ardente Belikh2 Montpellier 37.856 (Bibans) Cham3 Chen'S Duriac Eider G.T.A dur Vitron (Hoggar) Kanis (yavaros) Kebir Ouarsenis O.Rabii Sahel Sebaou (INRAT69) Sersou Tassili Mexiacali75 Acsad65 Waha Zibans

## **Partie III: le stress hydrique**

### **3.1. Introduction:**

Le blé subissent des déficits hydriques qui affectent plusieurs variables physiologiques de la plante et se répercutent sur croissance et le développement. Et entraînent une baisse de rendement en grain. Selon son intensité et sa date d'apparition au cours du cycle de développement.

Il peut causer des dégâts à des degrés variables en fonction des variétés cultivées et de date de semis (**El Mourid et al ., 2007**).

Les céréales sont confrontées à plusieurs types de sécheresse qui les affectent au cours de leur cycle de développement il s'agit de :

- la sécheresse au début de cycle végétatif et qui affecte l'installation de la culture.
- la sécheresse du milieu de cycle végétatif et qui affecte principalement la fertilité des organes reproducteurs de la plante.
- la sécheresse se fin de cycle végétatif qui affecte la formation et le remplissage du grain.

### **3.2. Notion de stress :**

La notion de stress implique, d'une part ; une déviation plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales (moyennes) de la plante, et d'autre part une réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie laquelle change sensiblement, avec soit adaptation à la situation soit à la limite, dégradation menant à une issue fatale.

Le déficit hydrique s'installe dans la plante quand l'absorption ne peut pas satisfaire la demande de la transpiration. Une partie des processus physiologique commencent à être affectés (**Acevedo., 1991 ; Gate .,1995 ; Hermez., 1996**). Il apparaît en premier lieu au niveau des feuilles, s'étend vers la tige et les racines (**Nemmar., 1983**).

### **3.3. Définition du stress hydrique :**

Déficit en eau occasionné par la sécheresse, avec ses conséquences multiples sur le métabolisme et le développement (**Jean et al ., 2003**).

### **3.4. Effets de stress hydrique sur la plante :**

Le stress perçu par une plante, autrement dit le niveau de tension interne, dépend de la résistance de l'organisme à un type de stress appliqué avec une certaine intensité. En plus du type de stress et de son intensité, il faut également considérer la durée d'exposition. En effet, si l'intensité d'un stress est trop faible pour provoquer des dommages irréversibles à court terme, à long terme, ce stress peut provoquer des changements plastiques, voire la mort de l'organisme (**Levitt., 1980**).

Les réponses des plantes à ce stress sont l'adaptation et la tolérance.

#### **a. L'adaptation :**

Se traduit par une série des modifications au niveau cellulaire et moléculaire qui sont liées aux potentialités génétiques des espèces (**Demarly.1984**).

Il en résulte des modifications physiologiques et morphologiques qui confèrent à la plante une résistance plus ou moins grande à la contrainte (**Jean. et al 2003**).

#### **b. la tolérance :**

Correspond aux mécanismes grâce auxquels la plante peut préserver l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus, il s'agit d'une propriété intrinsèque du protoplasme et des organites cellulaires à supporter sans dommages une dessiccation plus ou moins forte.

Elle est très différente selon les groupes taxonomiques.

### **3.5. Les réponses physiologiques au stress :**

Dans un sol dont le potentiel hydrique baisse et devient proche de celui qui provoque la plasmolyse au niveau racinaire, c'est alors que l'eau sortira la racine au lieu d'être absorbée. C'est une situation de stress qui s'annonce et la plante va devoir réagir.

Ce qui va se faire à deux niveaux.

-un phénomène, au niveau membranaire des poils absorbants peut être, va signaler aux cellules de la racine que le potentiel hydrique du sol devient insuffisant. La racine réagit, en émettant un signal secondaire (qui est un messenger interne) sous forme de libération d'acide abscissique, ce messenger interne vraisemblablement véhiculé par le xylème amène une autre réaction au niveau des feuilles, ces dernières ont encore une grande réserve d'eau, menacée par le fait que la transpiration ne sera plus compensée par l'absorption d'eau racinaire.

La réaction va consister en la fermeture des stomates sous l'influence de l'acide abscissique.

La plante va donc ainsi maintenir plus ou moins bien son état hydrique. Ce qui dépendra de l'efficacité du barrage cuticulaire à la transpiration

Le barrage cuticulaire constitue une réaction à long terme, ou une adaptation acquise au cours de l'évolution.

Si le barrage est peu efficace, l'eau va peu à peu fuir, et si le sol demeure à potentiel hydrique trop bas, la plante va en fait s'épuiser et flétrir inévitablement.

Si le barrage est efficace, la plante va garder son eau pendant longtemps, elle va résister.

La plante va garder son eau et donc beaucoup de capacités métaboliques, diminuer son potentiel hydrique foliaire, grâce par exemple à l'hydrolyse de polysaccharides. Ce qui permet l'augmentation de la succion et donc la reprise de l'absorption d'eau au niveau racinaire, si on va jusque là on peut dire qu'il y a récupération (Jean., 2003).

**Tableau 6 : Paramètres phénologique d'adaptation au déficit hydrique. (D'après Monneveux, 1989)**

<b>Paramètres d'adaptation</b>	<b>Exemple</b>
<b>Paramètres phénologique</b>	Précocité
<b>Paramètres macro morphologiques</b>	-extension du système racinaire -port et surfaces des feuilles -taille des chaumes -longueur des barbes
<b>Paramètres morphologiques</b>	-enroulement des feuilles -densité du trichome -glaucescence et couleur des feuilles -présence de cires
<b>Paramètres morphophysiologique</b>	-densité et taille des stomates -composition du mesophylle -épaisseur de la cuticule -nombre et diamètre de vaisseau de xylème racinaire
<b>Paramètres physiologiques</b>	-réduction de la transpiration par fermeture de stomates -maintien d'un potentiel hydrique élevé -osmorégulation (accumulation d'ions minéraux, proline, sucre soluble).

## **Partie IV : La qualité de blé dur .**

### **4.1 .Introduction**

L'amélioration du rendement et de la qualité du blé dur passe par la création variétale et le choix de critères fiables. Parmi ces critères, la stabilité du rendement, la tolérance aux stress hydrique ( **Ait-kaki , 1993** ) , la résistance aux maladies et une bonne qualité technologique restent les plus recherchés ( **Benbelkacem et al , 1998**).

Parmi les critères de qualité , la valeur semoulière d'un blé dur est définie comme l'aptitude à donner un rendement élevé en semoule de pureté déterminée ( **Abecassis, 1991** ) , dépend de plusieurs groupes de facteurs

Les pâtes de semoule de blé dur ne sont pas nécessairement élaborées à partir de grains entiers Par blé dur, on se réfère à une variété de blé et non pas aux procédures de transformation des pâtes.

**De blé dur, à semoule, à pâtes alimentaire...**

Pour la confection des pâtes alimentaires, le blé dur représente la variété la plus utilisée due à sa richesse en protéines (dont le gluten) qui confère aux pâtes des propriétés visco-élastiques. Ainsi, l'utilisation du blé dur, qui est d'abord transformé en semoule, permet aux pâtes alimentaires de mieux résister à la cuisson, de demeurer plus fermes et plus collantes.

### **4.2 . Critères de qualité :**

Le choix de consommateur en base sur plusieurs critères d'où la nécessité de sélectionner des variétés possédant les qualités requises.

*Les ménages* recherchent des semoules pures et de couleur dorée. Cette semoule doit présenter une granulométrie homogène. Quant à la semoule de qualité inférieure, elle est destinée à la fabrication de galettes.

*Le semoulier* recherche des variétés à poids spécifique élevé du fait que les unités de transformation se basent sur ce paramètre pour la trituration.

*Le pastier* recherche des semoules pures et non contaminées par le son, dont la qualité des Protéines soit satisfaisante.

Le blé dur est récolté au stade laiteux, pour la fabrication du "Frik". Les épis sont du 12%. Les grains sont ensuite concassés. Le produit obtenu, très apprécié en Algérie, est utilisé dans les soupes.

Les différentes semoules consommées en Algéri

**Semoule SE** : appelée aussi semoule extra, ses particules sont fines, elle présente une granulométrie dont le refus au tamis 120 est de 90%. Cette semoule est orientée vers la fabrication des pâtes alimentaires industrielles.

**Semoule SGM** : appelée semoule moyenne, elle présente un refus au tamis 100 de 90%. Cette semoule est généralement vendue en l'état pour l'utilisation ménagère (couscous, galette, biscuits, crêpes, etc.) et pour la fabrication du couscous industriel de type moyen.

**Semoule SG** : la semoule grosse doit avoir un refus de 50% au tamis 30 et 40. Cette semoule est destinée essentiellement à la fabrication du couscous type gros. ( **Benbelkacem et al, 1995**).

#### **4.2.1. Aptitude des semoules de blé dur à être transformées en pâtes alimentaires**

Actuellement, il n'existe pas, sur ce plan, de grandes différences entre les blés disponibles sur le marché français, excepté si l'on est en présence de semoules de blé germés qui peuvent entraîner plus de difficultés au séchage.

On peut signaler que la notion de blé dur impastifiable existe notamment pour les semoules qui donneraient un excès de collant à la cuisson sans entraîner comme pour les blés impanifiables une modification du comportement technologique pendant le travail d'élaboration des pâtes.

#### **4.2.2. Aspect de pâte satisfaisant**

On recherche des pâtes de couleur jaune ambrée, de couleur brune minimale, sans piqûres, ni points blancs non gerçés, brillante et de surface lisse.

##### ***a ) Couleur jaune***

L'indice de jaune est assez stable pour une variété donnée.

Le «jaune» est fortement influencé par la richesse en pigments lipidiques de type caroténoïdes, mais le dosage de ces pigments est insuffisant pour préjuger de l'intensité du «jaune» des pâtes alimentaires. En effet, la lipoxygénase présente dans les semoules risque avec l'oxygène éventuellement disponible en cours de fabrication, de provoquer en partie leur décoloration. Les conditions de pastification (empattage, pressage sous vide, conditions de séchage) peuvent donc ralentir ou accélérer ces réactions d'oxydation.

L'incorporation au cours de la mouture de germes dans les semoules entraîne une activité lipoxygénasique plus importante.

### ***b) Couleur brune***

Les facteurs responsables peuvent avoir deux origines principales :

- d'une part, pour une même variété, le brunissement est d'autant plus important que sa teneur en protéines est élevée, un excès d'azote en culture peut donc être préjudiciable. La présence de l'albumine, protéine naturellement colorée apparaîtrait comme un facteur complémentaire.
- d'autre part la présence de polyphénoloxydases exerce une influence très importante sur les réactions de brunissement enzymatiques. La génétique pourrait permettre d'obtenir des variétés à activité polyphénoloxydasique réduite.

L'indice de brun augmente avec le pourcentage d'extraction en semoules jusqu'à un maximum. Des températures élevées en début de séchage réduisent cette activité enzymatique et permettent de diminuer l'indice de brun.

### ***c) Gerçures***

Ce sont des fêlures qui apparaissent en surface et à l'intérieur de la pâte de façon instantanée pendant le séchage ou différée pendant le stockage. Même si la qualité des blés peut intervenir sur ce défaut, ces phénomènes sont le résultat, principalement, des effets des tensions trop fortes provoquées par une mauvaise conduite du séchage, et ayant pour conséquences des cassures à l'emballage et une moins bonne tenue à la cuisson.

### ***d) Aspect de surface***

L'aspect lisse et brillant recherché est principalement lié à la nature des filières des moules de la presse (téflon ou bronze plus ou moins usagé).

### ***e) Bonne qualité des produits crus***

La résistance de la pâte crue à la rupture conditionne son aptitude à ne pas se briser lors des manipulations. Elle est importante pour diminuer les pertes à l'emballage et aussi pour présenter au consommateur des produits entiers.

Cette résistance dépend d'une part des conditions de pastification et de la qualité intrinsèque des blés. On a montré que la solidité des pâtes variait comme leur teneur en protéines (à qualité de gluten sensiblement égale) et que comparativement à un gluten tenace, un gluten filant provoquerait une diminution de résistance.

### 4.3. Marqueurs protéiques

Les différences variétales en terme de qualité sont essentiellement dues au gluten et à ses nombreuses protéines constitutives. Les chercheurs ont pu montrer les relations entre la présence (ou l'absence) d'une protéine de réserve de l'albumen et des caractéristiques technologiques telles que la ténacité, l'extensibilité, la force boulangère ... Les protéines de l'albumen se composent notamment des deux grandes familles des gliadines et des gluténines. Les différentes formes alléliques de ces protéines sont observables et donnent de précieuses indications sur la qualité.

Les marqueurs protéiques sont observés suite à une électrophorèse des protéines. Cette méthode vise à séparer les protéines les unes des autres en les faisant migrer sur un support neutre dans un champ électrique.

L'analyse peut être réalisée à partir d'un seul grain. Afin de sélectionner des variétés de blé tendre adaptées aux besoins de la panification, l'électrophorèse des protéines de réserve du grain, les gluténines et les gliadines permettent de prévoir en partie la qualité boulangère. En fait, ces marqueurs présentent une très forte variabilité génétique et interviennent dans un grand nombre de critères technologiques.

Jusqu'ici seules les gluténines de haut poids moléculaire étaient analysées par les sélectionneurs et les résultats n'expliquaient que 20 à 30 % du W. Grâce aux progrès de l'électrophorèse des protéines, les sélectionneurs vont également pouvoir accéder aux gluténines de faible poids moléculaire qui révéleront encore davantage les caractéristiques de la pâte (force, ténacité, extensibilité ...).

L'observation de ces deux types de gluténines (de haut et de faible poids moléculaire) va permettre de sélectionner plus facilement des variétés de blé adaptées à la panification ou à la biscuiterie

L'analyse des marqueurs protéiques est utilisée pour choisir les parents de croisements : il s'agit d'augmenter la probabilité de combiner dans une descendance un maximum de marqueurs de qualité. Cette même analyse permet ensuite d'observer la descendance et de détecter les génotypes les plus prometteurs.

En blé dur, il y existe un exemple de marqueurs de qualité technologique notifié depuis deux ans . Il s'agit de la présence du marqueur LMW2 ou LMW1, identifié au moyen d'une électrophorèse des protéines. La présence du marqueur LMW2 est un gage de qualité pour l'industrie des pâtes. La présence du marqueur LMW1 au contraire indique un risque ; la

variété porteuse de ce marqueur risque de ne pas être adaptée au procédé de fabrication des pâtes.

La diversité des protéines de réserve a été aussi associée à la qualité du blé dur (*Triticum durum* desf ). Les  $\gamma$ -gliadines 42 et 45, allèles du locus *Gli-B1* ont été reliées respectivement à la faible et forte recouvrance viscoélastique du gluten de blé dur . En fait, ces types 42 et 45 des  $\gamma$ -gliadines sont génétiquement liés aux deux formes alléliques du locus *Glu-B3* nommées respectivement LMW1 et LMW2. Ce sont ces SG-FPM qui sont fonctionnellement impliquées dans les différences génétiques de la qualité du blé dur. L'influence de la diversité des SG-HPM du blé dur sur la qualité pastière est nettement moins importante que celle du blé tendre sur la qualité boulangère. Il existe néanmoins plusieurs formes alléliques des SG-HPM du blé dur qui ont été associées aux propriétés des pâtes

## **Chapitre II : Utilisation de quelques marqueurs physiologiques et biochimiques dans l'expression de tolérance au stress hydrique chez 10 génotypes de blé dur (*Triticum Durum* DESF)**

### **Résumé**

Ne pouvant lutter ou édifier une stratégie contre les facteurs incontournables de l'environnement, l'homme a essayé de domestiquer des plantes qui ont pu progressivement s'adapter aux contraintes imposées. Parmi les voies préconisées, la gestion rationnelle des ressources naturelles, notamment hydriques, figurent parmi les plus privilégiées.

L'exploration des mécanismes physiologiques d'adaptation au déficit hydrique chez les céréales permet d'en sélectionner quelques uns pour enfin les introduire dans un programme national d'intensification. A cet effet, dix génotypes de blé dur ont fait l'objet d'étude au plan physiologique, biochimique, histologique ainsi que sur le plan de la vigueur et la viabilité des semences.

Les résultats montrent que l'essai topographique au Tétrazolium semble accorder une plus grande vigueur chez les génotypes 1,3, et 4. L'étude histologique met en valeur les variétés 1,4,5,9,10 qui montrent une bonne présentation de tous les tissus et ce, sous conditions de stress hydrique. Les osmoprotecteurs tels que la proline et les sucres solubles augmentent avec le stress, démontrant ainsi leur rôle de tolérance ou forme adaptative. La turgescence enfin, montre que V1 et V8 sont plus efficaces à gérer l'échange hydrique foliaire.

**Mots clés :** *Blé dur- déficit hydrique- adaptation- physiologie- génétique*

## 2.1. Introduction :

L'Algérie importe actuellement jusqu'à 3,5 x 10<sup>6</sup>T de blé dur, le rendement grain national de cette culture est le plus faible du bassin méditerranéen (**Belaid , 2000**) et (**Ait kaki , 2007**) . La majeure partie des emblavures se trouve localisée sur les hautes plaines caractérisées par l'altitude, des hivers froids, un régime pluviométrique insuffisant et irrégulier. La pluviométrie et les températures sont sujettes à de grandes variations intra et inter-annuelles, qui affectent sérieusement les rendements (**Ait Kaki,2008 ; Adda , 2006**) et (**Bouzerzour H, et al .,2002**)

Dans les zones arides et semi-arides, une grande hétérogénéité des formes de sécheresse sont rencontrées (**Annerose, 1991**) et (**Adda, 2005**) . La seule observation des variations pluriannuelles des rendements observés chez l'espèce ne permet pas de déterminer précisément les formes de réactions qu'elle développe.

L'analyse doit alors être complétée par une meilleure compréhension des mécanismes de fonctionnement de la plante ; dans le but de déterminer les Mécanismes physiologiques et morphologiques d'adaptation à la sécheresse (**Levitt, 1960**) , (**Hsiao, 1973**) et (**Levitt , 1980**) . Cette adaptation variétale s'exprime selon (**Demarly ,1984**);comme une réponse à la contrainte imposée par une succession de modifications au niveau cellulaire, subcellulaire et moléculaire qui sont dépendants des potentialités génétiques.

D'après le Tetrazolium Testing Committee ( **Benbelkacem , 1984**) , beaucoup de graines sont ni complètement viables ni complètement mortes, cette méthode est utilisée aujourd'hui à travers le monde comme une méthode très vivement recommandée pour estimer la viabilité des graines (**Copeland . 1976**) et (**Chaker , 2003**).

La transgressivité de certains caractères intéressants les traits de tolérance au stress hydrique notamment ont été rapportés par (**Brinis ,1995**). ou certains géotypes ont des réponses spécifiques à l'égard du stress hydrique par une adaptation ou une accommodation transitoire exprimé à travers un trait morphophysiologique ( **Morsli et Brinis , 2010**) et (**Arnon,1949**) . **Desclaux et Porier , 2004** ; montrent qu'il est possible de mettre le milieu de son côté en localisant et en intensifiant les céréales dans les seules régions où les potentialités sont vite valorisées .

Selon (**Turner,1997**) , l'objectif principal reste l'évaluation du type idéal ( ideotype) et constitue une voie d'approche rigoureuse pour une meilleure productivité dans les des conditions environnementales spécifiques .

A ce titre, l'analyse prédictive, celle qui consiste à fournir une explication ultime du rendement obtenu, reste une voie privilégiée, elle a comme objectif de traduire les réponses

physiologiques et biochimiques en termes de niveaux d'adaptation vis-à-vis du stress hydrique. De même, l'évaluation des altérations possibles des semences grâce au test Tetrazolium est un autre objectif non moins négligeable, dès lors qu'il permet de quantifier la vigueur des semences.

## 2.2. Matériel et méthodes :

### 2.2.1. L'objectif expérimental :

Le but de ce travail est la détermination de viabilités et de vigueur des semences de dix variétés de blé dur ; par un essai topographique au tétrazolium, avec la réponse physiologique ( RWC ) et biochimique (la répartition des sucres solubles et l'accumulation de proline ) de ces variétés sous un stress hydrique.

### 2.2.2. Matériel végétal : L'étude a porté sur 10 variétés de blé dur (triticum durum )

Variétés d'origine diverse, (Tab. 7).

**Tableau 7** : caractéristiques variétales.

Variétés	Caractéristiques
V <sub>1</sub> : waha	Haute productivité –semi-naine
V <sub>2</sub> : Gta/Dur	Haute productivité – bonne qualité
V <sub>3</sub> : Stk / Haul / Heca-1	Crois.mexicain –bonne qualité
V <sub>4</sub> : Ammar-8	Lignée avancée intensive
V <sub>5</sub> : Msbi-1 / Quarmal	Semi- naine-productive
V <sub>6</sub> : Azeghar-1/6/Zna-1/5 /Awl 1/4/ Ruff//jo/Cr/3/F9 .3	Croisement I CARDA—Bonne adaptation
V <sub>7</sub> : Ville mur/3/Lahn //Gs /Stk /4/Dra2/ Bcr/ 5/Bcr/Lks4 /4/	Lignée avancée –Crois.ICARDA-Cimmyt
V <sub>8</sub> :Gsb/1/4/D68-1-93A 1A/RuFF/Fg/3/Mtl5/5/Wdz6/Gi/4	Var.CIMMYT –Adaptée.
V <sub>9</sub> : Lahaucan	Adaptée au stress hydrique
V <sub>10</sub> : Da- 6 Black awns/3/Bcr//Memo/God	Bonne production-Bonne adaptation

## 2.3. Méthode expérimentale :

### 2.3.1. Installation de l'essai :

Les essais ont été réalisés à l'université de Badji Mokhtar (Annaba), département de biologie ; laboratoire de biotechnologie végétale et de physiologie végétale.

Le semis est réalisé en 18-03-2009 sous serre dans des pots en plastiques pour les dix variétés selon un dispositif aléatoire complet .

Ce dispositif comprenant deux traitements :

-sans stress hydrique T<sub>0</sub>

-avec un stress prononcé T<sub>1</sub>

Trois répétitions par traitements à raison de dix grains par variétés.

**2.3.2. Conduite de premier essai :** Les 60 pots (6 pour chaque variété) ont été remplis d'un mélange composé de sable, terreau et de gravier dont les proportions les suivantes : 1-2-1 respectivement.

Avant le semis un arrosage a été effectué à fin d'obtenir une humidité homogène dans tous les pots.

Le semis a été établi selon deux régimes hydriques.

-le premier régime : un arrosage de jour par jour à raison de 250ml/pots. Est appliqué du semis jusqu'au stade de 4-5 feuilles pour toutes les plantes.

- le deuxième régime : pour un stress prononcé est de 50ml



**Figure 9 :** dispositif expérimental

### **2.3.3. Conduite de deuxième l'essai :**

Les 60 pots (6 pots pour chaque variété) ont été remplis d'un mélange de sable et de terreau. Les graines choisies sont mises à germer dans des boites de pétri sur du coton imbibé d'eau, après 24h de germination les graines ont été semées à une profondeur de 4 cm pour toutes les variétés



*Installation de l'essai*

*le semis*

*Stade 5 feuilles*

**Figure 10:** conduite de l'essai

Après le semis un arrosage a été effectué afin d'obtenir une humidité homogène dans tous les pots.

**Le système d'arrosage a été établi comme suit :**

L'arrosage a été effectué 3 fois par semaine avec une dose de 200 ml/pot jusqu'au stade de cinq feuilles pour tous les pots.

L'arrosage a été ensuite réduit à 50 ml/pot pour les variétés stressées (T2). La dose initiale de 200 ml/pots a été maintenue pour les variétés témoins (T0).

## 2.4. Les tests à faire :

### 2.4.1 Essai topographique au tétrazolium (TZ) :

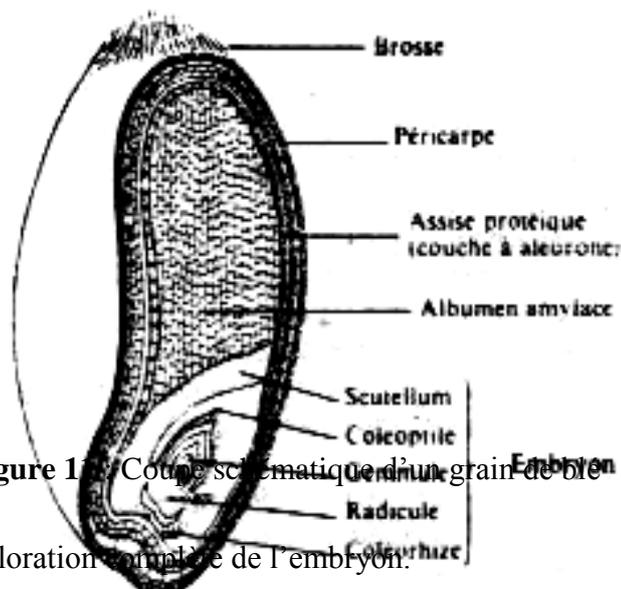
Cette expérience utilisée pour connaître la viabilité des semences et la vigueur des embryons, elle est appliquée sur plusieurs espèces cultivées comme essai de germination.

**Test de Tétrazolium** (Le chlorure de triphenyl -tétrazolium ) est réduit par les systèmes oxydasiques des tissus végétaux vivants en passant d'une solution incolore à un composé rouge de formazan, insolubles dans l'eau qui précipite dans les cellules vivantes, tandis que dans les tissus morts ou aucune réaction ne se produit restent incolores.

Le test de tétrazolium développé en Allemagne, dans les années quarante par le professeur GEORG LAKOR, dans le but de distinguer entre les semences vivantes de celles qui sont mortes, est utilisé aujourd'hui à travers le monde comme une méthode très vivement recommandée pour estimer la viabilité des graines et est devenu en test de routine dans plusieurs laboratoires de semences (**Copeland, 1972**)

Les graines de blé colorées sont séparées en deux groupes : celles qui germent et celles qui ne germent pas.

La graine est considérée comme viable (elle germe) lorsque nous sommes en présence d'un des cas suivants (**figure 11**) .



- ✓ Coloration normale de l'embryon.
- ✓ Parties inférieures du scutellum non colorées.
- ✓ Radicule non colorée.
- ✓ Parties inférieures du scutellum et radicule non colorées.

D'après le Tetrazolium Testing Committee (1970), beaucoup de graines sont ni complètement viables ni complètement mortes du fait que le blé possède dans l'embryon de la graine des méristèmes initiaux des deux paires de racines séminales. Ces dernières se développent et produisent une plantule normale même si la radicule, elle, ne se développe pas.

Le TZ- test ne distingue pas les graines dormantes et celles qui ne le sont pas, c'est pourquoi le taux de graines qui germent calculé à partir du TZ- test est toujours supérieur à celui qu'on obtient par le test de germination qui lui ne prend pas en compte les graines dormantes qui sont considérées, en conséquent, comme non viables.

Le pourcentage du TZ- test est le pourcentage de germination (potentiel germinatif) attendu quand le lot de semences est mis à germer sous des conditions très favorables (Tetrazolium Testing Committee, 1970 in Chaker 2003).



PLATE II - Wheat

**Upper left**

All seeds germinable. Embryos completely stained.

**Upper right**

First seed — Germinable. Embryo completely stained.

Second seed — Germinable. Radicle and lower part of scutellum unstained.

Third seed — Non-germinable. Radicle, lower part of scutellum and seminal root area unstained.

Fourth seed — Germinable. Radicle unstained.

**Lower left**

All seeds non-germinable. Radicles and plumules unstained.

2

**Lower right**

First seed — Non-germinable. Embryo entirely unstained.

its

Second seed — Non-germinable. Embryo nearly all unstained.

Third seed — Non-germinable. Embryonic axis unstained.

its

Fourth seed — Non-germinable. Radicle and seminal root area unstained.

m

-Immerger les embryons dans une solution de tetrazolium a l'obscurite a 30 °C.

-Laver rapidement à l'eau et exactement sous la loupe.

## 2.5. Analyse biochimique

### 2.5.1. Dosage des sucres solubles :

La méthode utilisée pour le dosage des sucres solubles est celle de (**Schiels et Burnett,1960**), qui utilise l'anthrone en milieu sulfurique.

Le principe de cette méthode repose la condensation des produits de dégradation des sucres neutres. L'acide sulfurique concentré transforme à chaud les glucides en dérivés sulfuriques : les hexoses produisent des dérivés qui donnent avec l'anthrone une coloration verte présentant un maximum d'absorption à 585 nm.

#### **a- Extraction des échantillons :**

L'extraction des sucres solubles est faite à froid, en mettant le végétal (prélevé dans le tiers médian de la feuille) 100mg de matière fraîche dans des tubes à essai auxquels sont ajoutés 3ml d'alcool (éthanol à 80%) pendant 48h. La solution ensuite passe au rotavapeur (ou bien au bain marie à 70°C pendant 30minutes). Une fois l'alcool évaporé, on ajoute 20ml d'eau distillée dans la totalité de l'extrait.

Le réactif à l'anthrone doit être préparé 4heures à l'avance, en mélangeant 0.2gr d'anthrone dans 100ml d'acide sulfurique, et conservé dans un flacon sombre.

Les échantillons biologiques et les séries standard de la gamme d'étalonnage sont dosés parallèlement.

#### **b- Réalisation du courbe étalon :**

La gamme d'étalonnage est réalisée en utilisant une solution mère de glucose à 50µg/ml d'éthanol à 80%. Dans des tubes à essai numérotés de 1à10, on dépose respectivement 1à10ml de la solution mère de glucose et on ajuste à 10 ml d'éthanol à 80%.

A partir de chacun de ses tubes, on prélève 2ml de solution que l'on place dans d'autres tubes à essai, numérotés de 1à10 ; ces derniers contiennent donc des quantités croissantes de glucose (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100µg).

#### **c- Dosage :**

Quatre millilitres du réactif à l'anthrone sont ajoutés à 2ml de la solution à analyser (extraits et étalons). Les tubes à essai sont maintenus pendant cette opération dans un bain de glace (réaction exothermique) ; Après agitation avec une tige de verre, ces tubes sont ensuite placés dans un bain-marie à 92°C) pendant 8mn ; la solution vire alors légèrement au bleu vert. Pour l'arrêt de cette réaction, les tubes sont refroidis dans un bain de glace.

Après repos à l'obscurité pendant 30 minutes, la lecture est faite au spectrophotomètre réglé préalablement au zéro avec un blanc de gamme (2ml d'éthanol à 80% + 4ml du réactif). Les valeurs obtenues sont reportées sur la gamme étalon.

#### **2.5.2. Dosage de la proline :**

La méthode utilisée pour doser la proline est celle de (**Troll et Lindsley,1955**) modifiée par

(Dreier et Goring ,1974), et ensuite par ( Monneveux et Nemmar, 1983).

**a. Extraction des échantillons :**

100mg des échantillons biologiques des séries témoins et traités, prélevés dans le tiers médian de la feuille, sont placés dans des tubes à essai. 2ml de méthanol à 40% sont ajoutés aux 100mg des échantillons. Le tout est chauffé au bain-marie à 85°C pendant une heure. Les tubes sont recouverts de papier d'aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool.

**b. Réalisation de la courbe étalon :**

Une solution mère de proline est préparée à une concentration de 20µg/ml de méthanol à 40%. Dans des tubes à essai numérotés de 1à10, on prélève respectivement 1à10ml de la solution étalon, puis on ajuste à 10ml avec du méthanol à 40%.

Un volume de 1ml est ensuite prélevé de chaque tube, puis déposé dans une autre série de tubes numérotés de 1à10 et qui correspondent respectivement à des quantités croissantes de proline(2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20µg).

**c. Dosage :**

Aux volumes de 1ml, prélevés des extraits et des tubes étalons, sont ajoutés 1ml d'acide acétique et 1ml de réactif (120ml d'eau distillée + 30ml d'acide acétique + 80ml d'acide orthophosphorique) +25mg de ninhydrine par tube. Le tout est porté à ébullition à 100°C pendant 30 minutes. La solution vire au rouge, on refroidit (un quart d'heure)et on ajoute 5ml de toluène : deux phases se séparent, la phase supérieure qui contient la proline est colorée en rouge et la phase inférieure sans proline reste transparente.

Après avoir récupéré la phase supérieure, on ajoute du sulfate de sodium, à l'aide d'une spatule, pour éliminer l'eau qu'elle contient.

La lecture des densités optiques des échantillons (extraits et étalons) se fait à une longueur d'onde de 528nm.

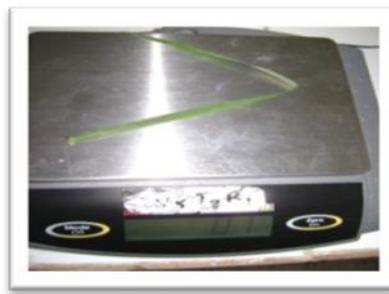
Le zéro du spectrophotomètre est réglé grâce au blanc de gamme, composé de 1ml de méthanol à 40% + 1ml d'acide acétique + 1ml du mélange modifié + 25mg de ninhydrine.

La quantification se fait d'après l'équation de la courbe d'étalonnage.

**2.6. Paramètres physiologiques :**

**2.6.1. Teneur relative en eau (RWC) :**

- Les feuilles sont coupées puis pesées (poids de la matière fraîche)



- Ensuite L'extrémité coupées est placée dans l'eau distillée et à l'obscurité pendant 6 heures pour obtenir le taux de réhydratation maximum.



- Les feuilles sont de nouvelles pesées (poids à la turgescence).
- Les feuilles sont ensuite mises à sécher à l'étuve à 85°C pendant 24 heures et pesées (poids de la matière sèche).



- La teneur relative en eau ou la turgescence foliaire est une caractéristique génotypique qui est liée à la capacité de la plante à maintenir un niveau d'eau dans la feuille qui soit à même de garantir la continuité de l'activité métabolique dont, entre autre, la photosynthèse. (**Auraus *et al* ; 1991**) in (**Bouzerzour *et al* ; 1998**)

La teneur relative en eau a été mesurée à partir de la méthode de (Barrs, 1968) utilisé ainsi par (Clarck et Mccaig ,1922).

$$\text{RWC} = (\text{p}_f - \text{p}_s) / (\text{p}_t - \text{p}_s) \cdot 100$$

-Pf = poids frais

-Ps = poids sec

-Pt = poids à la turgescence

## 2.7. Histologie

Etude histologique de l'ultra structure cellulaire :

Nous avons utilisé comme technique histologique ; la technique de la double coloration vitale (double coloration des parois). Cette dernière a été réalisée sur des feuilles de blé dur selon les étapes suivantes :

### ➤ Réalisation des coupes :

- Les feuilles du blé dur (témoins et stressées) sont sélectionnées de façon à obtenir des coupes transversales à l'aide d'une lame neuve.
- Les sélections transversales doivent être fines et parallèles au plan de coupe.

### ➤ Coloration des parois :

- Les coupes réalisées sont immédiatement prolongées dans des différentes solutions :
  - Eau de javel du commerce pendant 15 min afin de vider les cellules de leur contenu cytoplasmique.
  - Acide acétique pendant 1 min pour neutraliser l'excès d'eau de javel.
  - NaOH pendant 1 min.
  - Vert de méthyle pendant 10 min pour colorer les parois lignifiées en vert.
  - Rouge Congo pendant 15 min pour colorer les parois cellulosesiques en rose.

### ➤ Montage entre lame et lamelle

## 2.8. Résultats

### 2.8.1. Test de tétrazolium

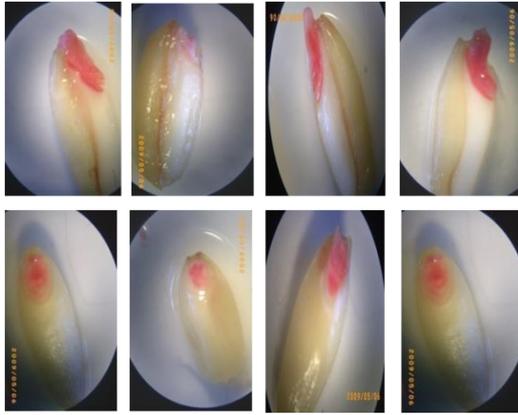
Les résultats obtenus montrent que d'une manière générale, les variétés 6, 7, présentent une très grande viabilité et également une forte vigueur (Fig.11) .

Ceci est exprimé grâce aux parties embryonnaires respectives qui ont une forte coloration rouge vive, dénotant ainsi l'aptitude des graines à exprimer les facultés germinatives.

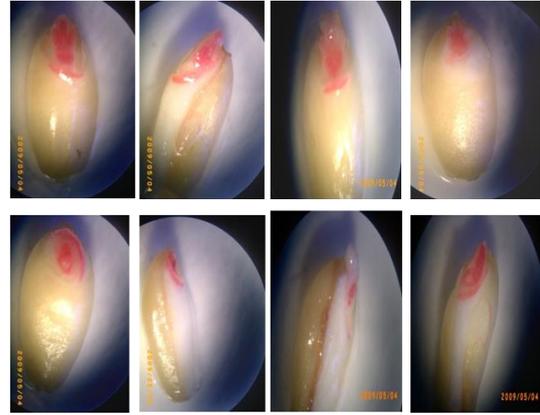
Pour les variétés 1, 3,4 elles ont affiché une vigueur moindre que celle des autres variétés ; ceci est vérifié notamment par quelques coléoptiles incapables de répondre à la respiration des tissus (Fig.12).

Pour la variété 5 le test TZ montre que la vigueur est très faible, voire médiocre.

Les variétés 8, 9, 10,2, répondent de manière assez négatives au TZ, la coloration topographique des tissus embryonnaires est sporadique quand elle n'est pas nulle. Ces variétés peuvent être donc considérés comme des variétés à faible pouvoir germinatif et n'ayant surtout aucune vigueur (Fig.13)

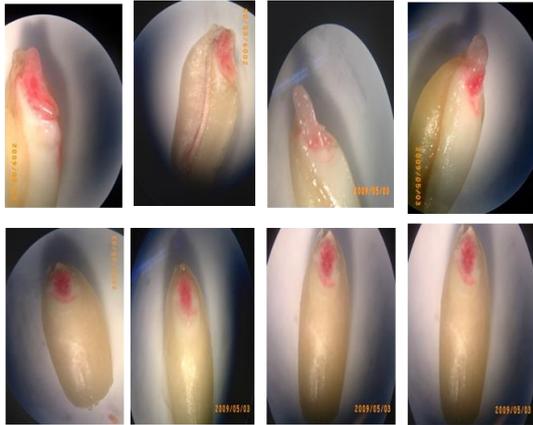


**V6**: Azeghar-1/6/Zna-1/5Awal1/4/Ruff//Jo/Cr/3/F9.

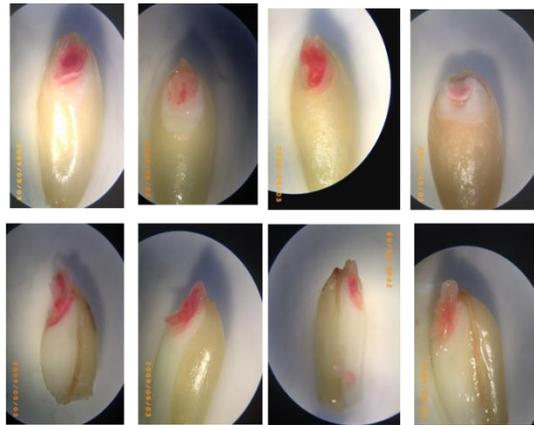


**V7**: Villemur/3/Lahn//Gs/Stk/Dra2/Bcr/5/Lks4 /4/...

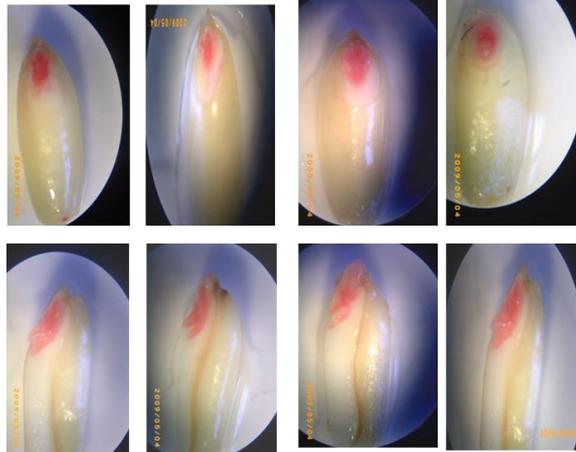
**Figure 13.** Les variétés les plus vigoureuses



**V1: Waha**

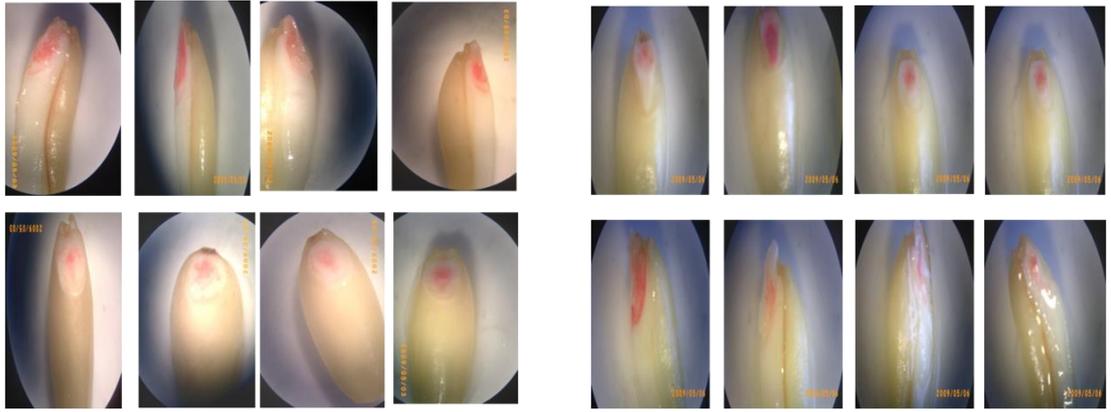


**V3: Stk/Hau/Heca-1**



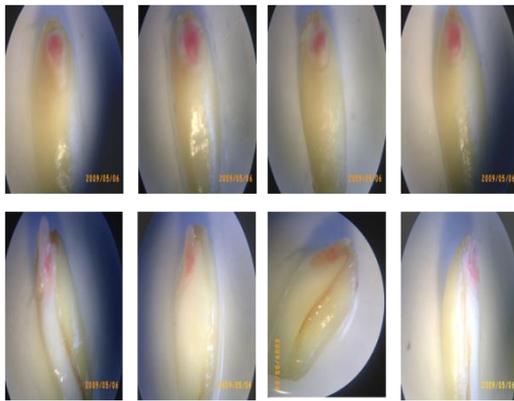
**V4: Ammar-8**

**Figure 14.** Les variétés viables et moyennement vigoureuses .

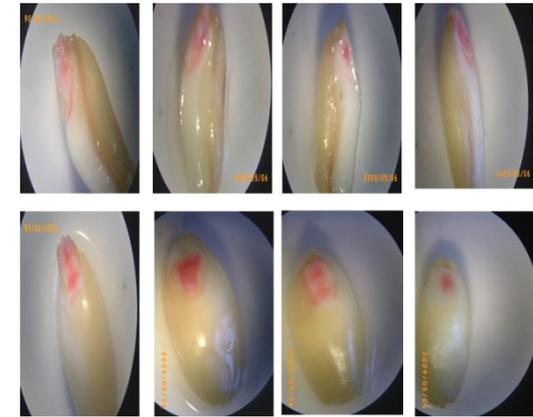


**V2 : Gta/dur**

**V10: Da-6Blackawns/3/Bcr//Memo/Goo**



**V9: Lahaucan    V 8: Gsb1/4/D68-1-93A-1A//Fg/3/Mtl5/5/Wdz6/Gil4**



**V5 : Msb1-1/Quarmal**

**Figure 15 : Les variétés viables mais non vigoureuses**

**2.8.2. Histologie** Des coupes histologiques ont été réalisées au niveau des feuilles de blé dur , à la partie médiane (au stade de 5 à 6 feuilles). Ces coupes représentent différents étapes de stress par rapport au témoin et dont 10 variétés de blé dur ont servi à l'étude.

**a. Les témoins**

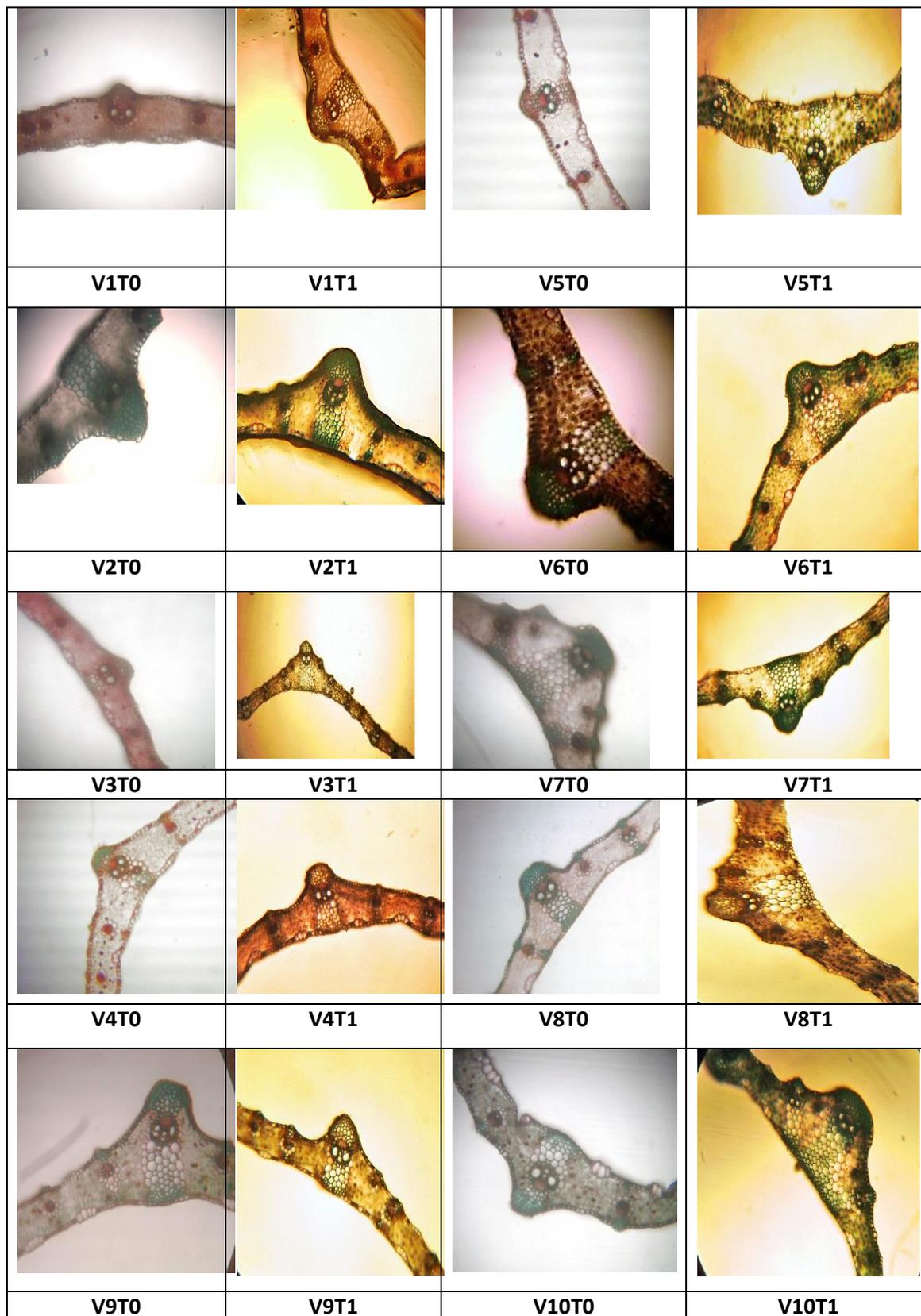
De manière générale, le témoin qui est représenté par les photos (V1T0), (V2T0), (V3T0), (V4T0), (V5T0), (V6T0), (V7T0), (V8T0), (V9T0), (V10T0) dans la figure 4 montre une similitude, sachant que ces feuilles n'ont subi aucun stress et donc montrent une structure histologique normale d'une feuille de monocotylédones à savoir :

- Un épiderme supérieur : (tissu protecteur) bien différencié formé par une assise de cellules rectangulaires de petites tailles. On note aussi la présence d'une cuticule plus au moins épaisse.
- Un parenchyme : homogène, appelé mésophile, qui est formé par un parenchyme assimilateur (photosynthèse) et un parenchyme à paroi épaissies (réserves).
- Un système vasculaire : (tissu conducteur) qui correspond aux nervures, composé de Xylème primaire vers l'épiderme inférieur et du phloème primaires vers l'épiderme supérieur, on note alors la superposition de ces faisceaux libro-vasculaires (FLL)
- Un sclérenchyme : (tissu de soutien) coiffant et protégeant les tissus conducteurs, formé par des cellules mortes dont les parois sont épaissies par la lignine (en fer de cheval)
- Un collenchyme : (tissu de soutien) présent parfois chez certaines coupes (variété 4 et variété 5), qui est représenté par des cellules arrondies, accolées au phloème.
- Un épiderme inférieur : où on note la présence de stomates.
- Les nervures sont latérales et parallèles.

**b .Les stressés**

- Les variétés 1, 4, 5, 9, 10 : montrent une bonne présentation de tous les tissus, et ne semblent pas être affectés par le stress, nous pouvons donc les assimiler à des variétés tolérantes, et qui peuvent se maintenir et terminer leur cycle de développement jusqu'à la maturité au champ.
- Les variétés 2,3 : les FLL sont moins développés, mais montrent aussi un nombre élevé de faisceau libéro-ligneux on peut dire que sont des variétés qui peuvent monter des potentialités d'adaptations selon le stress appliqué
- Les variétés 6, 7 : montrent que les FLL sont moins différenciés.

- La variété 8 : la variété montre des adaptations par rapport au stress modéré (le nombre de FLL a augmenté).



**Figure 16 :** Coupes transversales des feuilles de blé dur du témoin (grossissement x10)

### 2.8.3 Dosage des sucres solubles

L'analyse des sucres solubles révèle que d'une manière générale les traitements stressés ont une quantité plus importante de sucres solubles ; en fait, les sucres solubles sont considérés comme étant des osmoprotecteurs, des indicateurs biochimiques de tolérance au stress hydrique.

Les variétés ayant accumulé des teneurs élevées en sucres sont supposées être celles qui résistent le mieux au stress (Fig. 17).

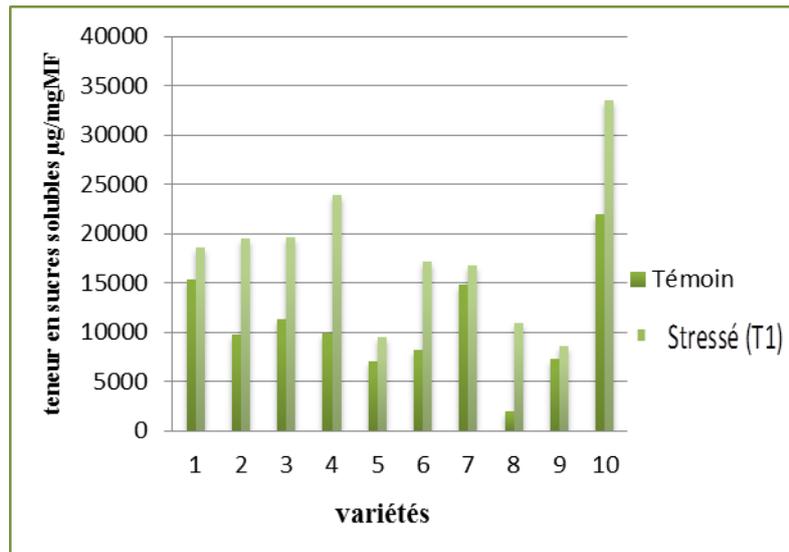
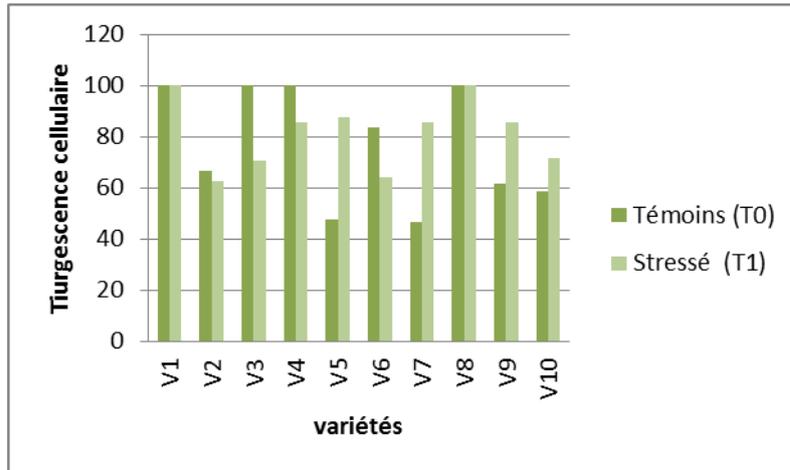


Figure 17 : Evolution de la teneur en sucres solubles en fonction des niveaux de stress

### 2.8.4 Turgescence cellulaire

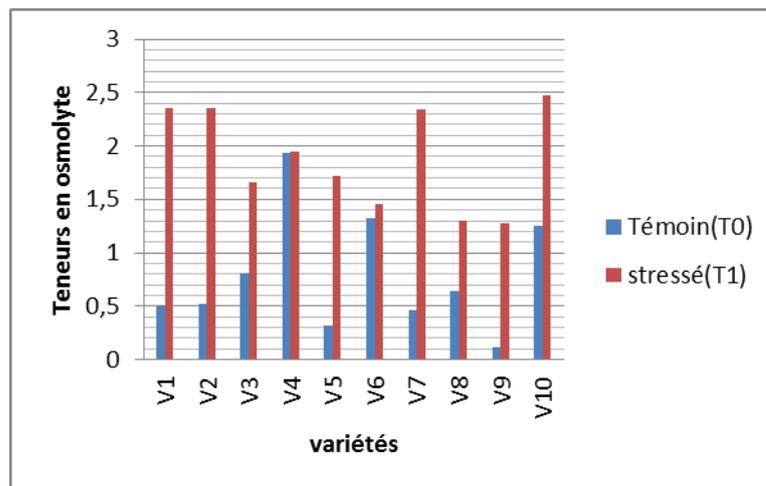
- Les résultats obtenus montrent que les variétés V<sub>1</sub> et V<sub>8</sub> qui ont une RWC = 100 % sont des variétés tolérantes au stress hydrique.
- Par contre les variétés V<sub>4</sub>, V<sub>5</sub>, V<sub>7</sub>, V<sub>9</sub> qui ont une RWC plus élevée que les autres semblent être les plus prometteuses, quant à une adaptation possible au stress.



**Figure 18 :** Turgescence cellulaire des dix variétés en fonction des niveaux de stress (exprimés en %)

### 2.8.5 Teneurs en osmolytes : accumulation de proline

Tous les génotypes ont réagi positivement en accumulant de la proline



**Figure 19 :** Evolution de l'accumulation de la proline en fonction des niveaux de stress

## 8.6. Résultats de l'analyse de la variance ANOVA et Test (Student - Newman Keuls)

Les résultats des marqueurs physiologiques et biochimiques obtenus ont été analysés par l'analyse de la variance ANOVA (Tab8) pour comparer le comportement de chaque variété au niveau des traitements par variable.

**Tableau 8** : Résultats de l'analyse de la variance des comparaisons entre les variétés par traitement et par variable.

\* : significatif au seuil de 5%.

\*\* : Hautement significatif au seuil de 1 %

		Traitements		
		T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	
<b>Variables</b>	<b>Proline</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	2,564	2,267
		<b>P</b>	0,038*	0,061 <sup>ns</sup>
	<b>Sucre soluble</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	628,317	1704,590
		<b>P</b>	0,0001***	0,0001***
	<b>RWC</b>	<b>F<sub>obs</sub></b>	4,004	1,527
		<b>P</b>	0,005**	0,205 <sup>ns</sup>

\*\*\*: Très hautement significatif au seuil de 1 %  
ns : Non significatif.

## 2.9. Interprétation statistique/

### 2.9.1 Sucres solubles

**T<sub>0</sub>** : sans déficit hydrique :

Le test est très hautement significatif

(P 0.001) et le classement très hétérogène des variétés selon le test Newman et Keuls n'est en fait qu'une confirmation supplémentaire de cette réponse.

**T<sub>1</sub>** : avec déficit hydrique :

la réponse au stress hydrique est très hautement significative. Le classement en groupes homogènes reste très diversifié. Les sucres solubles, admis comme étant un excellent marqueur de tolérance au stress, témoignent des mécanismes génétiques endogènes à chacun des génotypes.

### 2.9.2. Turgescence cellulaire

**T<sub>0</sub>** : sans déficit hydrique : l'essai est significatif au seuil de 0.005 et le classement par groupe homogène montre à l'exception de la variété Da-6 black awns/b/ ber dans un premier groupe (A)

Dans un même regroupement. Un second groupe apparaît et subdivise l'ensemble du germoplasme en deux catégories, l'une avec les variétés Skh/ Hau-heca.1, Waha, Gsbl/ d68-193-a-a1 et Ammar-8 et l'autre, le reste des génotypes, à savoir Gta dur, Msbl.1/ourmal, Azeghar1/6Zan-1/5, Vilmur/3/Lahn//gs, Lahaucan et Da-6black awns/b/ber.

**T1** : avec déficit hydrique : le test est très hautement significatif. Il y a eu effet stress hydrique sur les réponses respectives des différents génotypes. L'accommodation physiologique grâce à ce mécanisme par lequel la plante arrive à manifester une certaine plasticité membranaire pour éviter la plasmolyse, peut être retenue comme un trait d'adaptation et de ce fait, en termes de tests indirects, peut constituer un outil prédictif très intéressant dans la sélection précoce.

### **2.9.3 Accumulation de proline**

**T0** - sans déficit hydrique

L'analyse statistique montre qu'il y a un effet significatif ; ce qui prouve qu'il y a une réponse variétale spécifique même en absence de stress.

Dans les conditions optimales de culture (sans déficit hydrique), les 10 génotypes réagissent différemment eu égard à l'accumulation de proline.

Le classement des génotypes en groupes homogènes fait ressortir un premier groupe (A) où seule la variété Lahuacan ne figure pas ; un deuxième groupe (B) où seule la variété Ammar 8 n'est pas incluse.

**T1** : avec déficit hydrique

Lorsque le stress est imposé, l'effet est très hautement significatif. Les réponses génotypiques sont très spécifiques d'une variété à une autre. Ce résultat est conforté par le test de Newman et Keuls où il ressort une très grande hétérogénéité au niveau du classement par groupe homogène. Ceci est quelque peu attendu au regard de l'aptitude génotypique de chaque variété. L'origine du germoplasme semble aussi être une des explications de cette réponse.

## 2.10. Conclusion

A la lumière des résultats obtenus, se dégagent un certain nombre de points à même de constituer une explication globale des mécanismes physiologiques, histologiques et biochimiques exploités.

En effet, la présente contribution traite de tests indirects, appelés aussi tests prédictifs, effectués au stade juvénile de la plante. L'élaboration d'un rendement final en grains, sous contrainte hydrique peut à juste titre être considérée comme étant d'abord le résultat de manifestations physiologiques et biochimiques, traduit en termes de réflexes ou d'accommodations transitoires, temporaires. Parmi ces réponses, la turgescence cellulaire pour les variétés V1 et V8 semble être un trait déterminant dans la sélection de génotypes développant une aptitude à une gestion et utilisation plus efficace de l'eau.

L'osmoprotection, est un autre trait pour lequel beaucoup de chercheurs sont unanimes quant à sa participation dans la tolérance de génotypes. La diversité des réponses, même si au fond, la protéolyse débouche nécessairement vers une accumulation de solutés tels la proline et les sucres solubles, prouve que les génotypes réagissent différemment selon leur origine génétique.

L'étude histologique fait ressortir que sous conditions de stress hydrique, cinq génotypes (1, 4, 5, 9 et 10) ont tout de même manifesté une résistance membranaire grâce à une bonne présentation de tous les tissus impliquant une absence d'altération.

Un autre volet, celui de l'exploration topographique au tétrazolium, a permis d'identifier les génotypes dont les semences sont vigoureuses physiologiquement. Il s'agit des variétés 1, 3, et 4.

Ces différents tests viennent ainsi fournir des explications présentées souvent comme un préalable à une meilleure connaissance du végétal.

L'ensemble des résultats montre qu'il y a effectivement une autre voie de sélection, non moins complémentaire à la sélection classique. Il s'agit de regrouper les différentes réponses des génotypes étudiés et d'identifier des marqueurs physiologiques et biochimiques d'adaptation au stress hydrique. Ce travail nous aura permis d'aller dans les détails et de comprendre le fonctionnement des génotypes sous contrainte hydrique. A partir de là, ces marqueurs peuvent enfin être utilisés et incorporés dans le cadre d'un programme d'amélioration génétique des céréales.

### **Chapitre III : Etude du comportement de variétés de blé dur introduites dans différentes zone agro-climatiques d'Algérie.**

#### **Résumé :**

Les céréales occupent, à l'échelle mondiale, une place primordiale dans les programmes de recherche agricole. En Algérie, cette place est d'autant plus importante que le pays veut atteindre une production stable de céréales, en particulier blé dur et blé tendre. Toutefois, la céréaliculture algérienne reste très dépendante des conditions climatiques et est soumise à des sécheresses très fréquentes. De très nombreux travaux se sont intéressés à l'étude de la production des céréales en conditions de déficit hydrique. Ils ont montré que les céréales présentent des mécanismes de résistance aux contraintes environnementales favorisant leur croissance, leur développement et leur rendement en grains. Le présent travail s'intéresse à l'étude de quelques mécanismes de résistance à la sécheresse qui semblent les plus importants dans la production des céréales en Algérie. La connaissance de la variabilité intra spécifique que les plantes manifestent pour la tolérance au stress hydrique, permet d'envisager la sélection de génotypes résistants. C'est pourquoi plusieurs critères agronomiques (composantes de rendements) ont été utilisés par le biais de quelques tests suffisamment simples et rapides, dans le but d'une discrimination entre les génotypes pour la résistance aux stress hydrique dans les trois étages climatiques différents.

Mots clé : céréales - conditions climatiques - G X E -

### **3.1. Introduction :**

L'Algérie est un des principaux centres de diversité des céréales et notamment du blé dur (*Triticum durum* desf) (Crostan et Williams, 1982). la production céréalière se caractérise par des fluctuations qui varient en dents de scie d'une année à l'autre .la principale cause de cette situation reste la sècheresse ( association haute température- déficit hydrique) comme c'est d'ailleurs le cas dans la plupart des pays méditerranéens ou l'eau reste souvent le facteur limitant pour la culture des céréales.( Brinis, 1995 ; Benbelkacem ,2000)

Selon (Descleaux *et al.* , 2005), la variation génotypique pour un caractère dépend très étroitement de la distribution des milieux. Il est donc indispensable de préciser dans quel environnement sont étudiés ces critères. Toujours selon le même auteur, d'un point de vue agronomique, l'adaptabilité se réfère au rendement proprement dit alors que la stabilité se réfère à la variabilité du rendement. Et un des premiers critères d'adaptation d'un génotype à un environnement donné est la moyenne du caractère considéré (rendement en général) pour ce génotype.

L'analyse de la variabilité spatio-temporelle des composantes majeures de l'environnement et l'interaction avec les génotypes restent la voie la plus sûre et la plus rationnelle à entreprendre pour une telle approche, pour peu qu'on admette la complexité de l'expression des mécanismes impliqués dans les rendements. (Brinis, 1995)

Cette approche peut se faire par le biais des études d'interactions Génotype X Environnement il est nécessaire de connaître, pour chaque critère, si de telles interactions existent et si le classement variétal pour un critère peut être différent selon les milieux d'expérimentation (Fischer, 1885 ; Hji et Hum, 1999 ; Ait kaki ,2008)

### **3.2. Les différentes zones climatiques :**

Il existe dans le bassin méditerranéen une très grande diversité climatique .Bradly (1980) , distingue sur la base des diagrammes ombrothermiques, 13 types principaux.

En Algérie, 4 zones climatiques peuvent être distinguées d'après le même auteur : la zone littorale, l'oranie , les montagnes côtières et les hauts plateaux.

- La zone littorale jouit d'une pluviométrie assez élevée et d'un régime pluviométrique à minimum estival légèrement atténué, l'ensoleillement est limité en hiver.
- L'Oranie subit fortement l'effet des reliefs marocains .
- Les montagnes côtières de Kabylie constituent une variance plus froide et plus arrosée de la zone littorale.

- Les hauts plateaux qui concernent 80% de la céréaliculture algérienne, sont sous la triple influence de l'atlas tellien (qui limite les précipitations hivernales), de l'atlas saharien et du Sahara et de l'altitude( qui entraîne des gelées tardives) .les caractéristiques climatiques des hauts plateaux fixent assez précisément, comme le notait déjà (**Despois ,1949**) , les limites Sud de la céréaliculture du blé et de l'orge (**Brinis ,1995** )

**Baldy** en (**1974**) a résumé les principales contraintes affectant le rendement des céréales en Algérie :

- Caractère aléatoire des pluies d'automne, avec deux conséquences :
  - Risques de sécheresse affectant la germination et la levée.
  - Risques d'orage violents rendant difficiles les semis et risquant de les retarder.
- Basses température hivernales en situation d'altitude (minima sous abri de l'ordre de 10 °C qui peuvent se traduire par des températures de -15 °C au niveau du feuillage.
- Irrégularité des pluies de printemps : des déficits hydriques au cours de la phase fin tallage début montaison, réduisent le nombre d'épillets formés, puis le développement des organes sexuels, le développement des tiges et enfin des feuilles du dernier entre –nœud, des déficits hydriques plus tardifs (post floraison) sont très néfastes à la formation des grains.
- Gelées printemps (pouvant atteindre -2°C à -3°C sous abri, soit -6°C à - 8°C au niveau des feuilles) , qui détruisent les apex en cours de différenciation, les risques de gelées peuvent se présenter dans certaines zones, jusqu'à la floraison .
- Déficit hydrique et coups de chaleur après la floraison : ils limitent le remplissage du grain et provoquent de l'échaudage (le déterminisme physiologique de chacun de ces deux phénomènes demande à être précisé).

### **3.3. Interaction Génotype X Milieu :**

(**Reitz, 1974**) reste à l'origine de la classification des variétés d'espèces cultivées

**a /** La contribution des composantes de rendement et les critères technologiques à l'interaction **G X E** mesuré par la stabilité de chaque critère en fonction des lieux d'expérimentation.

**b/** La quantification des interaction **G X E** est une approche qui peut se faire par le biais des études d'interaction **G X E** il est nécessaire de connaître, pour chaque critère, si de telles interaction existent et si le classement variétal pour un critère peut être différent selon les milieux d'expérimentation.

### **3.4. Les composantes de rendement :**

**3.4.1. Le rendement en grains :** est défini comme la résultante du produit de la biomasse aérienne et l'indice de récolte ( **Bouzerzour, 1998**)

#### **3.4.2. Le Poids de Mille Grains (PMG)**

Le PMG dépend de la variété et des conditions de nutrition hydrique et minérale en fin de cycle. S répétitions de 100grains sont constituées de manière aléatoire, pesées et le poids moyen en est déduit.

Le blé dur est confronté à un défaut de stabilité de qualité technologique et commerciale, due notamment aux variations de deux critères importants : le mitadin (pénalisant la valeur semoulière) et la moucheture (dépréciant l'aspect des pâtes alimentaires). C'est un obstacle pour développer des systèmes de cultures à faibles intrants ou biologiques. Pour s'orienter vers des variétés à qualité plus stables dans les conditions locales, il faut :

- préciser les déterminants environnementaux de ces critères et les niveaux de risques par zone
- mieux connaître les bases génétiques et physicochimiques
- développer des outils de mesure de routine précise.

#### **3.4.3. La Moucheture du blé dur**

La moucheture du blé dur, caractérisée par des taches brunes à noires sur le grain de blé à maturité, contribue à déprécier l'aspect des pâtes alimentaires. L'origine de ces tâches est encore à ce jour méconnue.

La moucheture est provoquée par trois agents : conditions abiotiques. La coloration et l'intensité des taches varient selon l'agent, les attaques de thrips provoquant les plus forts taux..

#### **3.4.4. Le taux de mitadinage :**

Le mitadin est très lié à la nutrition azotée tardive (pré- et post-floraison) et à la composition protéique des grains qui en résulte.

L'apport d'azote fractionné avec dernier apport tardif (floraison) améliore la teneur en protéines et diminue de façon significative le mitadin. Une caractérisation physico-chimique des grains mitadinés a été établie à différentes échelles structurales et reliée à la qualité technologique. Enfin, des outils de mesure et de prédiction de ces deux critères par analyse

spectrale infrarouge sont en cours de développement pour une mesure rapide en routine. Les conclusions et les outils de contrôle traduisibles en indicateurs et en règles de décision sont utilisés pour améliorer les systèmes de culture régionaux intégrant le blé dur pour les rendre plus stables et plus durables. (Samson, 2004)

### **3.4.5. Le potentiel couleur :**

L'intérêt de la mesure de la couleur est surtout commercial. En effet la consommateur recherche des pâtes claires de couleur jaune ambré la législation interdisant toute adjonction de coloration dans les pâtes, la couleur ne peut provenir que de la semoule et par conséquent du blé dur. Ce caractère résulte d'une composante jaune, principalement génétique, qui doit être la plus élevée possible et d'une composante brune, davantage liée aux conditions de culture, qui doit être faible. Différentes méthodes permettent d'évaluer le potentiel couleur, depuis le blé jusqu'aux pâtes. (Ait Kaki, 2008)

**3.4.6. La composante jaune :** principalement génétique, elle est fonction des pigments caroténoïdes des semoules et de l'activité des lyxogénases qui détruisent ces pigments au cours de la plastification (Grignac, 1970) . Elle est mesurée par l'indice de jaune et doit être la plus élevée possible. Et il semble que la destruction des pigments jaunes commence au cours du stockage du grain et s'accélère après la transformation du blé en semoule.

**3.4.7. La composante Brune :** liée au condition de culture, elle est corrélée aux activités des peroxydases et des polyphénoloxydases et doit être très faible ( Abecassis, 1991) . son évaluation quantitative se fait par l'indice de brun .

### **3.5. Matériel et méthodes :**

#### **a. Choix des variétés :**

dix variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf )ont été choisies pour la réalisation de cet essai . Ce sont des variétés sélectionnées par ITGC et l'INRAA et produites dans les zones de production céréalière (table 07 in chapitre II).

#### **b. Choix des stations :**

Les essais ont été réalisés durant la campagne **2007-2008** , installés sur une précédente jachère travaillée au niveau des stations ITGC (ElKhroub – Sétif et Oued Smar ) qui représentent la diversité des sols algériens. Le dispositif expérimental est en bloc randomisés à 4 répétitions ; la parcelle élémentaire comprenant six lignes de cinq mètres de longueur espacées de 0.20 m , et de 1.2 m de largeur. Ils ont reçu une fertilisation de fond de 46 unités de phosphore (46 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) et de 46 unités d'azote en couverture (46kg/ha d'azote) au tallage. Le semis a

été effectué au cours de la période allant de fin novembre à la mi-décembre à une dose de 100 kg/ha et la récolte a eu lieu de mi-juin à début juillet.

les wilayas des différentes stations sont classées par étages bioclimatiques Humide, semi aride et aride .et par région géographique (Est, Centre ).

Les trois sites choisis sont :

**Site 1** : Constantine (ITGC El Khroub ).

**Site 2** : Oued Smar (ITGC Alger )

**Site 3** : Sétif ( ITGC Sétif).



**Figure 20** : dispositif expérimental au niveau de l'ITGC .

### **c. Analyse climatique (pluviométrie et températures de la campagne 2008/2009 pour les trois stations :**

**\*Station ITGC ElKhroub** : la pluviométrie de la campagne 2008/2009 a été dans l'ensemble (519 75 mm de septembre à mai ) nettement supérieure à celle de la campagne précédente (2007/2008) ou nous avons enregistré un cumul de septembre à fin juin de 394 ,5 mm , d'où un écart positif de plus de 125 mm (tab 07) . par rapport à la moyenne ONM (486 ,5 mm sur 25 années), cette campagne a été excédentaire de 33mm . Dans le (tab 08 Annex) l'analyse mensuelle laisse apparaitre un début de campagne relativement sec de septembre pour cette campagne, ce qui a permis aux agriculteurs de bien finir leur lit de semence et d'avoir une bonne installation des cultures.

Ce qu'il faut signaler, c'est que la plante n'a pas manqué d'eau depuis son apparition (levée) et ce jusqu'à la récolte.il y avait suffisamment de pluie chaque mois et surtout de mars à fin mai soit durant tout le cycle végétatif et de reproduction ; ce qui a permis une bonne croissance et un bon développement du végétal.

Les écarts mensuel globaux ont été positifs pour 2008 /2009 par rapport à la moyenne ONM ( + 131,14mm) .il est nécessaire de signaler que c'est la pluviométrie du mois d'avril qui a été déterminante pour une bonne année ; en effet on a comptabilisé 133mm pour ce mois , ce qui est supérieur à toutes les moyennes des autre années .

Les températures moyennes mensuelles ( tab 07Annex) ont été normales.

Elles ont été quelque peu fraîches durant l'hiver sans avoir de conséquences négatives sur le végétal, elles n'ont pas très bien développées.

Le nombre de jours de gelées cumulé ( 32 jours) ont été loin inférieurs à la moyenne annuelle et n'ont par conséquent eu aucun effet sur le développement des plantes.

**\*Station Oued Smar :** la campagne 2008 :2009 est une année pluvieuse. le totale pluviométrique enregistré durant la période de septembre à juin s'élève à 727.8 mm , reparti sur 79 jours soit un surplus pluviométrique annuel de 147.6 mm par apport à la période 1989/2004.

D'après le tableau 09 (annexe ) nous notons un excédent pluviométrique durant presque tous les mois de l'année , mis à part le mois de février et à un moindre degré le mois du mai , comparativement à la période correspondante .

Cette campagne est caractérisée sur le plan pluviométrique saisonnière par :

Un automne humide, ou on a enregistré de forte pluie au début de la campagne qui ont entravé en quelque sorte la préparation du sol .

Un hiver humide avec une importante fréquence de pluie (29 jours de pluie) . ces précipitations ont coïncidé avec un départ de la végétation du blé, en assurant une germination rapide et en plus, un réserve hydrique bénéfique pour un bon développement de la culture.

Notons, enfin une chute importante pendant le mois de février avec 21.9mm.

**\*Station Sétif :** les condition climatiques ayant régi la mise en place et le développement des cultures ont indiqué un automne humide ( un cumul de pluies égal à 114 mm de pluie) qui a permis une bonne préparation du sol pour le semis ; un hiver pluvieux et frais( cumul pluviométrique de 147.8mm, 16 jours de neiges et 40 jours de gelée) qui induit les pertes à la levée, alors que le mois de mai qui coïncidait avec le stade de formation des grains était sec et chaud( seulement 3.4 mm durant le mois et une température moyenne voisine à 22.01C.

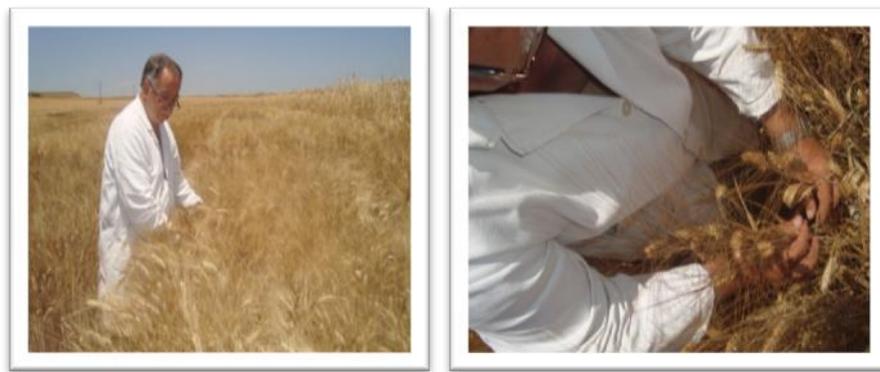
**La pluviométrie :** le cumul des pluies enregistrées durant la campagne agricole 2008/2009, plus précisément de la période allant du 01 septembre 2008 au 31 Juin 2009 s'élève à 377.70

mm, notant ainsi une mauvaise répartition. Les pluies ont été concentrées le plus durant les mois de janvier et avril ; 69.30 mm et 78.20 mm respectivement.

**La température** : les températures moyennes varient de 6.34 °C pour le mois de décembre à 26,13 pour le mois de juin 2009, qui correspondent aux mois le plus froid et le plus chaud durant la campagne agricole 2008/2009. Notons ici une amplitude thermique égale à 19.79 °C.

### 3.5.1. Analyses effectuées :

**3.5.1.1. Sur terrain** : les mesures ont été portées sur le rendement parcellaire (q/ha), la hauteur des plantes (cm), le poids de 1000 grains ( PMG ) la hauteur en cm (H) et Nombre de grain /m<sup>2</sup> .



**Figure 21** : Nombre de grain /m<sup>2</sup>



**Figure 22** : la hauteur en cm (H)



**Figure 23** : le poids de 1000 grain ( PMG)

### 3.5.2 Au laboratoire :

Les paramètres mesurés au laboratoire technologique de l'institut technique des grandes cultures. L'ITGC Harache Alger dispose de l'analyse de la qualité et particulièrement ceux d'analyses technologiques des critères. Mitadina, Moucheture, TE, SDS ml, IJ, IB .

Les deux autres variables de qualité qui ont été mesurés avec la méthode la NIRS au niveau du laboratoire de l'unité mixte de recherche, diversité et génome des plantes cultivées, INRA Montpellier France sont : Les protéines et Le Rendement protéique.

### **3.5.3 : les analyses statistiques :**

Les échantillons de blé dur ont été mis à notre disposition par les instituts Techniques de chaque sites (I.T.G.C) au niveau de chaque site nous disposons donc des données de 10 variétés de blé dur ont été expérimentées durant l'année (2007/2008) Pour l'analyse statistique le logiciel utilisé est le MINTAB 16.0.

La description des données a consisté à calculer certains paramètres statistiques usuels qui sont :

#### **a - Recherche de variétés similaires: Analyse en composantes principales (ACP)**

L'analyse en composantes principales (ACP) est une méthode exploratoire et (**Dagnelie, 1986; Palm, 1998**). Elle est utilisée pour interpréter une matrice de données sans structure particulière ne comportant, à priori, aucune distinction, ni entre les variables, ni entre les individus.

#### **b - Recherche de classes de variétés homogènes : Analyse hiérarchique ou classification hiérarchique**

La recherche de groupes ou de classes de variétés homogènes peut également se faire par ce qu'on appelle la classification hiérarchique. Plusieurs méthodes sont proposées par (**Dagnelie, 1986**) pour atteindre ce but. Cependant, nous n'utiliserons que celle qui est proposée par (**Bouroche et Saporta, 1980**) et qui est reprise par (**Palm, 2000**) et (**Dagnelie, 1986**) et dont l'algorithme est programmé dans le logiciel (**Minitab X, 2003**).

Cette méthode permet de déterminer le niveau de similitude ou de divergence entre les individus ou variétés et donne une répartition des individus ou variétés en groupes ou classes homogènes.

### **3.6. Résultats et discussion : la collecte des données des dix variétés**

**Rendement en grains :** D'une manière, les plus hauts rendements ont été enregistrés à la station du Khroub, suivis de celle de Sétif, enfin de celle de Oued Smar.

Dans cette dernière (Oued Smar), malgré une pluviométrie suffisante, les pluies intermittentes durant l'automne n'ont pas permis une bonne préparation du sol et donc d'un lit se de

semence peu favorable ; d'où des niveaux faibles de rendements. Il y a donc eu des différences intersites.

De même, l'effet génotypique est aussi observé ; les différences variétales s'observent entre les sites, mais aussi à l'intérieur de chaque site.

Il y a eu aussi des réponses spécifiques de chaque variété en fonction du site. Nous citerons le cas de Waha( 32qx/ha à Oued Smar, 34 qx/ha à Sétif et 66 qx/ ha au Khroub.

#### **P.M.G : Poids de mille grains**

Le plus élevé a été enregistré à Oued Smar, suivi de Sétif et Khroub. Les résultats confirment la relation inversement proportionnelle entre le rendement en grains et le P.M.G.

#### **Nombre de grains/ m<sup>2</sup>**

Le site Oued Smar offre un nombre de grains / m<sup>2</sup> moins élevé. Ceci est dû notamment au faible rendement grains, obtenu qui, par ailleurs ont un P.M.G. plus élevé.

**Tableau 9 : Moyennes des composantes de rendement et de qualité étudiés**

code	variétés	lieu	RDTqx/ha	PMG	Ngrain /m2/	hauteur	proteine	rdtprot	Mitadina	Mouchture	TE	SDS ml	IJ	IB
V1	Waha	o s/1	32,08	39,70	8080,60	84,38	17,2	5,52	2,75	0	56	27,5	23,71	8,95
V2	GTA dur	os/2	37,08	47,07	7877,63	90,19	16,7	6,19	1,08	3,55	61,3	37	21,81	7,06
V3	Skh/hau.heca-1	os/3	43,95	45,50	9659,34	87,04	18,8	8,26	1,41	2,15	58,6	46	21,77	6,67
V4	Ammar-8	os/4	36,16	43,33	8345,26	92,63	16,4	5,93	1,66	1,8	57,6	38,5	20,59	7,07
V5	MSbl_1/ourmal	os/5	33,75	45,48	7420,84	91,06	16,1	5,43	2,83	1,85	53,3	37	21,2	7,75
V6	Azeghar1/6Zan-1/5	os/6	39,58	43,61	9075,90	94,13	17,6	6,97	0,16	0,6	58,3	42	21,34	7,16
V7	Villemur/3/lahn/gs	os/7	36,66	43,82	8366,04	84,19	18,1	6,64	0,33	1,15	59,3	27	21,28	7,16
V8	Gsbl/d68-1-93-a-a1	os/8	34,58	45,50	7600,00	92,69	18,6	6,43	0,33	4,8	59,6	44	24,32	7,72
V9	Lahaucan	os/9	40,41	39,50	10230,38	89,75	17	6,87	0,5	1,9	59	41	22,02	6,91
V10	Da-6blak avns/b/ber	os/10	36,66	42,68	8589,50	92,56	13,8	5,06	2,66	0,7	57,3	31	20,45	6,98
V1	Waha	stf/1	35,97	28,83	12476,59	90	14,4	5,18	4,41	0	48,5	37,5	22,71	6,09
V2	GTA dur	stf/2	33,80	30,27	11166,17	105	14,8	5,00	0,25	0	45,5	46	19,92	6,57
V3	Skh/hau.heca-1	stf/3	43,70	32,37	13500,15	90	14,6	6,38	3	0	56	50	21,54	6,56
V4	Ammar-8	stf/4	35,09	32,26	10877,25	90	13,6	4,77	1,33	0	55	52	20,59	6,57
V5	MSbl_1/ourmal	stf/5	43,33	29,06	14910,53	85	17,2	7,45	0,33	0	55	57	22,8	6,44
V6	Azeghar1/6Zan-1/5	stf/6	37,69	33,80	11150,89	90	16,4	6,18	0,58	0	55,5	49	22,17	6,91
V7	Villemur/3/lahn/gs	stf/7	37,92	44,87	8451,08	85	13,1	4,97	3,33	0	52	35	19,22	5,67
V8	Gsbl/d68-1-93-a-a1	stf/8	44,12	31,00	14232,26	90	13,7	6,04	0,4	0	53,5	54,5	24,81	6,52
V9	Lahaucan	stf/9	34,21	32,38	10565,16	90	12,6	4,31	9,08	0	54	49,5	20,5	5,31
V10	Da-6blak avns/b/ber	stf/10	40,23	40,40	9957,92	85	13,8	5,55	2,16	0	54,5	40,5	20,28	6,32
V1	Waha	kh/1	65,62	33,69	19477,59	105	15,9	10,43	2,75	0	56	27,5	23,71	8,95
V2	GTA dur	kh/2	56,58	39,00	14507,69	100	15,17	8,58	1,08	3,55	61,3	37	21,81	7,06
V3	Skh/hau.heca-1	kh/3	52,87	36,36	14540,70	100	16,6	8,78	1,41	2,15	58,6	46	21,77	6,67
V4	Ammar-8	kh/4	59,62	37,19	16031,19	95	14,6	8,70	1,66	1,8	57,6	38,5	20,59	7,07
V5	MSbl_1/ourmal	kh/5	54,87	37,26	14726,25	105	14,6	8,01	2,83	1,85	53,3	37	21,2	7,75
V6	Azeghar1/6Zan-1/5	kh/6	54,91	48,07	11422,92	105	16,4	9,01	0,16	0,6	58,3	42	21,34	7,16
V7	Villemur/3/lahn/gs	kh/7	56,41	35,66	15818,84	105	17	9,59	0,33	1,15	59,3	27	21,28	7,16
V8	Gsbl/d68-1-93-a-a1	kh/8	56,62	29,98	18885,92	90	17,8	10,08	0,33	4,8	59,6	44	24,32	7,72
V9	Lahaucan	kh/9	66,50	29,51	22534,73	95	15,3	10,17	0,5	1,9	59	41	22,02	6,91
V10	Da-6blak avns/b/ber	kh/10	68,29	39,75	17179,87	105	15,2	10,38	2,66	0,7	57,3	31	20,45	6,98

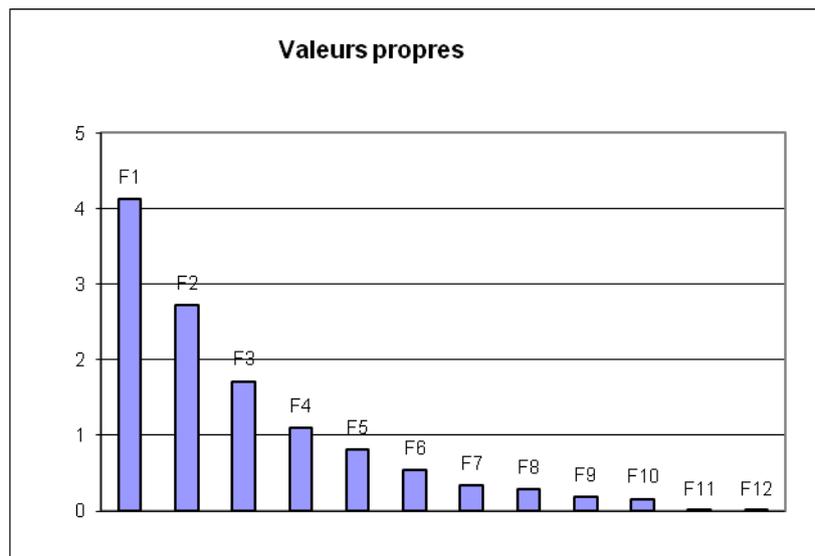
### 3.6. Résultats statistiques :

**Tableau 10** : matrice de corrélation entre les composantes de rendement.

	RDTqx/ha	PMG	Ngrain /m2/	hauteur	proteine	rdtprot	Mitadinage	Mouchture	TE	SDS ml	IJ	IB
RDTqx/ha	1	-0,214	<b>0,873</b>	<b>0,627</b>	0,021	<b>0,930</b>	-0,178	0,196	0,355	-0,215	0,110	0,256
PMG	-0,214	1	<b>-0,645</b>	-0,067	0,334	-0,093	-0,120	0,290	<b>0,408</b>	<b>-0,411</b>	-0,272	0,193
Ngrain /m2/	<b>0,873</b>	<b>-0,645</b>	1	<b>0,470</b>	-0,104	<b>0,776</b>	-0,111	0,063	0,107	0,031	0,264	0,131
hauteur	<b>0,627</b>	-0,067	<b>0,470</b>	1	-0,056	<b>0,560</b>	-0,122	0,079	0,003	-0,244	-0,124	0,267
proteine	0,021	0,334	-0,104	-0,056	1	<b>0,380</b>	<b>-0,575</b>	<b>0,508</b>	<b>0,540</b>	-0,126	<b>0,445</b>	<b>0,509</b>
rdtprot	<b>0,930</b>	-0,093	<b>0,776</b>	<b>0,560</b>	<b>0,380</b>	1	<b>-0,364</b>	<b>0,362</b>	<b>0,519</b>	-0,232	0,261	<b>0,403</b>
Mitadinage	-0,178	-0,120	-0,111	-0,122	<b>-0,575</b>	<b>-0,364</b>	1	-0,324	-0,359	-0,073	-0,265	-0,309
Mouchture	0,196	0,290	0,063	0,079	<b>0,508</b>	<b>0,362</b>	-0,324	1	<b>0,613</b>	-0,076	0,311	0,292
TE	0,355	<b>0,408</b>	0,107	0,003	<b>0,540</b>	<b>0,519</b>	-0,359	<b>0,613</b>	1	-0,205	0,221	0,315
SDS ml	-0,215	<b>-0,411</b>	0,031	-0,244	-0,126	-0,232	-0,073	-0,076	-0,205	1	0,152	<b>-0,505</b>
IJ	0,110	-0,272	0,264	-0,124	<b>0,445</b>	0,261	-0,265	0,311	0,221	0,152	1	<b>0,487</b>
IB	0,256	0,193	0,131	0,267	<b>0,509</b>	<b>0,403</b>	-0,309	0,292	0,315	<b>-0,505</b>	<b>0,487</b>	1

La matrice des corrélations affiche, parmi les nombreuses liaisons entre composantes, des résultats intéressants à même d'être intégrés comme des critères additifs et complémentaires dans un programme d'Amélioration génétique des plantes.

Le rendement en grain donne des corrélations positives avec une composante majeure du rendement, à savoir, le nombre de grains/ m<sup>2</sup>, un paramètre morphologique, la hauteur du génotype et surtout au paramètre rendement protéines (0. 930). Des corrélations inverses sont observées entre le mitadinage et les protéines (tab 09)



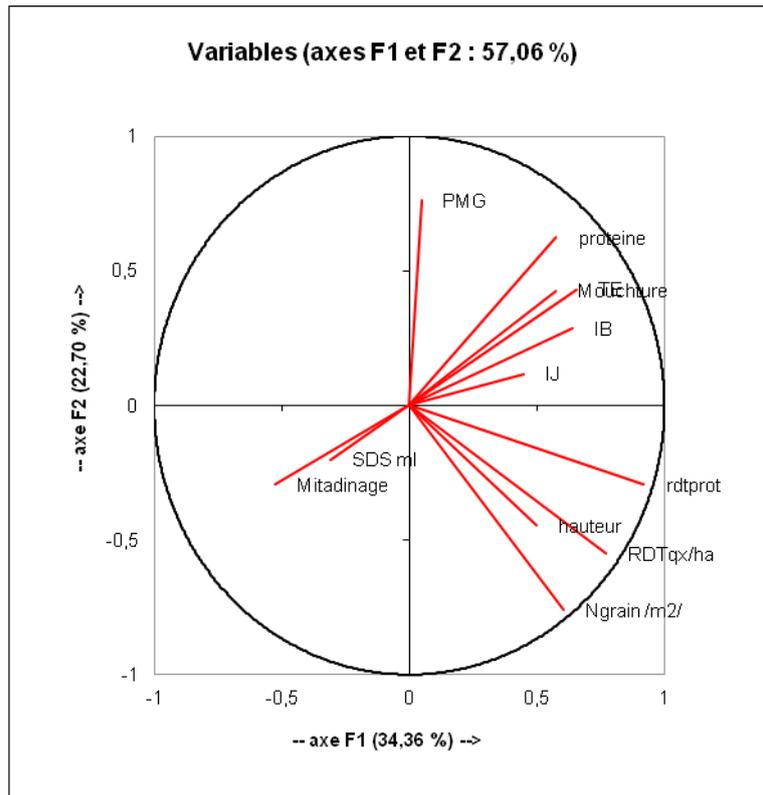
**Figure 24 :** Histogramme des valeurs propres en fonction des rangs des axes principaux pour l'ensemble des deux années des trois sites .

### 3.6.1 Résultats de l'ACP

Cependant, l'interprétation de ces composantes nécessite le calcul des corrélations entre chacune des composantes principales retenues avec chacune des 13 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, et seront utilisées pour les représentations graphiques des variables initiales dans les cercles de corrélations.

#### L'Analyse du nuage de points variables: cercle de corrélations

Les cercles de corrélations sont des graphiques visant à représenter géométriquement les variables initiales dans le nouveau système de coordonnées. Ainsi donc, la représentation des douze variables initiales dans le plan formé par les axes 1 et 2 et appelé premier plan factoriel est utile, compte tenu de l'importance de ces deux axes dans la reconstitution des variables initiales (figure25) Les coordonnées des variables initiales sur l'axe 1 sont les corrélations de ces mêmes variables avec l'axe 1, et les coordonnées sur l'axe 2 sont les corrélations de ces variables avec l'axe 2 (figure 25)



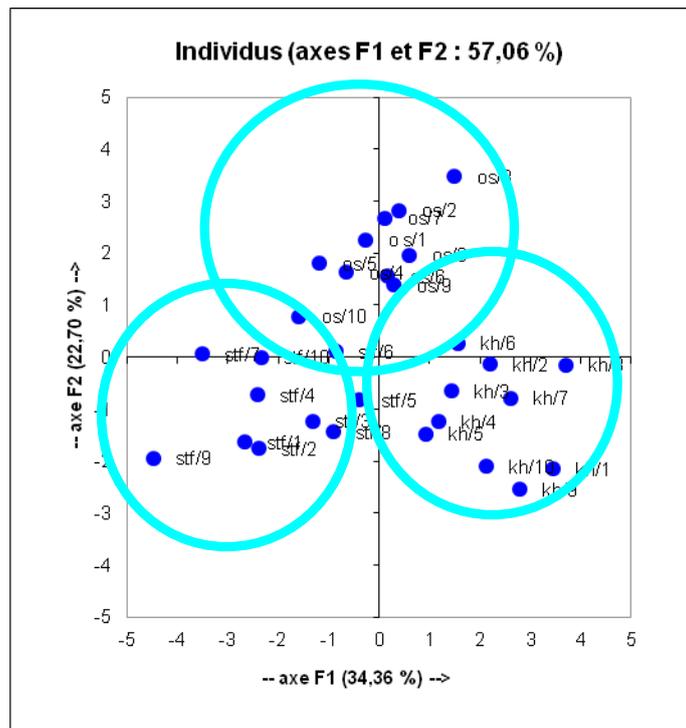
**Figure 25 :** Représentation graphique des 13 variables à l'intérieur du cercle de corrélations du plan factoriel 1-2 obtenu à partir de données trois sites

La représentation graphique en A.C.P. (fig 25) donne une très bonne représentativité des variables (57.06%) pour les deux axes principaux.

D'une manière générale, le cercle des corrélations montre une plus grande participation des variables « composantes du rendement » par rapport aux variables de qualité. En effet, le nombre de grains/m<sup>2</sup>, le rendement qx/ ha, le rendement protéines ont des coefficients de détermination les plus élevés.

Le P.M.G. est une variable qui reste dans le plan opposé aux composantes de rendement. Les variables mitadinage, SDS, IJ, IB sont moyennement représentées et donc ayant moins d'incidence sur l'expression à la fois du rendement et de la qualité technologique.

### 3.6.2 .Analyse du nuage de points-variétés: graphique des individus :

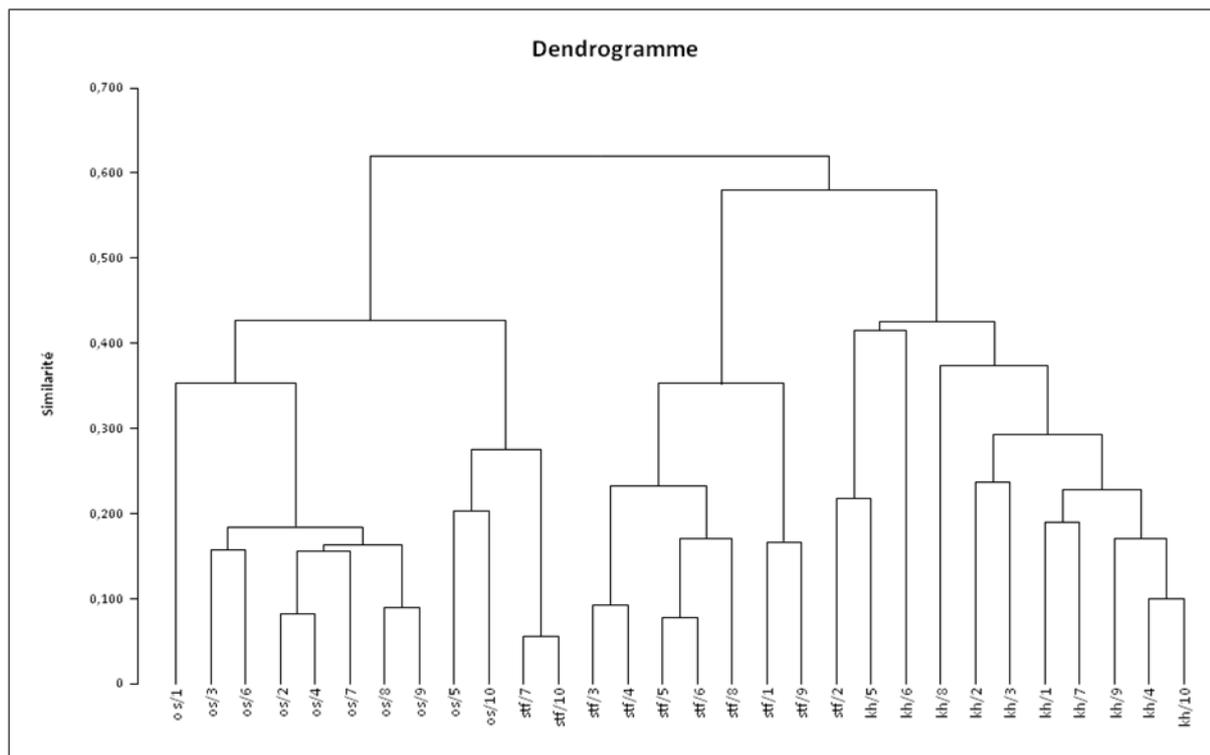


**Figure 26 :** Représentation graphique des points individus (variétés) dans le plan factoriel 1-2, obtenu à partir des données des trois sites .

### 3.6.3 .Analyse hiérarchique :

L'utilisation des méthodes de classification numérique, en complément à l'analyse de la variance, est peu courante (**Dagnelie, 2006**). La bibliographie qui concerne cette approche est d'ailleurs relativement limitée (**Cox et Compertwait, 1992; El-Kherrak, 1993 et Bautista et al., 1997**). Ces méthodes de regroupement des moyennes sont très nombreuses et très diversifiées. Mais il apparaît heureusement qu'en matière de classification de moyennes les résultats obtenus sont dans l'ensemble peu dépendants des méthodes utilisées (**Dagnelie, 2006**).

Selon Les représentations graphiques des individus (fig 24) montre clairement un effet site. Les trois sites ont exercés leur stress environnemental sur les génotypes et les ont conduits à répondre spécifiquement. C'est dire aussi la différence qui existe entre ces sites, tant au niveau des hétérogénéités du sol qu'au niveau des données agroclimatiques, qui sont dissemblables au niveau des facteurs météorologiques.



**Figure 27 :** Dendrogramme du regroupement des 10 variétés de blé dur obtenu, à l'aide de la méthode du lien simple et la distance carrée de Pearson, sur les données des trois sites.

### 3.7. Conclusion :

Les résultats obtenus et appuyés par l'analyse statistique fait ressortir au niveau de la matrice des corrélations, de nombreuses corrélations à la fois indicatrices et révélatrices tout autant, quant aux réponses respectives des composantes du rendement et de la qualité.

En effet, le rendement en grain est hautement et positivement corrélé au rendement ; ceci est même quelque peu attendu car un rendement élevé est lié à de bonnes conditions de culture ; la fertilisation azotée en faisant partie.

Le P.M.G. est quant à lui négativement corrélé au nombre de grain. Plus il y a de grains/ épi, moins élevé sera le P.M.G.

Le regroupement par site est très marqué sur les 3 figures : on voit bien l'importance du site par rapport à la variété.

Ainsi, à la lumière des résultats obtenus dans ce chapitre qui a traité en fait, du potentiel de rendement sous trois environnements différents, il nous est possible de résumer les principaux points de la manière suivante :

- Concernant les composantes du rendement et le rendement en grains, le nombre de grains. M2est un élément clé dans l'élaboration du rendement grain.
- Le fait que des indices de qualité ( I.J., I.B., SDS) ne soient pas affectés ou altérés de manière sensible, dénoterait des aptitudes génotypiques des cultivars à jouir de ce caractère très peu variable sous environnements différents. Les conditions climatiques prévalentes,

au moment de l'étude n'ont pas aussi été favorables pour provoquer des changements d'une quelconque nature dans ces paramètres technologiques. Le paramètre qualité s'est avéré bien corrélé au rendement.

## **Chapitre IV : Étude comparative des potentialités technologiques des variétés de blé dur par la méthode NIRS introduite dans différentes zones agro-climatiques d'Algérie**

### **Résumé**

Le rendement et la qualité du blé dur produit en Algérie demeurent encore difficiles à maîtriser, car fortement sujets aux interactions génotype x environnement.

Naturellement la production de semences de haute qualité passe par des variétés qui se maintiennent à des rendements semouliers et en grains assez élevés. A cet effet, un essai regroupant dix génotypes de blé dur semi dans différents sites a fait l'objet de la présente étude. Les paramètres de qualité ont essentiellement porté sur le poids spécifique, le taux de protéines, le poids de 1000 grains (PMG) le mitadinage, les caroténoïdes, le rendement et les analyses furent effectuées par la méthode de la spectroscopie proche infra rouge (NIRS). Cette dernière permet de prédire divers paramètres qualitatifs patier et semoulier en utilisant une très petite quantité de grains (méthode non destructive). Ce travail discutera, à la lumière des résultats obtenus, de la plus grande variabilité des différents génotypes, variabilité qui, du reste, semble être liée à la fois à l'interaction Génotype X Milieu, mais aussi au potentiel génétique lui-même, capable de déterminer les aptitudes qualitatives des variétés. Cette méthode à la fois résolutive et rapide, peut constituer une voie alternative très intéressante dans la sélection de critères de qualité chez les blés.

**Mots clés :** NIRS – Blé dur – Protéines- Qualité – Sélection.

#### **4.1. Introduction :**

La sélection de variétés produisant un rendement élevé en grains peut aboutir à l'obtention de variétés de mauvaise qualité technologique, en particulier faible teneur en protéine et rendement semoulier insuffisant ( **Abacassis, 1991**). Ainsi, les sélectionneurs de blé dur travaillent le plus souvent avec les industriels afin d'intégrer les paramètres technologiques comme critères de sélection prioritaires dans leurs programmes d'amélioration génétique (**Benbelkacem et al .,1998; Brinis,1995**).

Se sont en outre dotés d'outils permettant de mesurer l'indice de jaune, l'indice de clarté, la teneur en protéines, le critère de sédimentation et d'autres indices qualitatifs. Ces tests sont toutefois coûteux et sont de ce fait mis en place essentiellement dans les étapes finales de la sélection (**Ait Kaki , 2007**).

L'utilisation de la spectroscopie proche infra rouge ( NIRS ), est de plus en plus répandue pour le contrôle rapide de la qualité des céréales ,Elle nécessite une préparation rapide de l'échantillon et permet la détermination rapide, non destructive et peu coûteuse de plusieurs paramètres.(**Ripetti-Ballester et al 2000 ; Ait kaki ,2007 et ait kaki ,2008** ).

De part l'accroissement du nombre de variétés testées il est indispensable d'identifier et de quantifier l'importance des interaction génotype X environnement pour les critères technologiques et de définir les bases d'un échantillonnage des lieux d'essais ( **Bouzerzour et Djekoun, 1996 ; Desclaux et al 2005**).

A cet effet, un essai regroupant un germoplasme diversifié à fait l'objet de la présente étude . Les paramètres de qualités intègrent essentiellement le poids spécifique, le taux de mitadin , le taux de protéines, le poids de 1000 grains ( PMG ). L'objectif est d'établir la correspondance d'une gamme de résultats variétaux de rendement et qualité avec les milieux dans lesquels ils se sont élaborés (**Rharrabti et al ,2003 ; Royo et al, 2004**).

#### **4.2. Matériels et méthodes :**

**4.2.1.Choix des stations :** Les trois sites choisis sont :

**Site 1:** Constantine (ITGC El Khroub) .

**Site 2:** Oued Smar (ITGC Alger) .

**Site 3:** Sétif (ITGC Sétif).

Les essais furent installés sur précédent jachère travaillée, au niveau de trois stations expérimentales de recherche : (ITGC El Khroub, ITGC Alger et ITGC Sétif), stations qui représentent les zones agronomiques de l'humide (Oued Smar) du semi-aride, caractéristiques des

hauts plaines constantinoises et l'aride, caractérisé par les hauts plateaux de l'est algérien, Sétifiens en l'occurrence.

#### **4.2.2. Choix des variétés :**

*L'expérimentation a été réalisée sur 10 génotypes de blé dur (Triticum durum Desf). Il s'agit de variétés sélectionnées par l'Institut Technique des Grandes Cultures ITGC et l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA) et produites dans les zones de productions céréalières.(tab 1 chapitre 1).*

### **4.3. Données et Analyses effectuées :**

#### **4.3.1. Analyse dans le proche infra rouge NIRS :**

##### **a. Intérêt**

La spectrométrie dans le proche infra rouge est une technique analytique de plus en plus répandue pour le contrôle rapide de la qualité des céréales.

Le plus souvent non destructive, elle nécessite qu'une préparation rapide de l'échantillon et elle permet la détermination rapide et non coûteuse de plusieurs paramètres.

##### **b. Principe**

L'analyse en spectrométrie proche infra rouge est non destructive et permet de prédire divers paramètres qualitatifs pastiers et semouliers en n'utilisant qu'une petite quantité de grains. Il s'agit d'une analyse comparative dont le principe repose sur l'absorption de la lumière proche infrarouge par la matière organique ; en utilisant des calibrations dans les quelles les données spectrale de l'échantillon connu sont mises en corrélation avec leurs valeurs analytiques de référence, la spectrométrie peut prédire pour un lot inconnu, le niveau du paramètre en se basant uniquement sur l'empreinte spectrale de l'échantillon. Cette analyse a été réalisée à l'I.N.R.A. de Montpellier (France), à la station expérimentale de Melgueil où des courbes de calibration pour divers paramètres ont été mise au point.

Les spectres correspondants aux 10 variétés (semées et récoltées aux niveaux des trois lieux différents) ont été collectés sur grains entiers disposés en grandes cellules avec NIR system 6500 travaillant par réflectance , de 400 à 2500 nm , avec un pas de 02 nm( **Wehrle et al , 1996, Delwiche , 1998**). Un traitement mathématique (ACP sur spectre) transformant les données brutes en dérivée première a été appliqué sur les données spectrales des échantillons.

Une correction d'une éventuelle dérive des spectres ( divers procédés mathématiques ) , a été également appliquée sur les données ( **Ripetti-Ballester et al.,2000** ) ; d'autre part une étude statistique a été réalisée en utilisant le système SAS ( SAS 1985) lié a la NIRS

Trois répétitions ont été réalisées pour chaque variété, issues des trois lieux différents (khroub , oued smar et sétif ).

Le logiciel ISI NIR II (**NIRS 2, 1992**) a permis de prédire le poids spécifique, le taux de mitadin , le taux de protéines, le poids de 1000 grains ,le rendement et les caroténoïdes .



**Figure 28:** photos de l'appareil NIRS

#### **4.3.2. Analyses statistiques : Logiciel utilisé MINITAB Version 16.**

- a. Les données (**Protéine , P.M.G , Rdt , Poids spécifique Mitadinage Caroténoïdes**) ont été testées avec l'analyse de la variance ANOVA et le test TUKEY qui compare entre les stations par variété et par variable,
- b. Analyse statistiques multi variée MANOVA : Pour comparer entre stations pour l'ensemble de variable et l'ensemble de variétés

#### **4.4. Résultats et discussion :**

##### **4.4.1 Analyse proche infrarouge NIRS :**

Le tableau N° 12 regroupe les résultats obtenus en grandes cellules d'après les données spectrales de l'ensemble des variétés étudiées :

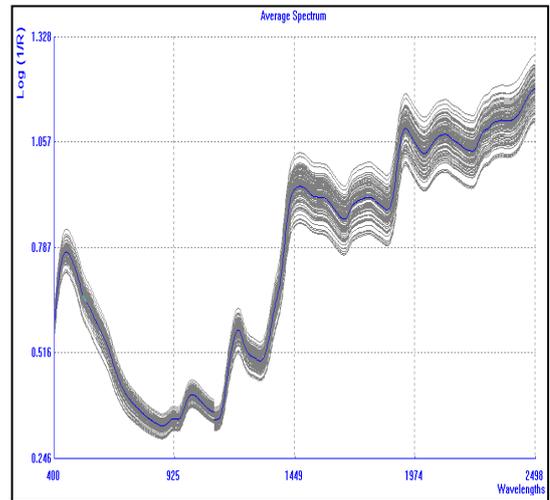
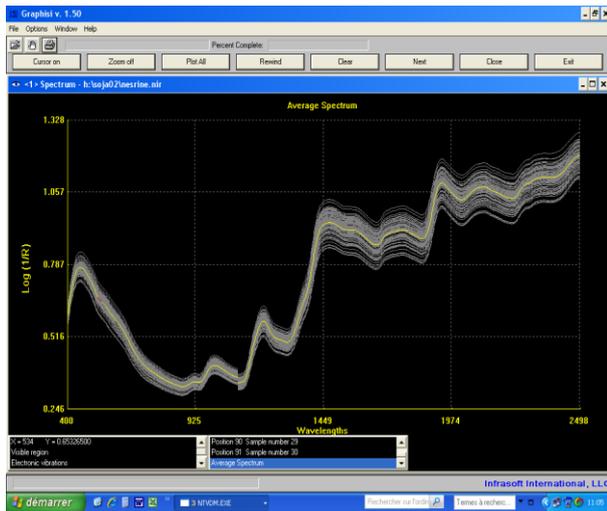
- Le rendement semoulier total varie de 73,05% de Ms pour la variétés 10 dans le site ElKroub à 68, 52 pour la variété 08 de oued smar .

- Le taux de protéine est très élevé chez les variétés 8,7,6 et 1 de oued smar avec (18,8), (18,7) et (17,6) et (17,2) et avec la variété 5 dans le site Sétif et variété 8 avec (17,6) à el khroub . par rapport aux autres variétés et les mêmes dans les trois sites qui se présentent avec un taux moins élevé entre (13,6 et 14,8) .
- Le poids spécifique (PS) varie lui aussi de 86 à 69 .
- Quant au poids de 1000 grains (Pmg) , il reflète lui aussi une grande variation dans les résultats avec les données de sites oued smar sont moins que les deux autres sites .

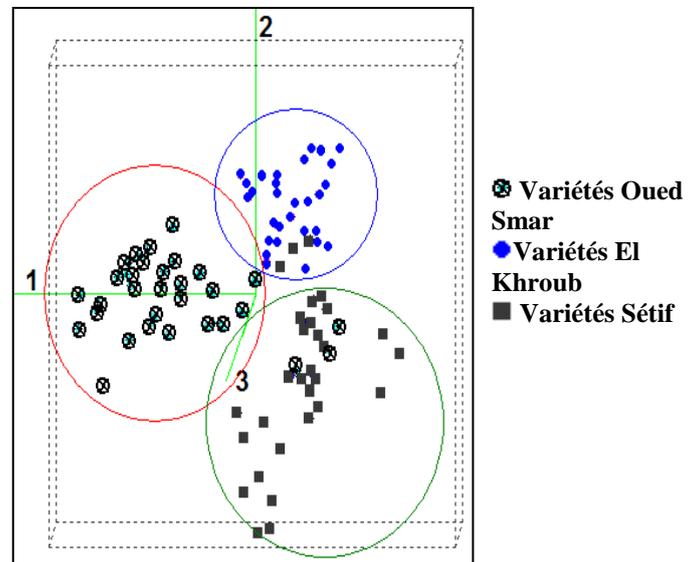
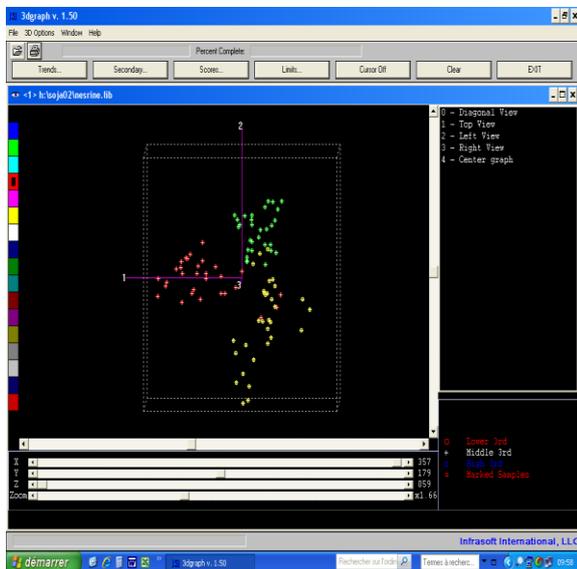
Ces résultats ont été présentés avec des spectres correspondants aux 10 variétés qui ont été semées et récoltées au niveau des trois lieux, le traitement mathématique (ACP sur spectre) transformant les données brutes en dérivée première a été appliqué sur les données spectrales des échantillons (**figure 29**), et un plan de 3D qui montre clairement l'effet lieu **figure 30 et 31**. Les variétés sont bien distinctes sur la base des spectres et le plan 3D montre qu'il y a un effet lieu sur les variétés et confirme l'interaction génotype X Environnement expliquées avec les axes opposés.

**Tableau 11 : Moyennes des paramètres de la qualité étudiés**

variétés	NIRS					proteine predites
	mitadin	carot	pmg	RDT	PS	
kh/1	15,5703333	3,079	41,2286667	71,4386667	82,2233333	15,9
kh/2	11,7383333	2,56933333	42,631	71,7066667	83,7106667	15,17
kh/3	6,91666667	2,99733333	2,99733333	72,793	85,4783333	16,6
kh/4	24,122	2,33033333	45,913	71,9086667	84,5323333	14,6
kh/5	24,176	2,937	46,629	71,78	86,086	14,6
kh/6	9,54966667	2,92833333	47,01	72,8626667	85,4933333	16,4
kh/7	11,4936667	3,42533333	40,5313333	72,6013333	82,708	17
kh/8	7,699	3,65233333	40,1576667	71,6456667	81,3706667	17,8
kh/9	23,1536667	3,054	40,7346667	70,8013333	83,2436667	15,3
kh/10	13,128	3,084	43,0183333	72,2693333	84,0856667	15,2
stf/1	37,4276667	3,48333333	40,562	70,674	84,591	14,4
stf/2	27,023	17,708	2,789	43,322	69,169	16,7
stf/3	33,9533333	2,91	47,6753333	71,809	87,5956667	14,6
stf/4	40,337	3,30633333	43,772	70,6536667	84,3413333	13,6
stf/5	19,4886667	3,85466667	42,8033333	71,0373333	84,3943333	17,2
stf/6	25,418	2,56533333	44,7623333	71,394	84,6483333	16,4
stf/7	30,173	2,00933333	44,374	71,2436667	86,826	13,1
stf/8	51,5563333	3,795	43,1746667	68,9506667	85,462	13,7
stf/9	68,6943333	2,662	45,8383333	69,4566667	86,6226667	12,6
stf/10	35,3556667	2,296	44,289	70,6163333	85,3846667	13,8
os/1	17,1946667	2,859	37,757	69,724	81,032	17,2
os/2	19,6356667	2,70033333	40,9863333	69,494	80,888	16,7
os/3	17,2046667	2,582	40,876	70,0706667	81,6356667	18,8
os/4	21,8896667	2,29233333	43,422	69,0486667	81,794	16,4
os/5	27,9403333	3,25533333	39,2753333	68,8503333	81,6753333	16,1
os/6	12,4086667	3,42266667	37,4713333	69,6773333	79,2273333	17,6
os/7	13,5196667	3,23133333	34,3856667	68,9786667	79,976	18,1
os/8	9,28866667	3,472	35,5296667	68,5243333	80,231	18,6
os/9	16,154	2,58733333	36,1496667	69,6136667	80,8326667	17
os/10	30,9956667	2,641	43,946	71,1743333	85,6146667	13,8



**Figure 29:** spectres de l'analyse avec le logiciel ( SAS) de la NIRS \_ analysis of spectrum with SAS logiciel of NIRS.



**Figure 30:** photos prise d'écran de la NIRS plan 3D (ACP) montre l'effet lieu sur les Variétés \_

**Figure 31:** plan 3D (ACP) montre l'effet lieu sur les variétés .

## 4.4.2 Résultats de l'analyse de la variance ANOVA et Test du Tukey

### 4.4.2.1 Résultats de l'analyse de la variance :

Les critères de qualité et de productivité obtenus ont été analysés par l'analyse de la variance ANOVA (**Tableau 11**) pour comparer le comportement de chaque variété au niveau des trois sites par variable.

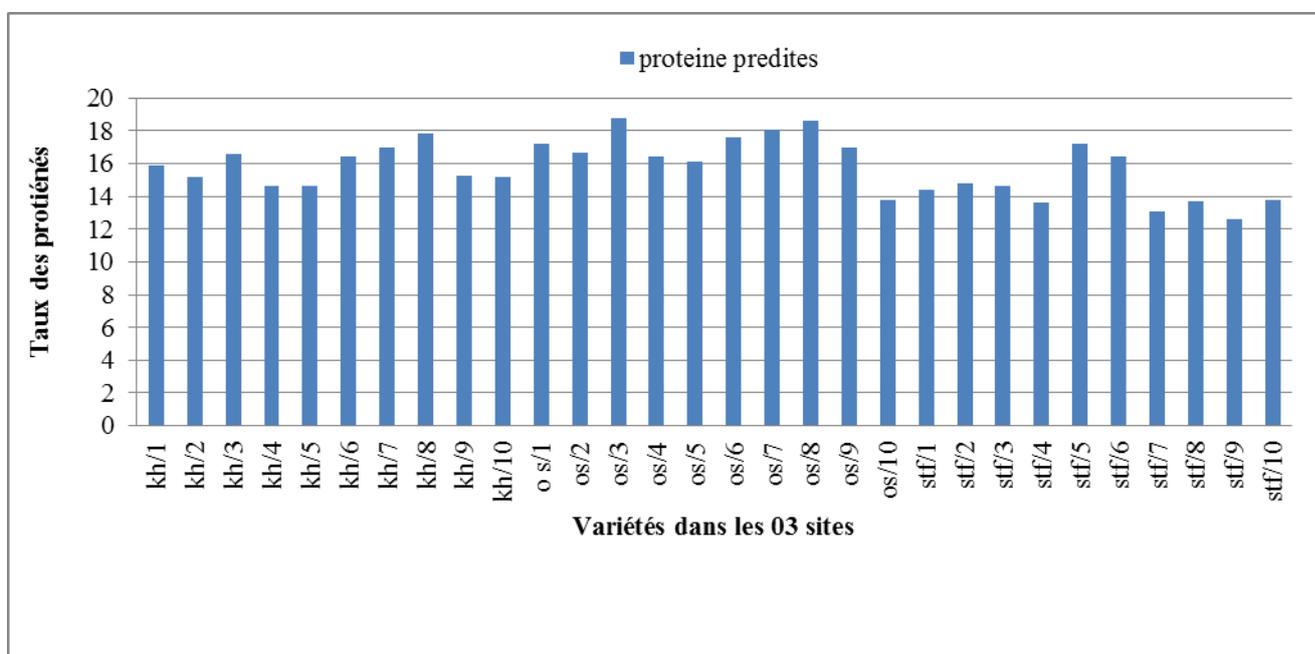
**Tableau 12** : Résultats de l'analyse de la variance des comparaisons entre les trois sites par variétés et par variable

		Variables						
		Protéine	P.M.G	Rdt	Poids spécifique	Mitadinage	Caroténoïdes	
Variétés dans les trois sites	V1	F <sub>obs</sub>	290,28	3,27	6,17	15,91	14,83	2,69
		P	0,000***	0,110 <sup>ns</sup>	0,035*	0,004**	0,005**	0,147 <sup>ns</sup>
	V2	F <sub>obs</sub>	39,48	1,04	7,90	15,89	14,89	0,25
		P	0,000***	0,408 <sup>ns</sup>	0,021*	0,004*	0,005**	0,787 <sup>ns</sup>
	V3	F <sub>obs</sub>	418,51	6,53	20,05	70,77	37,36	1,11
		P	0,000***	0,031*	0,002**	0,000***	0,000***	0,388 <sup>ns</sup>
	V4	F <sub>obs</sub>	187,75	1,76	4,84	11,88	8,21	2,31
		P	0,000***	0,251 <sup>ns</sup>	0,056*	0,008**	0,019*	0,180 <sup>ns</sup>
	V5	F <sub>obs</sub>	226,33	16,76	10,01	43,24	7,32	40,45
		P	0,000***	0,003**	0,012*	0,000***	0,025*	0,000***
	V6	F <sub>obs</sub>	25,33	25,64	9,77	40,14	8,49	3,11
		P	0,001***	0,001***	0,013*	0,000***	0,018*	0,118 <sup>ns</sup>
	V7	F <sub>obs</sub>	592,31	17,43	9,48	132,90	15,43	27,90
		P	0,000***	0,003**	0,014*	0,000***	0,004**	0,001***
	V8	F <sub>obs</sub>	341,41	20,21	11,50	25,58	52,23	1,29
		P	0,000***	0,002**	0,009**	0,001***	0,000***	0,342 <sup>ns</sup>
	V9	F <sub>obs</sub>	303,84	27,85	1,98	51,78	78,06	2,01
		P	0,000***	0,001***	0,219 <sup>ns</sup>	0,000***	0,000***	0,215 <sup>ns</sup>
	V10	F <sub>obs</sub>	62,61	0,79	3,88	6,82	18,19	6,67
		P	0,000***	0,498 <sup>ns</sup>	0,083 <sup>ns</sup>	0,029*	0,003**	0,030*

\* :significatif au seuil de 5%.  
 \*\* : Hautement significatif au seuil de 1 %  
 \*\*\*:Trèshaute ment significatif au seuil de 1 ‰  
 ns : Non significatif.

- **Les protéines : est le paramètre de qualité le plus important**

L'analyse de l'histogramme nous permet de constater que les variétés ne dépendent pas de la même manière au niveau des trois sites, quant à l'analyse de la variance (Tab03) il en ressort que les différences entre sites et entre les variétés sont très hautement significatives pour ce critère. Ce qui confirme que les taux des protéines sont très instables pour les variétés dans les différents sites. Fig 30

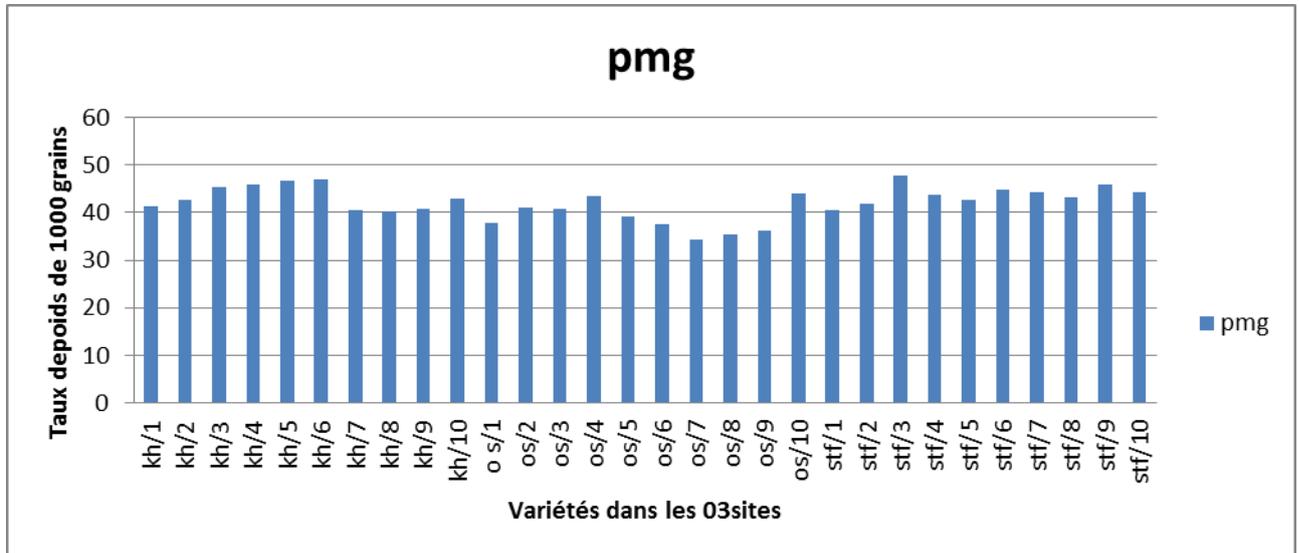


**Figure 32:** comparaison des taux des protienes des 10 variétés de blé dur pour les trois sites .

- **Le poids de 1000 grains :**

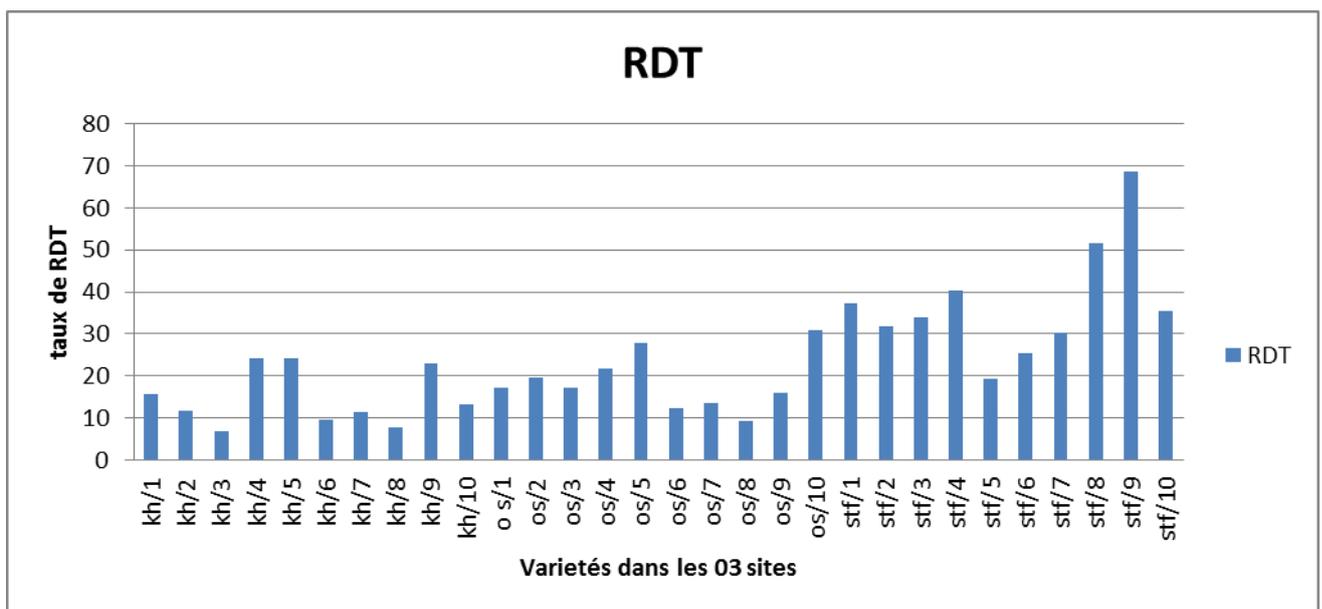
C'est un critère généralement peu maîtrisable car il est fortement lié aux effets de l'environnement, au moment de la formation et du remplissage du grain . un manque d'eau après la floraison combiné au température élevées( conditions fréquenté en algérie) entraine une diminution du poids de 1000grains par alteration de la vitesse et/ou de la durée de remplissage , ce qui se traduit par l'échaudage des grains ( Zouaoui , 1993 ; chaker 2003) .

L'analyse de la variance nous permet de constater qu'il ya une variation très hautement et hautement significative pour la majorité des variétés signe de défférence entre les variétés ., avec toutefois des résultats non significatifs pour V1,V2,V4,V10 .



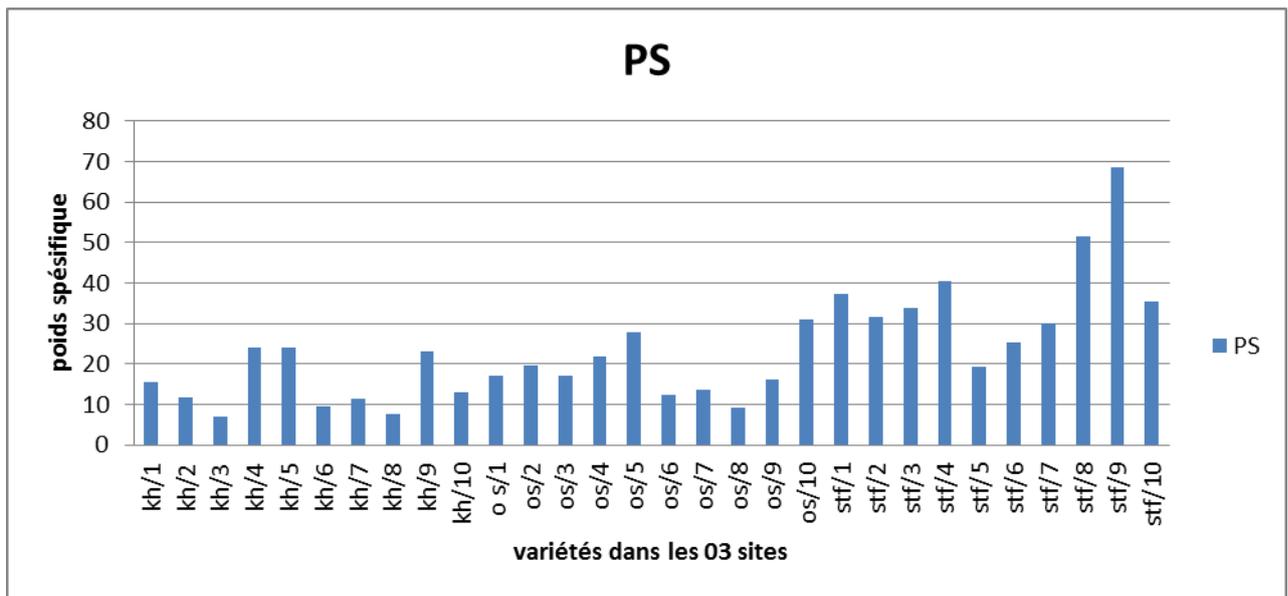
**Figure 33 :** comparaison des taux de poids de 1000 grains des 10 variétés de blé dur pour les trois sites .

**Le rendement :** l'étude de l'histogramme montre une variation pour le rendement de la même variété dans les différents sites , l'analyse des variétés au niveau des trois sites présente un résultat hautement significatif et significatif pour l'ensemble des variétés, ce qui confirme le changement de comportement de la même variété dans les trois sites, à l'exception du résultat non significatif des variétés 9 et 10 .



**Figure 34** : comparaison du taux de rendement des 10 variétés de blé dur pour les trois sites .

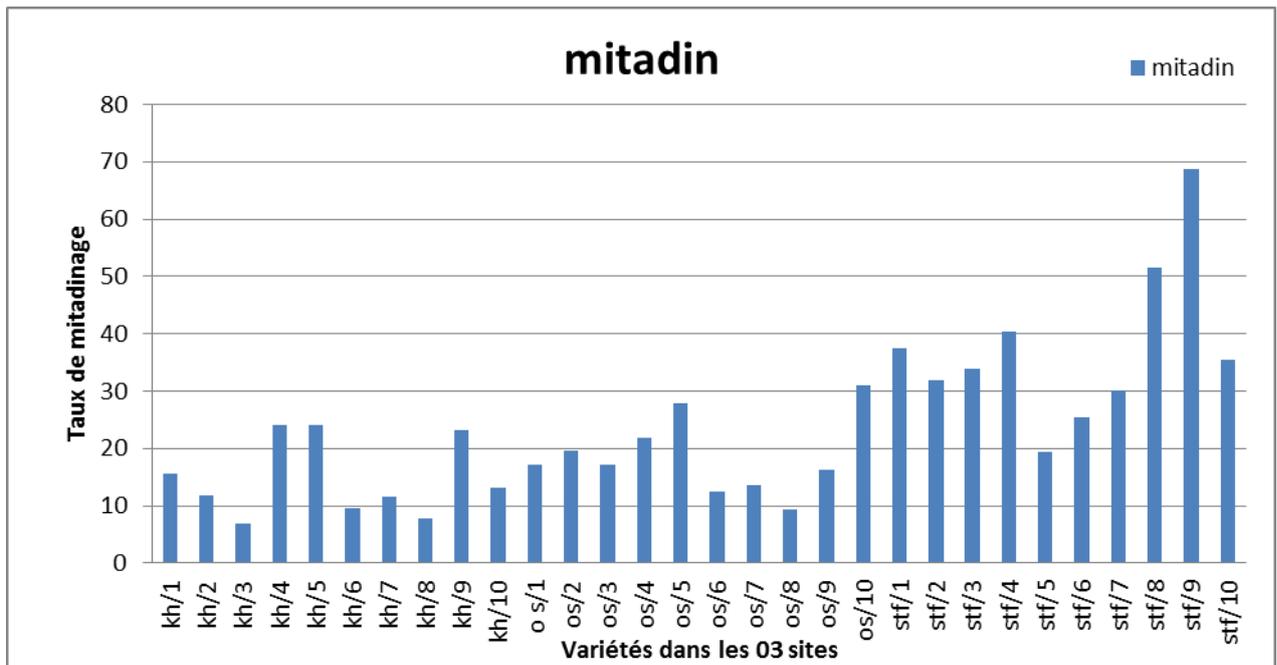
**Poids spécifique** : pour l'ensemble des variétés, l'histogramme et l'analyse de la variance confirment qu'il y'a une variation pour le comportement des variétés au niveau des sites et que les résultats du poids spécifique varie entre HS , THSet significatif , ce qui donne une grande variabilité pour la qualité semoulière .



**Figure 35** : comparaison du poids spécifique des 10 variétés de blé dur pour les trois sites .

**Mitadinage** : le taux de mitadinage est un critère d'appréciation déterminant dans le rendement et la qualité de la semoule et des produits dérivés (pâtes, couscous) .les grains endommagés, ayant une incidence sur le poids spécifique .(Feuillet, 2000 ; Desclaux et al 2005).

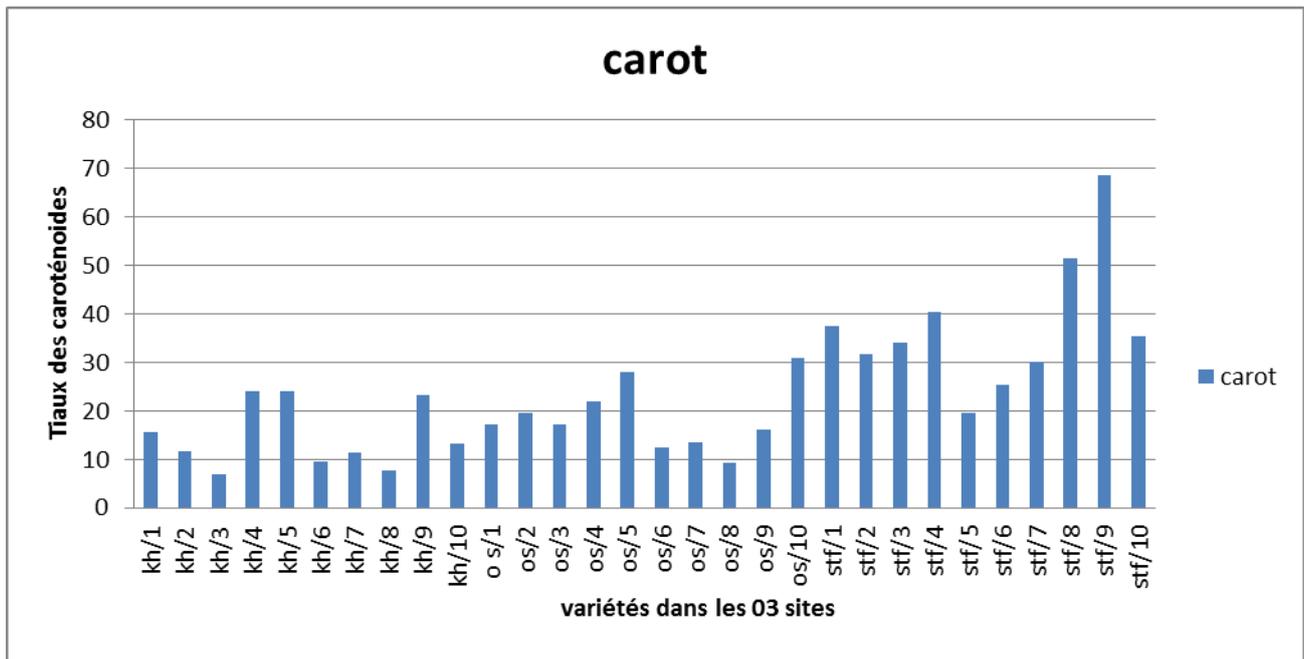
Le taux de mitadinage indiqué dans la figure 7 représente le pourcentage de grains non entièrement vitreux plus importante pour les variétés de sétif , les résultats trouvées par l'ANOVA présentes dans le tab 2 ne font que confirme les observations faite précédement . il existe des differences très hautement significatives , hautement significatives et significatives entre les sites .



**Figure36** : comparaison du taux de mitadinage des 10 variétés de blé dur pour les trois sites .

### **Caroténoïdes :**

les variétés présentent une quantité importante des caroténoïdes pour Le lieu de Oued Smar Figure 8 , L'ANOVA présente pour l'ensemble des variétés des résultats non significatif, sauf V5 et V7 qui présentent un résultat très hautement significatif .



**Figure 37 :** comparaison du taux de mitadinage des 10 variétés de blé dur pour les trois sites .

#### **4.4.2.2 Résultats de test du Tukey :**

A la lumière des résultats (tab 12) et (fig 39), il en ressort que les paramètres ou variables les plus en interaction avec l'environnement sont les protéines, le PMG, le PS et le mitadin.

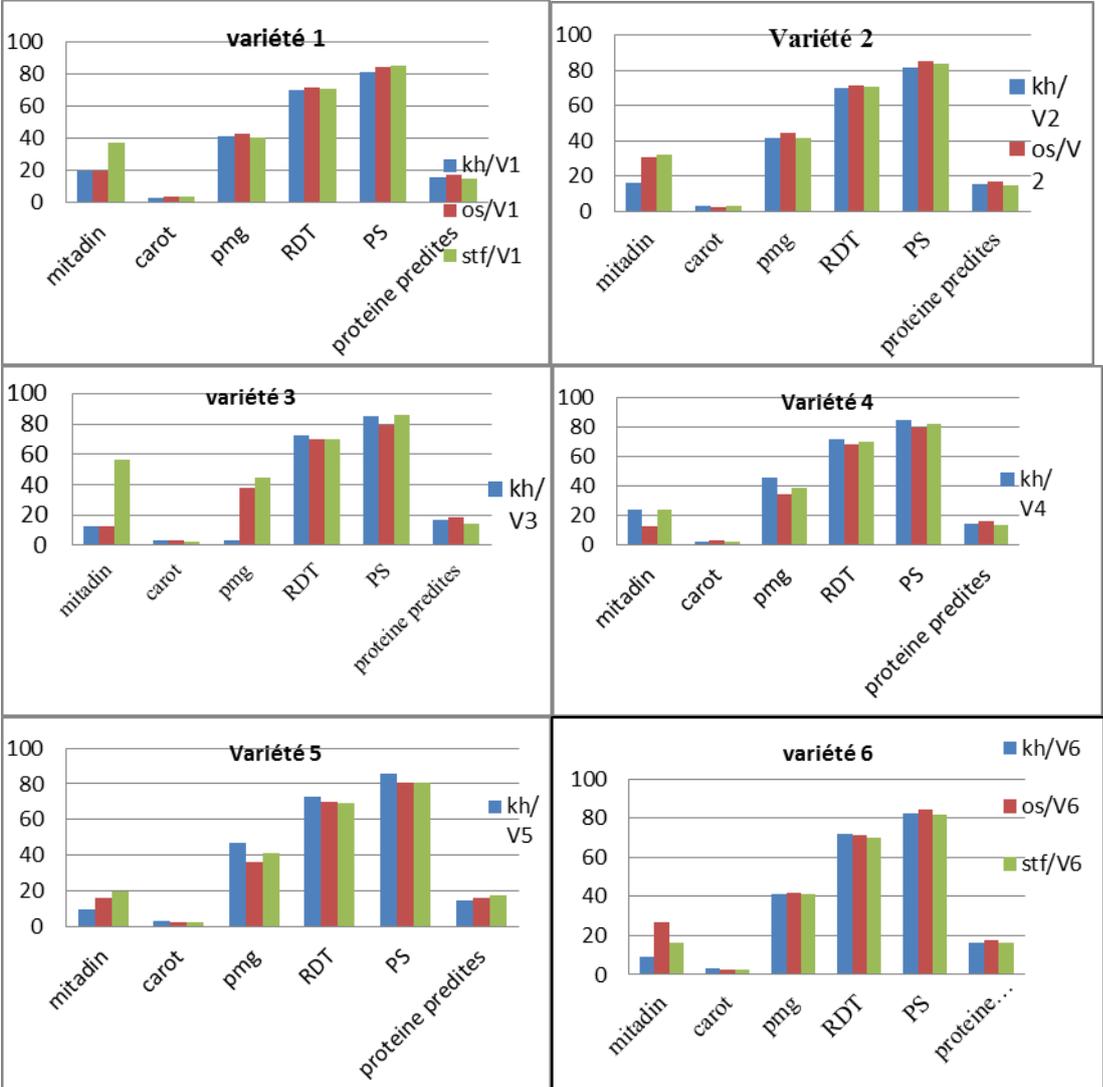
Il se trouve que les attributs sont des attributs exclusifs de la qualité et par conséquent, il est possible, suite à cette analyse de conférer une place privilégiée à ces caractères qui sont le résultat de l'interaction Génotype X milieu.

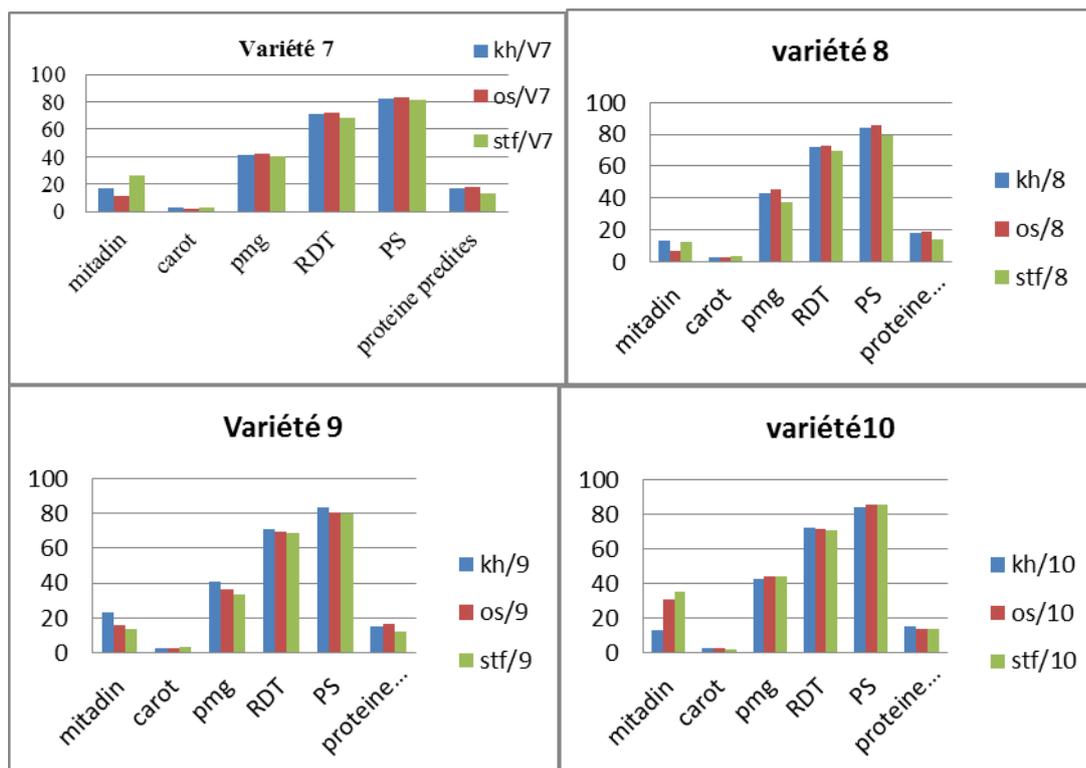
Cela suppose que toute stratégie pour élaborer un programme sur la qualité devait tenir compte de ces critères.

**Tableau 13** : groupement des variétés par station et pour chaque variable avec la méthode de Tukey. MINITAB16

		Variables					
		Protéine	P.M.G	Rdt	Poids spécifique	Mitadin	Carot
<b>Variétés dans les trois sites</b>	V1 K	B	A	A	B	B	A
	V1 S	C	A	A B	A	A	A
	V1 OS	A	A	B	B	B	A
	V2 K	B	A	A	A	B	A
	V2 S	C	A	A B	A	A	A
	V2 OS	A	A	B	B	B	A
	V3 K	A	A B	A	B	C	A
	V3 S	B	A	A	A	A	A
	V3 OS	A	B	B	C	B	A
	V4 K	B	A	A	A	B	A
	V4 S	C	A	A B	A	A	A
	V4 OS	A	A	B	B	B	A
	V5 K	C	A	A	A	A B	A
	V5 S	A	A B	A	B	B	C
	V5 OS	B	B	B	C	A	B
	V6 K	B	A	A	A	B	A
	V6 S	B	A	A B	A	A	A
	V6 OS	A	B	B	B	B	A
	V7 K	B	A	A	B	B	A
	V7 S	C	A	A B	A	A	B
	V7 OS	A	B	B	C	B	A
	V8 K	B	A	A	B	B	A
	V8 S	C	A	B	A	A	A
	V8 OS	A	B	B	B	B	A
	V9 K	B	B	A	B	B	A
	V9 S	C	A	A	A	A	A
	V9 OS	A	C	A	C	B	A
	V10 K	A	A	A	B	B	A
V10 S	B	A	A	A B	A	B	
V10 OS	B	A	A	A	A	A B	

Selon la figure 36 le comportement des variétés dans les trois station est différent ce que confirme l'interaction Génotype X Environnement et les variations entre les sites.





**Figure 38** : comparaison des paramètres de qualité des 10 variétés dans les trois stations.

#### 4.4.2.3 : Résultats de l'Analyse statistiques multi variée MANOVA :

Les trois tests de l'analyse multi variée montrent avec un résultat très hautement significatif une différence remarquable entre les variétés, les sites et les paramètres. (Tab13)

**Tableau 14** : résultats de l'analyse MANOVA (Multi variées) à l'aide des trois tests pour comparer entre les stations, l'ensemble des variétés et l'ensemble des variables.

Tests de Manova	Ensembles Variétés-Variables -Sites	
	F <sub>obs</sub>	P
<b>De Wilk</b>	10,896	0.000***
<b>Lawley-Hotelling</b>	47,745	0.000***
<b>De Pillai</b>	4,830	0.000***

**Conclusion :**

Si nous nous basons sur les résultats obtenus et qui sont appuyés par des diverses analyses multi variées et Anova , il est possible de confirmer l'hypothèse initiales selon laquelle les attributs de qualité, sont une fonction d'interdépendance du milieu et des génotypes.

Ces résultats qui confirment la complexité des bases biochimiques de la qualité et montrent bien évidemment que le jugement d'un nouveau blé pour cette objectif doit être effectué à partir d'expérimentation conduite sur plusieurs années aussi .

En effet, les nombreux résultats hautement à très hautement significatifs sont cette expression on même, en tant que réponse à la fois endogène des variétés, mais aussi exogène à cause des facteurs de l'environnement. Les variations significatives entre sites, montrent à quel point, il serait indispensable d'inclure les données du bioclimat dans le schéma intégrateur de sélection pour la qualité du blé dur.

## **Chapitre V : Analyse de la composition en protéines des blés par chromatographie liquide haute pression (SE-HPLC et RP-HPLC)**

### **Résumé :**

L'identification des cultivars de blé dur présentant une qualité bonne ou médiocre au moyen de l'analyse par HPLC. L'analyse de la composition en protéines des blés par chromatographie liquide haute pression (SE-HPLC et RP-HPLC) cette analyse améliore les performances de séparation en mettant la phase mobile sous pression (plus précis, plus rapide). HPLC a été utilisée pour amplifier les séquences de oméga, alpha, beta et gamma gliadines et de gluténines à faible poids moléculaire (SG-FPM ou LMW-GS provenant de l'ADN génomique des génotypes de blé dur.

**Mots clés :** HPLC- protéines de réserve du blé - Gluténines – Gliadines – Qualité – Blé dur

## 5.1. Introduction :

La qualité technologique des grains de blé est fortement influencée par les conditions de culture (climat, sol, pratiques culturales) et par la génétique. Les facteurs génétiques jouent principalement sur la composition en protéines tandis que les conditions de culture sont primordiales vis à vis de la quantité et de la proportion des différentes classes de protéines (**Ames *et al.*, 1999; Luo *et al.*, 2000**).

Sur la base de leur solubilité dans différents solvants, les protéines du blé ont été classées en albumines, globulines, gliadines et gluténines. Les albumines et les globulines appartiennent à la catégorie des protéines dites solubles (dans l'eau et les solutions salines), ce sont essentiellement les protéines nécessaires au métabolisme des cellules ; ces protéines sont peu intéressantes sur le plan technologique. Les gliadines et les gluténines appartiennent à la catégorie des protéines insolubles et constituent les protéines de réserve du grain. Elles sont plus ou moins solubles dans les alcools, les acides et les bases dilués et en présence de détergents. Ce sont ces deux dernières classes qui vont former le gluten. Les gliadines sont réparties en quatre familles : oméga, alpha, beta et gamma ; les gluténines sont divisées en gluténines de hauts poids moléculaires (SG- HPM ou HMW-GS en anglais) et en gluténines de faible poids moléculaires (SG-FPM ou LMW-GS).

## 5.2. Classification des protéines du grain de blé :

Les protéines blé peuvent aussi être classifiées sur la base de leur structure quaternaire, on distingue des protéines monomériques comme les gliadines, responsables des propriétés de viscosité et d'extensibilité des pâtes et des protéines polymériques comme les gluténines qui leur confèrent plutôt les propriétés d'élasticité et de ténacité. Les gluténines sont présentes dans le grain mature sous forme d'agrégats de tailles variables qui sont extrêmement importants dans la définition des propriétés technologiques des blés. La quantité et la distribution en taille des protéines polymériques et monomériques peut être mesurée par Chromatographie d'Exclusion Diffusion (Size Exclusion High Performance Liquid Chromatography ou SE-HPLC) et chez le blé tendre, elles ont été corrélées à la qualité boulangère (**Dachkevitch, et Autran, 1989**) (**Morelet *et al.*, 2000**). Chez le blé dur, la quantité de protéines polymériques a aussi été reliée aux propriétés rhéologiques des pâtes crues (**Edwards *et al.*, 2007**).

La quantité de gliadines est fortement influencée par les conditions agronomiques et augmente avec la fertilisation azotée, les variations de celle des oméga-gliadines et du rapport

SG-HPM sur SG-FPM seraient des indicateurs de la fertilisation soufrée (**Bar-L'Helgouac et al., 2004**).

### **5.3. Protéines et qualité technologique du blé dur**

Nous n'envisagerons brièvement ici, que l'impact des protéines de réserve dans le déterminisme de la qualité d'usage des blés et ceci en cohérence avec notre travail davantage consacré à l'étude du développement du grain, à l'accumulation des protéines et à l'assemblage des polymères de gluténine.

Le blé dur est principalement consommé sous forme de semoule et de pâtes alimentaires. Le rendement en semoule (valeur semoulière des grains) et l'aptitude des semoules à fournir des pâtes de qualité (valeur pastière), sont les deux paramètres critiques du potentiel de qualité des grains. Le rendement semoulier varie selon le poids du grain et sa vitrosité, alors que la qualité pastière dépend de la composition qualitative et quantitative en protéines.

La teneur en protéines est un critère de qualité fréquemment utilisé dans les échanges commerciaux. Elle est en effet essentielle à plus d'un titre dans la mesure où, fréquence du mitadinage et teneur en protéine sont des paramètres inversement reliés (**Dexter et al., 1988, Dexter et al., 1989, Samson et al., 2005**). Différents facteurs semblent être à l'origine du mitadinage, d'une part des facteurs environnementaux : apport azoté, climat, sol et d'autre part des facteurs génétiques. Selon (**Dexter et al., 1989**), le mitadinage serait lié à une diminution du contenu protéique du grain du fait d'un déficit de fertilisation azotée. Selon (**Matveef, 1963**), le rapport protéine sur amidon serait critique afin de saturer l'espace intergranulaire, en l'absence de quoi on assisterait à la formation de vacuoles d'air au sein de l'albumen qui devient poreux et d'aspect blanc caractéristique.

Les propriétés viscoélastiques des pâtes alimentaires sont en grande partie déterminées par les propriétés fonctionnelles des protéines de réserve du blé qui, à l'état hydraté, s'associent pour former une masse viscoélastique : le gluten. L'élasticité et la ténacité du gluten sont associées à la gluténine alors que la viscosité et l'extensibilité sont associées à la teneur en gliadine (**Wall, 1979**). Cette dernière constitue une phase "diluante" des gluténines. En agissant comme un compétiteur des liaisons intermoléculaires entre les polymères de gluténine, elle contribuerait à diminuer l'élasticité du gluten et à en augmenter l'extensibilité. L'élasticité du polymère de gluténines dépend de la nature des sous-unité entrant dans sa composition (**MacRitchie et al., 1991, Gupta et al., 1992, Khatkar et al., 2002**). Bien que les SGHPM ne représentant pas plus de 10% des protéines totales ou encore 20% de la fraction gluténine chez le blé tendre, elles influent directement sur la qualité de la pâte en

panification et sont considérées comme responsables pour 45-70% de la variation de la performance boulangère des blés européens (**Branlard & Dardevet, 1985, Payne *et al.*, 1987**). Par ailleurs, l'encombrement en taille des polymères, évalué notamment à travers la fraction de polymères insolubles dans les solutions de SDS, est un facteur clef de l'élasticité du gluten (**Singh *et al.*, 1990b, MacRitchie *et al.*, 1991, Gupta *et al.*, 1992, Popineau *et al.*, 1994, Flagella *et al.*, 2010**).

L'encombrement en taille des polymères de gluténines et leur contenu en SG-HPM sont d'ailleurs des paramètres fortement liés (**Popineau *et al.*, 1994**). La situation est différente chez le blé dur où l'absence du génome D entraîne une diminution de la proportion de SG-HPM. l'effet est également qualitatif puisque avec la disparition du locus Glu-1D ce sont les SG-HPM qui deviennent les plus importantes pour l'élasticité des gluténines qui disparaissent. Dans le cas des blés durs et contrairement au blé tendre, la qualité viscoélastique du gluten a surtout été évaluée après traitement thermique. A cru, les glutens de blé dur présentent une élasticité et une ténacité nettement inférieures à celles des glutens de blé tendre. Par contre, après un traitement thermique, la classification s'inverse et les glutens de blé dur s'avèrent plus tenaces et élastiques (**Damidaux *et al.*, 1978**). Les propriétés rhéologiques des glutens de blé dur thermoformés sont directement liées à leur composition et à leur teneur en SG-FPM. Ce sont les SG-FPM du groupe B codées par le locus Glu- B3 qui exercent l'effet le plus marqué (**Masci *et al.*, 2000, Edwards *et al.*, 2003, D'Ovidio & Masci, 2004, Edwards *et al.*, 2007**). D'un génotype à l'autre, la différence de qualité rhéologique du gluten serait davantage liée aux taux d'expression des sous-unités selon les allèles, plutôt qu'à des différences structurales (**Autran *et al.*, 1987, Morel & Autran, 1990**).

#### **5.4. Effets agro-climatiques : azote, stress hydrique, températures élevées sur les protéines de réserve du grain de blé**

Les caractéristiques intrinsèques de la qualité des cultivars de blé sont fortement liées aux conditions agro-climatiques au moment du développement et de la maturation du grain et/ou à l'interaction de ces conditions avec leur génotype.

Avant la floraison, les conditions environnementales peuvent affecter la germination, la photosynthèse, le tallage, l'inflorescence, le nombre et le volume des ovules et donc leur

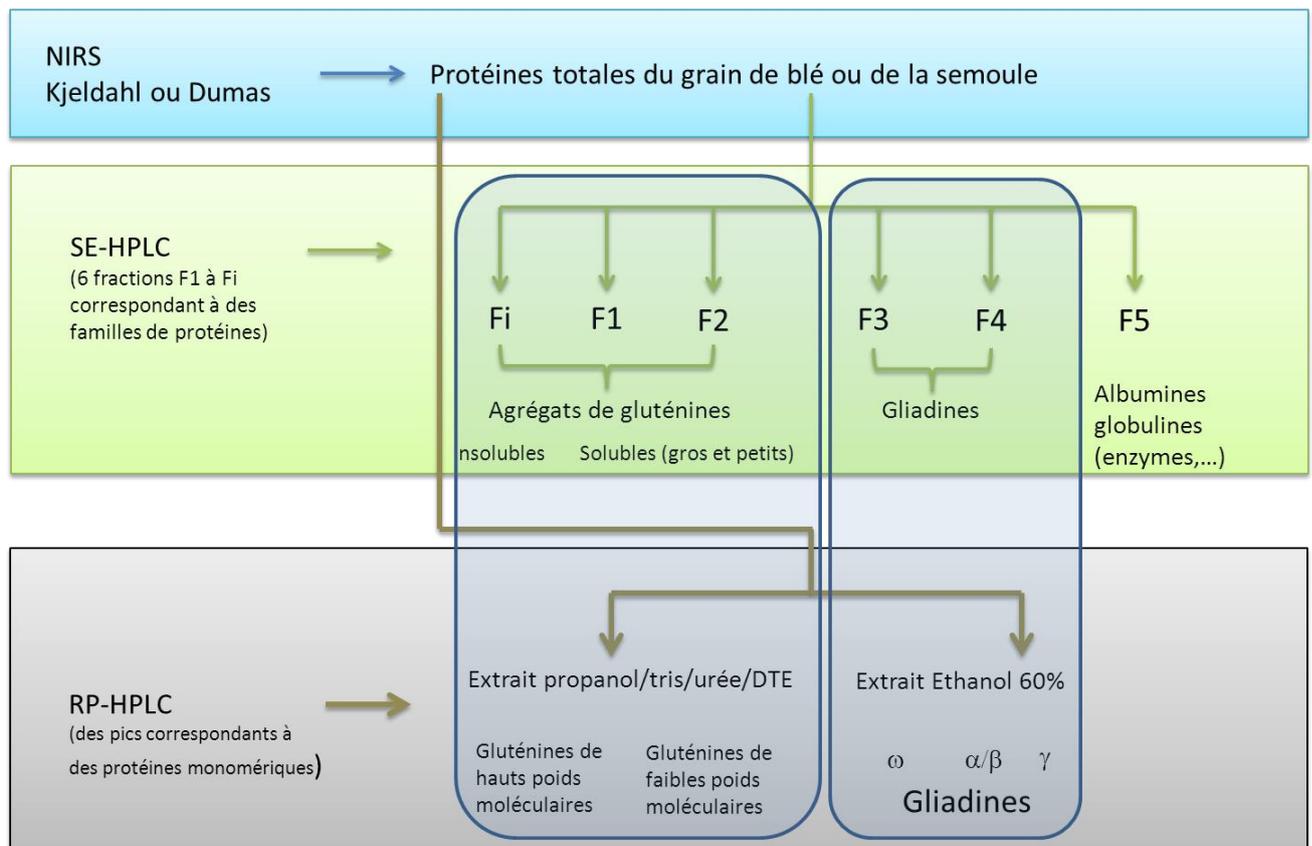
fertilité (Egli, 1998). Après la floraison, l'effet se porte principalement sur la taille du grain et sur sa composition (DuPont & Altenbach, 2003).

De nombreux travaux réalisés en conditions contrôlées ont permis de mettre en évidence les effets de la luminosité (Sofield *et al.*, 1977a), de la température, de la fertilisation azotée et de la sécheresse (Sofield *et al.*, 1977a, Wardlaw *et al.*, 1980, Brooks *et al.*, 1982, Wardlaw *et al.*, 1989, Altenbach *et al.*, 2003, Gooding *et al.*, 2003) sur les composantes du remplissage du grain, sur sa taille et sa composition à maturité.

## 5.5. Matériel et méthodes :

### 5.5.1 Les différentes méthodes pour quantifier et évaluer les protéines du grain de blé

Il existe différentes méthodes pour quantifier et qualifier les protéines du grain de blé et des produits céréaliers. La spectroscopie proche infra-rouge (NIRS) ainsi que les méthodes de Kjeldahl et de Dumas vont permettre de quantifier les protéines totales (Azote x 5.7). Les techniques chromatographiques, comme la SE-HPLC ou la RP-HPLC vont permettre de quantifier respectivement les grandes familles des protéines du grains ou individuellement les protéines de réserve (Figure 40).



**Figure 39 :** Méthodes de quantification des protéines du grain de blé.

L'étude a été réalisée sur 10 variétés de blé dur ( *Triticum durum* Desf ) (Tab 01 chapitreI) des trois sites : el Khroub,Oued Smar et Sétif (chapitre III et IV)

Cette analyse nous a permis de réaliser une HPLC (**chromatographie liquide haute pression (SE-HPLC et RP-HPLC)**) qui est une méthode permettant de décrire la séparation et la quantification par chromatographie de tamisage moléculaire des différentes classes protéique du blé dur ( mouture complète, semoules, fractions de mouture) , d'un gluten ou produits réalisés à partir de ces différentes matières premières.

Ce travail été réalisé au niveau de l'INRA supagro Montpellier sous la direction de Marie – Françoise Samson .Pour chaque analyse, trois répétitions ont été réalisée pour chacun des génotypes étudiés.



**Figure 40** : INRA supagro -Montpellier.



**Figure 41** : photos de HPLC.

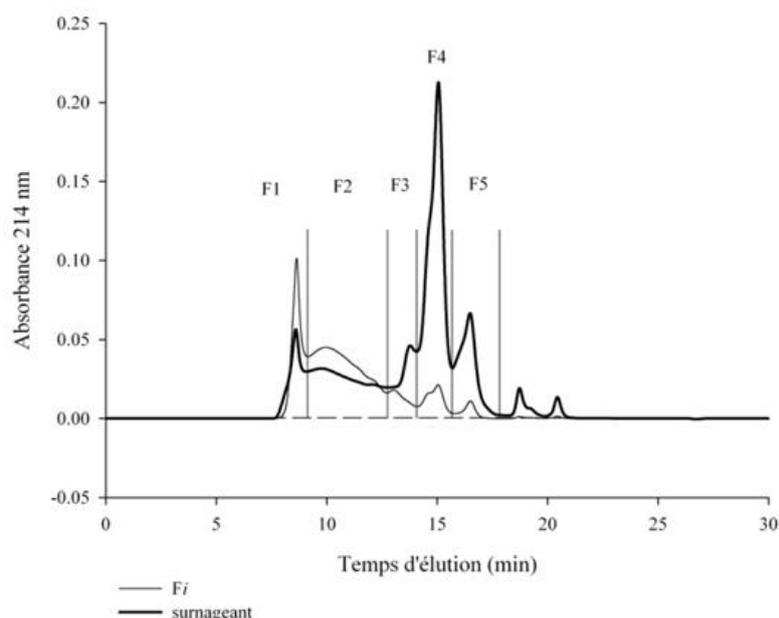
### **5.5.2 Analyse de la composition en protéines des grains de blé par SE-HPLC**

Les protéines totales du blé sont extraites à partir des grains broyés et/ou réduits en farines selon (**Dachkevitch et Autran ,1989**) avec quelques modifications. Ainsi, 160 mg de farine sont mis en suspension dans 20 mL de tampon phosphate de sodium 0.1M pH 6.9 contenant 1% (p/v) de détergent (dodécyl sulfate de sodium ou SDS) et agités pendant 80 minutes à 60°C. Après centrifugation, les protéines extraites dans le tampon sont séparées par chromatographie d'exclusion-diffusion (SE-HPLC) en fonction de leur poids moléculaire sur une colonne TSKgel G 4000 SW<sub>XL</sub> (7.8 mm I.D. x 30 cm, Tosoh Biosep, Sigma Aldrich, France) selon (**Dachkevitch et Autran 1989**). Le culot d'extraction contenant la fraction protéique insoluble dans le détergent (Fi) est ré-extrait avec le même tampon (5 mL) et les protéines résiduelles sont solubilisées à l'aide d'ultrasons selon la procédure décrite par (**Morel et al .,2000**) pendant 3 min à 7.5 watts. Après centrifugation, les protéines solubilisées à partir du culot sont séparées sur la même colonne. Pour un même échantillon de blé, les deux chromatogrammes obtenus sont présentés **Figure 43**.

Le chromatogramme est divisé en 5 fractions : F1 à F5 (**Figure 43**). La fraction notée F1 correspond à des agrégats protéiques ou polymères de très hauts poids moléculaires (> 630 000 daltons). Ces agrégats sont composés de gluténines de faibles et de hauts poids

moléculaires (SG-FPM et SG-HPM). La fraction F2 (630 000-116 000 daltons) correspond à des agrégats de gluténines plus petits. La fraction F3, comprise entre 116 000 et 65 000 daltons, englobe des SG-FPM monomériques et surtout des oméga-gliadines et des albumines de hauts poids moléculaires. La fraction F4 (65 000-21 000 daltons) est composée essentiellement de gliadines tandis que la fraction F5 (< 21000 daltons) contient les albumines et les globulines.

Les albumines et les globulines appartiennent à la catégorie des protéines dites "solubles" (dans l'eau et les solutions salines), ce sont essentiellement les protéines nécessaires au métabolisme cellulaire ; ces protéines sont peu intéressantes sur le plan technologique. Les gliadines et les gluténines appartiennent à la catégorie des protéines insolubles et constituent les protéines de réserve du grain. Elles sont plus ou moins solubles dans les alcools, les acides et les bases dilués et en présence de détergents. Ce sont elles qui vont former le gluten. Les gliadines sont des protéines monomériques responsables des propriétés de viscosité et d'extensibilité des pâtes alors que les gluténines leur confèrent plutôt les propriétés d'élasticité et de ténacité. Les gluténines sont présentes dans le grain mature sous forme polymérique c'est à dire qu'elles sont associées entre elles pour former des polymères ou agrégats de tailles variables. Les ultrasons sont utilisés pour solubiliser les agrégats les plus gros. Le % d'UPP (unextractable polymeric protein) correspond à la quantité de polymères non solubilisés lors de la première extraction ( $F_i$ ) exprimée en % des polymères totaux ( $F_i+F_1+F_2$ ).



**Figure 42 :** Chromatogrammes SE-HPLC types obtenus à partir d'une variété de blé dur

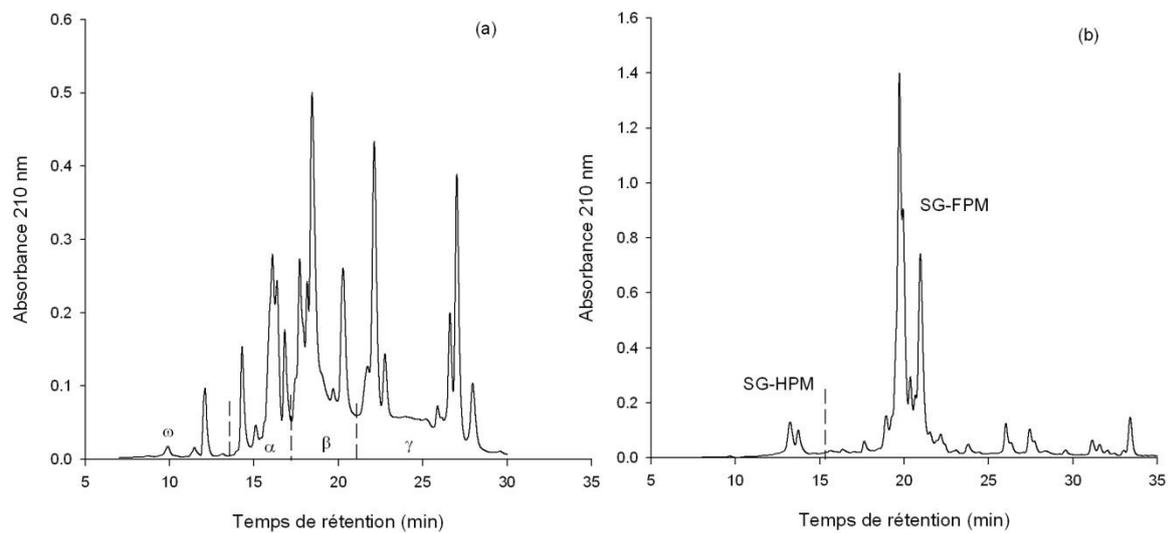
### 5.5.3 Analyse de la composition en gliadines et gluténines de grains de blé par RP-HPLC

L'extraction des gliadines et des gluténines est réalisée selon (Wieser et Seilmeier,1998) à partir de 50 mg de mouture de grains entiers. Les albumines/globulines sont d'abord éliminées par deux lavages successifs (10 min sous agitation à température ambiante) avec un tampon  $\text{HKNaPO}_4$ , 0,067 M,  $\text{NaCl}$ , 0,4M, pH 7,6 (500  $\mu\text{L}$ ). Après chaque lavage, la suspension est centrifugée à 6000 g pendant 15 min et le surnageant est éliminé. Après le deuxième lavage, les gliadines sont extraites en reprenant le culot avec 500  $\mu\text{L}$  d'éthanol 60% (v/v). L'extraction est faite sous agitation pendant 10 min à température ambiante et la suspension est ensuite centrifugée pendant 20 min à 6000 g. Le surnageant est conservé et le culot est ré-extrait 2 autres fois dans les mêmes conditions. Les surnageants sont additionnés (=1500  $\mu\text{L}$ ) et conservés. Le culot résiduel est à nouveau repris pour l'extraction des gluténines avec un mélange (500  $\mu\text{L}$ ) Propanol-1 50% (v/v) - Tris HCl 50 mM – Urée 2M – dithioérytritol 1% (p/v). La suspension est mise sous gaz neutre (argon ou hélium) et incubée à 60°C pendant 30 min avec une agitation intermédiaire au bout de 15 min avant d'être centrifugée comme précédemment. Le surnageant est conservé et le culot est repris une nouvelle fois dans les mêmes conditions. Le surnageant est additionné au précédent (= 1mL).

Les gliadines et les gluténines contenues dans les deux extraits sont séparées sur une colonne C18 (250 x 2,1, 5  $\mu\text{m}$ , 300 Å) ACE (AIT, Houille, France) dans les conditions décrites par

(Samson *et al.*, 2005). Les chromatogrammes obtenus pour extraits gliadines (a) et gluténines (b) sont présentés figure 2. Les gliadines sont divisées en 3 classes : gliadines, gliadines et gliadines. Les gluténines sont séparées en SG-FPM et SG-HPM.

Les différents chromatogrammes obtenus sont présentés Figures 44a et 44b.



**Figure 43 :** Chromatogrammes RP-HPLC obtenus pour (a) les gliadines et (b) les gluténine



**Figure 44 :** préparation des variétés pour la chromatographie liquide haute pression (SE-HPLC et RP-HPLC)

## 5.6 Résultats et discussion :

La composition en protéines du gluten est un des facteurs principaux de la qualité technologique des blés durs. Le gluten est composé majoritairement de deux grandes familles de protéines : les gliadines solubles dans les solutions alcooliques et les gluténines, protéines polymériques, extractibles dans des conditions plus drastiques (utilisation de détergents, d'ultrasons...). Les premières études sur la relation composition protéique/qualité technologique des blés durs ont mises en évidence un lien entre gamma gliadines de type 42 et gluten faible et gamma gliadines de type 45 et gluten fort (Autran, and Feillet, 1987). (Autran *et al.*, 1987) Par la suite, il a été montré que les sous unités gluténines de faible poids moléculaire (SG-FPM ou LMW-GS) codées par des gènes proches de ceux codant pour les gamma gliadines étaient en fait responsables de la différence de qualité entre les glutes. Deux types de profils de SG-GPM : LMW-1 (associées au gliadines gamma 42) et LMW-2 (associées au gliadines gamma 45) expliquent en grande partie la qualité du gluten de blé dur (Damidaux *et al* 1978, Pogna *et al* ., 1988 , Pogna.,1990, Ruiz and Carrillo, 1995). Autran, *et al* 1987) .Si l'on considère les sous unités gluténines de hauts poids moléculaires (SG-HPM ou HMW -GS), il a été montré, comme chez le blé tendre qu'il existe une relation entre le type de gluténines et la qualité des pâtes, en particulier la supériorité des types 6+8 ou 7+8 par rapport au type 20.( Autran and Feillet, 1987).

### 5.6.1 Descriptif du Dossier Hacini Nesrine



#### Le dossier "Extractions EtOH" contient :

- Un dossier "*EtOH jour1*" contenant des fichiers .arw (1 par échantillon à importer dans Excel, avec la 1<sup>ère</sup> colonne correspondant au temps d'éluion et la 2<sup>ème</sup> correspondant à l'absorbance à 210 nm) et un fichier .ars (à ouvrir avec Excel) donnant les % de chaque classe de gliadines pour tous les échantillons du dossier.
- Un dossier "*EtOH jour2*" contenant des fichiers .arw (1 par échantillon) et un fichier .ars donnant les % de chaque classe de gliadines pour tous les échantillons du dossier.

- Un fichier Excel "*Extraits EtOH*" organisé en 4 onglets (il est constitué à partir des .arw précédents) :
  - Onglets "*Données brutes*" → la première colonne correspond au temps d'élution, la deuxième colonne correspond à l'absorbance à 210 nm de l'éthanol 60%, les autres colonnes correspondent à l'absorbance à 210 nm pour 17 échantillons (il faudra ajouter les 13 autres (fichiers .arw dans "EtOH jour 2")
  - Onglets "*Données moins EtOH*" → la colonne EtOH a été retranchée à la colonne de chaque échantillon
  - Onglet "*Données 7-35 min*" → Les lignes entre 0 et <7 min puis au-delà de 35 min sont éliminées
  - Onglet "*Données normalisées*" → en fin de chaque colonne faire la somme des lignes (aire totale) et recalculer chaque valeur de temps de manière à avoir l'aire totale égale à 100

**Le dossier "*Extraits ProOH*" contient :**

- 30 fichiers .arw correspondant aux extraits propanol (gluténines) des 30 échantillons qu'il faut regrouper en un seul et même fichier Excel après avoir soustrait la valeur du solvant propanol (ci-dessous)
- Un fichier Excel "*solvant Propanol*" qui contient les données d'absorbance du solvant propanol à retrancher aux données des échantillons

**Les dossiers "*SE-HPLC jour 1*" ; "*SE-HPLC jour1 pm*" ; "*SE-HPLC jour2*" ; "*SE-HPLC jour2 pm*" ; "*SE-HPLC jour2 soir*" contiennent :**

- des fichiers .arw
- les fichiers Excel correspondant plus les fichiers début.xls et référant.xls ayant servis à générés les fichiers Excel

**3 fichiers Excel "*Résultats Extraits EtOH*" ; "*Résultats Extraits ProOH*" et "*résultats SE-HPLC*" regroupant les données extraites des fichiers de données brutes :**

- "*Résultats Extraits EtOH*" regroupe pour chaque échantillon le % de chaque classe de gliadines (omega, alpha/beta et gamma)
- "*Résultats Extraits ProOH*" regroupe pour chaque échantillon les proportions de gluténines de faible (LMW) et de haut (HMW) poids moléculaires. Il est intéressant de calculer le rapport HMW/LMW.

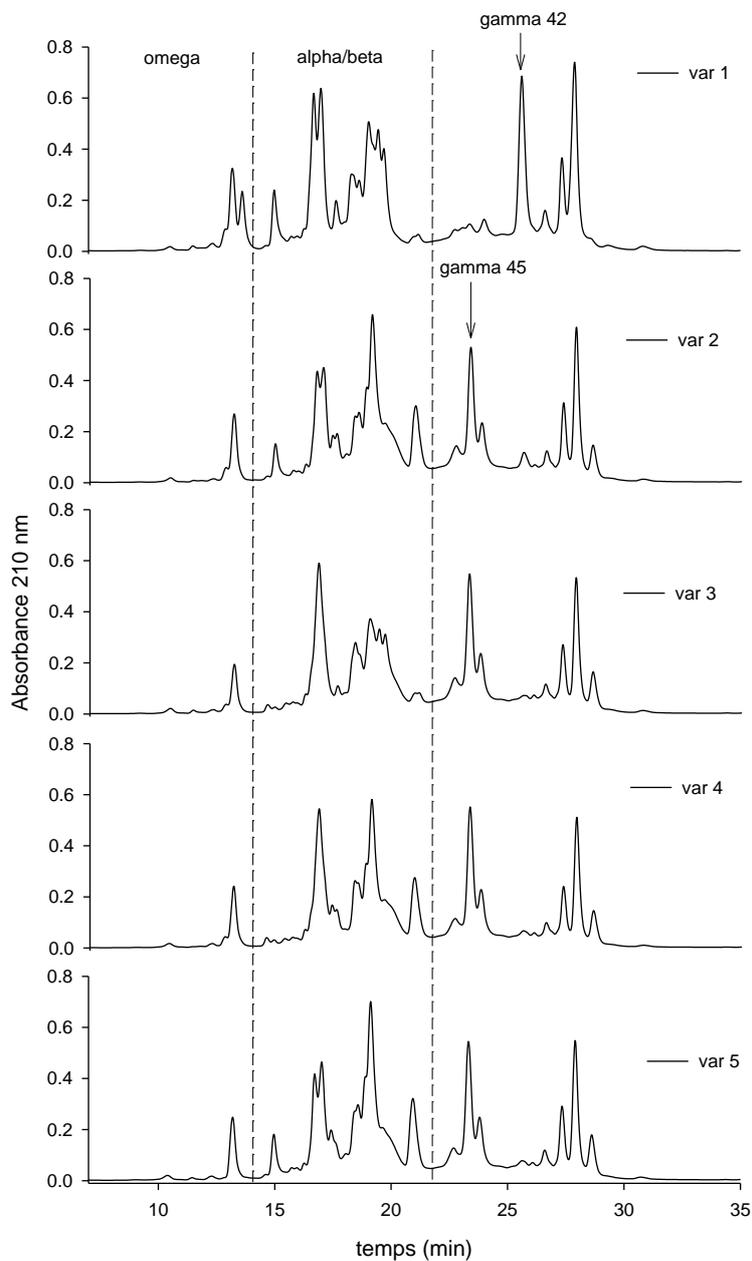
- "*résultats SE-HPLC* " centralise les données de SE-HPLC avec le % de chaque famille de protéines (%F1=très gros agrégats de gluténines, %F2=agrégats de gluténines moyens, %F3=albumines de hauts poids moléculaires et omega gliadines, %F4=gliadines et %F5=albumines globulines, %Fi=fraction d'agrégats de gluténines très agrégés, libérée par les ultrasons, %UPP=Unextractable PolymericProteins ou expression de Fi en % des gluténines totales) ; la teneur en protéines (exprimée par rapport à la matière humide et le rapport Gliadines sur Gluténines (Glia/Glu)

**Tableau 15** : Résultats de SE-HPLC et RP-HPLC

	Echantillons	traitement	SE-HPLC							RP-HPLC					
			%F1	%F2	%F3	%F4	%F5	%UPP	Glia/Glu	HMW glu	LMW glu	HMW/LMW	omega	alpha/beta	gamma
V1K	V1	K	4,8	16,0	13,1	43,8	13,6	29,8	1,48	17,8	82,2	0,22	29,0	31,2	39,8
V1S	V2	K	7,6	20,7	9,9	40,0	13,0	23,8	1,08	18,4	81,6	0,23	25,1	32,6	42,4
V1 OS	V3	K	5,8	18,8	9,5	38,6	13,7	35,6	1,01	14,6	85,4	0,17	22,5	37,8	39,8
V2K	V4	K	5,7	18,6	9,6	39,4	13,2	35,7	1,04	16,8	83,2	0,20	21,3	38,2	40,5
V2S	V5	K	5,4	18,5	10,2	39,1	13,5	35,5	1,05	11,7	88,3	0,13	19,9	39,5	40,6
V2 OS	V6	K	4,5	16,8	10,3	39,8	13,7	41,3	1,10	12,6	87,4	0,14	20,5	39,8	39,8
V3K	V7	K	7,0	20,3	10,3	43,0	13,4	18,2	1,29	16,1	83,9	0,19	22,6	33,4	44,0
V3S	V8	K	5,0	16,9	9,8	40,1	12,1	42,3	1,05	12,8	87,2	0,15	22,2	35,5	42,3
V3 OS	V9	K	5,6	18,3	10,2	39,4	13,4	35,6	1,06	14,0	86,0	0,16	21,1	37,5	41,4
V4K	V10	K	6,1	18,5	10,0	41,1	13,5	30,2	1,16	17,5	82,5	0,21	22,1	37,5	40,4
V4S	V1	S	4,8	16,0	11,5	40,6	16,7	33,6	1,30	10,1	89,9	0,11	20,3	40,4	39,3
V4 OS	V2	S	6,8	19,6	10,4	37,6	16,2	26,5	1,05	13,5	86,5	0,16	20,7	37,5	41,8
V5K	V3	S	5,7	18,4	8,7	37,8	14,8	37,6	0,98	16,4	83,6	0,20	21,5	38,3	40,2
V5S	V4	S	8,0	20,9	8,5	34,0	15,0	32,1	0,80	10,8	89,2	0,12	20,5	39,0	40,5
V5 OS	V5	S	5,1	18,3	9,2	37,9	13,9	39,9	0,97	11,5	88,5	0,13	18,3	41,0	40,7
V6K	V6	S	4,4	16,6	9,8	39,4	15,3	40,7	1,11	15,9	84,1	0,19	22,6	37,4	40,0
V6S	V7	S	7,2	19,7	9,2	39,2	17,0	22,1	1,14	13,3	86,8	0,15	21,0	38,3	40,7
V6 OS	V8	S	5,3	18,0	10,1	36,1	16,7	37,2	0,97	11,9	88,1	0,14	19,9	40,5	39,7
V7K	V9	S	5,9	18,7	9,8	34,8	17,4	35,4	0,92	16,0	84,0	0,19	24,3	39,0	36,7
V7S	V10	S	6,3	18,9	10,3	37,3	17,4	27,7	1,07	12,1	87,9	0,14	21,3	41,6	37,1
V7 OS	V1	OS	5,1	18,6	11,2	38,9	16,3	29,5	1,16	14,4	85,6	0,17	20,9	40,4	38,8
V8K	V2	OS	6,2	20,0	9,8	37,8	15,6	28,9	1,03	15,1	84,9	0,18	24,9	37,9	37,2
V8S	V3	OS	5,4	19,1	10,2	37,0	16,1	33,2	1,01	13,0	87,0	0,15	19,3	42,4	38,3
V8 OS	V4	OS	5,7	19,4	10,2	36,4	16,5	32,2	0,99	12,2	87,8	0,14	19,6	40,4	40,0
V9K	V5	OS	5,4	19,8	10,3	35,9	16,2	32,9	0,95	16,0	84,1	0,19	22,1	37,5	40,4
V9S	V6	OS	6,7	20,7	9,9	38,1	15,9	23,9	1,06	13,1	87,0	0,15	19,1	39,6	41,4
V9 OS	V7	OS	6,0	19,5	10,2	38,7	15,3	28,9	1,08	14,7	85,3	0,17	20,0	38,9	41,2
V10K	V8	OS	5,0	18,6	10,4	36,6	15,3	37,1	0,97	14,9	85,1	0,18	23,6	38,3	38,1
V10S	V9	OS	5,3	18,7	10,5	37,3	16,0	33,8	1,03	12,3	87,8	0,14	20,5	40,5	39,0
V10 OS	V10	OS	6,0	18,6	10,3	37,5	17,3	29,7	1,07	12,7	87,3	0,15	20,7	41,3	38,0

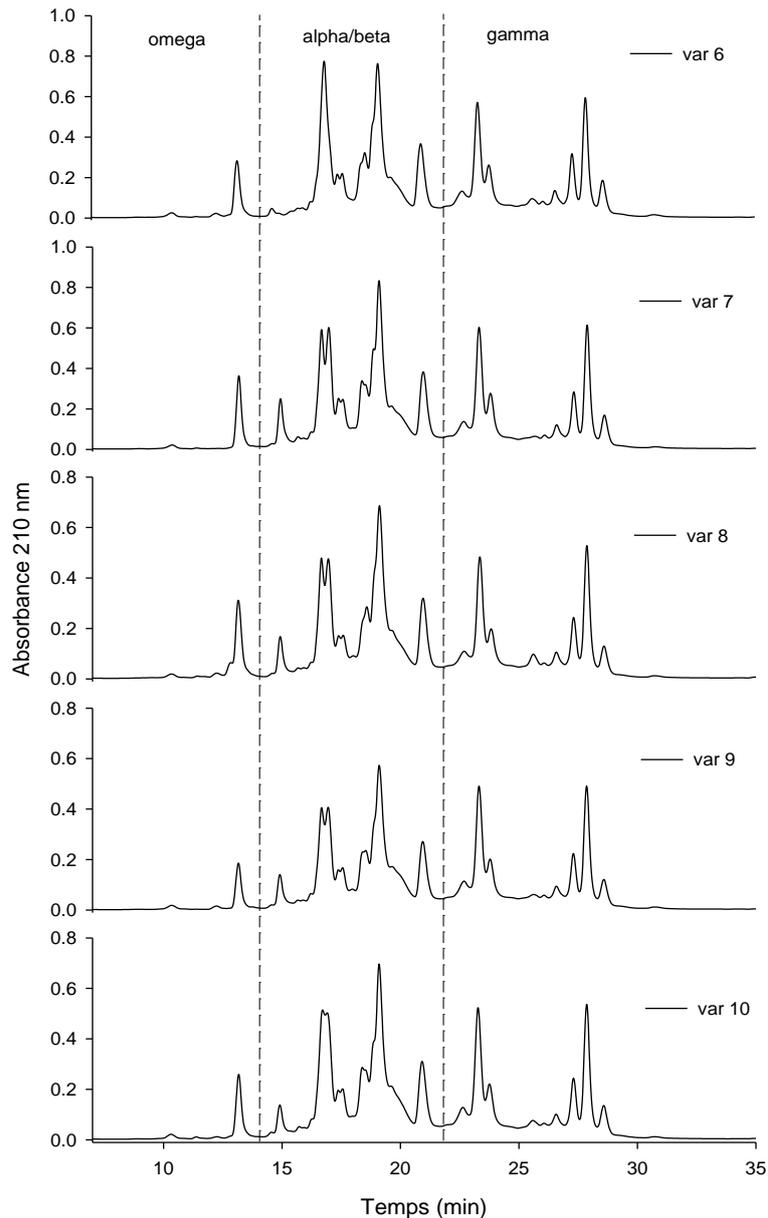
### 5.6.2 Composition en gliadines et en gluténines des variétés étudiées

Les profils RP-HPLC des gliadines (Figures 46a et 46b) et des gluténines (Figures 47a et 47b) montrent à la fois des différences génétiques entre celles-ci mais aussi une certaine similarité.

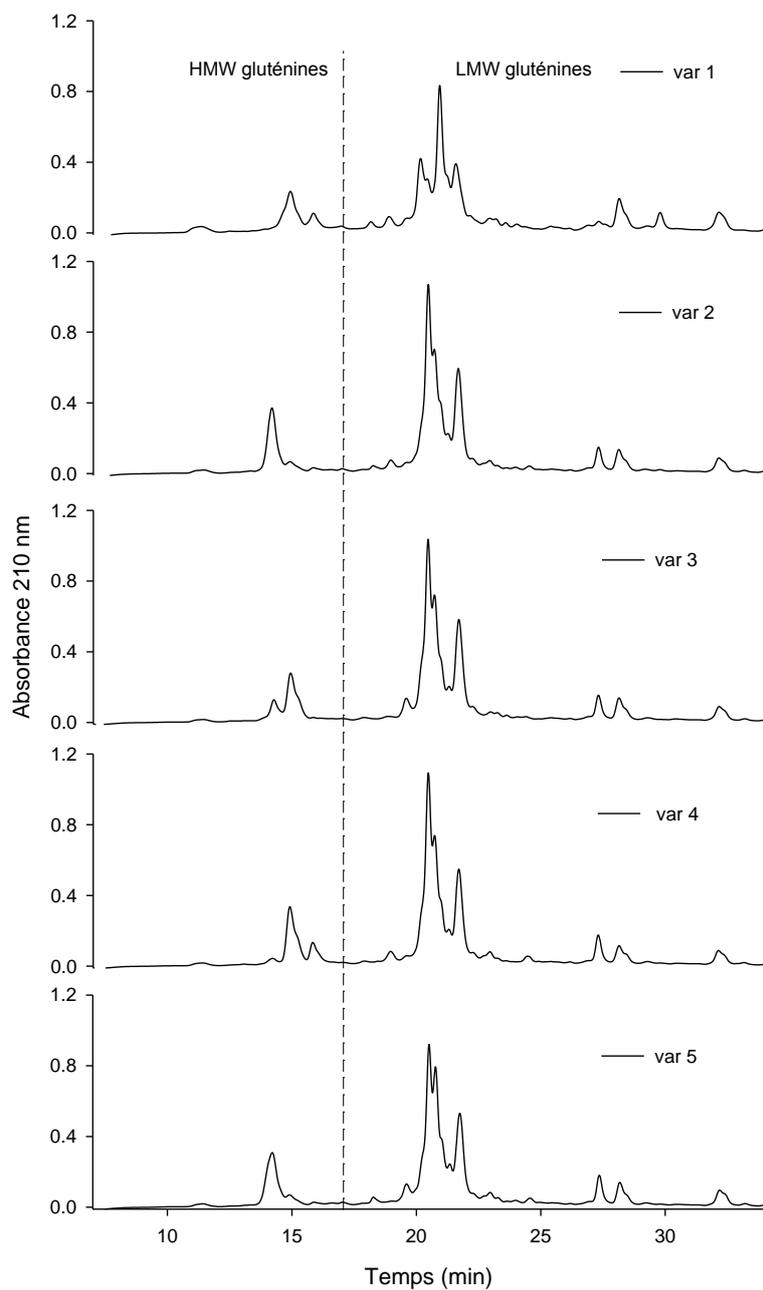


**Figure 45a :** Profils RP-HPLC des gliadines (extraits éthanol) pour les variétés 1 à 5

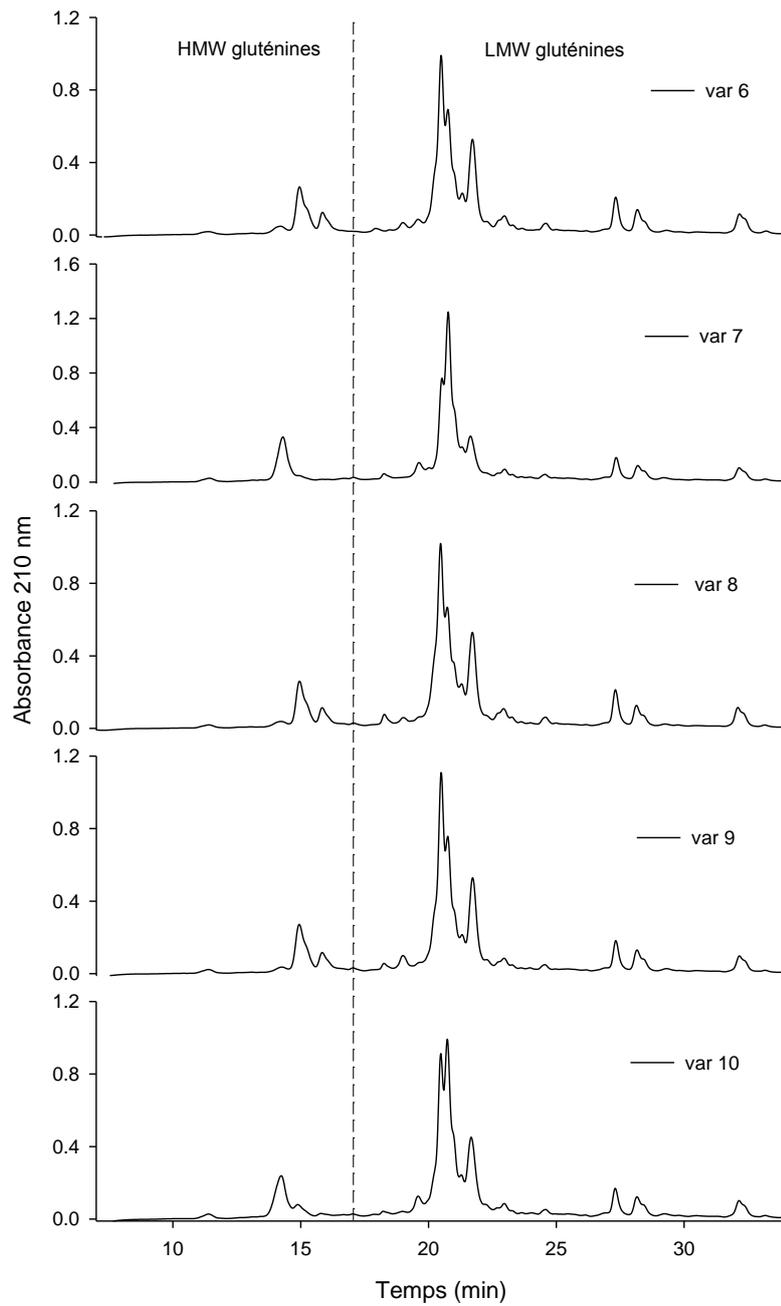
Ainsi, en ce qui concerne les gamma gliadines, à l'exception de la variété 1 (gamma 42), toutes les variétés sont de type gamma 45.



**Figure 45b :** Profils RP-HPLC des gliadines (extraits éthanol) pour les variétés 6 à 10  
 En association avec le type gamma gliadine, les gluténines de faible moléculaire sont de type LMW-2 (LMW-2<sup>(-)</sup> ou LMW-2) pour toutes les variétés sauf pour la variété 1 où elles sont de type LMW-1 (Figures 47a et 47b). En ce qui concerne la composition en gluténines de hauts poids moléculaires, 4 variétés ont été identifiées comme étant de type 20 (variétés 2, 5, 7 et 10), 5 comme étant de type 7+8 (variétés 1, 4, 6, 8 et 9) tandis que la variété 3 n'a pu être identifiée avec certitude, seul l'électrophorèse aurait pu permettre de le faire.



**Figure 46 a :** Profils RP-HPLC des gluténines (extraits propanol/urée/DTE) pour les variétés 1 à 5



**Figure 46b :** Profils RP-HPLC des gluténines (extraits propanol/urée/DTE) pour les variétés 6 à 10

### 5.6.4 Effet des modalités K, S et OS sur la teneur et la composition en protéines de réserve de blés algériens

Les dix variétés ont été étudiées selon 3 modalités K, S et OS. Les protéines totales du grain ont été extraites et analysées par SE-HPLC d'une part, les résultats sont présentés Tableau 15. D'autre part, les gliadines et les gluténines ont été séparées et analysées par RP-HPLC, la proportion relative de chacune des classes est présentée dans le Tableau 18.

### 5.7 Analyse statistique des Résultats SE-HPLC

Les protéines totales du grain ont été séparées selon leur taille. Les gluténines ayant une forte capacité à se complexer en agrégats de tailles élevées constituent les fractions F1 et F2 (agrégats solubles) tandis que les agrégats insolubles apparaissent dans la fraction UPP. La teneur en agrégats de gluténines n'apparaît pas différente entre les 3 modalités (Tableau 17), que ceux-ci soient solubles (F1 et F2) ou insolubles (UPP). La modalité K se caractérise par une teneur en protéines totales moyenne beaucoup plus forte (14.1 % m.h.) qui s'explique par une plus forte proportion de gliadines (non significative). Les 2 modalités S et OS génèrent des teneurs en protéines totales plus basses avec une proportion de protéines solubles (F5) significativement plus marquée.

**Tableau 15 :** Composition en protéines de réserve de différentes variétés de blés algériens cultivés selon 3 modalités de fertilisation (K, S et OS)

Variété	Modalité	Fraction protéique (en % des protéines totales du grain)						Protéines (m.h.)	GliA/Glu
		F1	F2	F3	F4	F5	UPP		
1	K	4.8	16.0	13.1	43.8	13.6	29.8	15.5	1.48
	S	4.8	16.0	11.5	40.6	16.7	33.6	11.1	1.30
	OS	5.1	18.6	11.2	38.9	16.3	29.5	13.2	1.16
2	K	7.6	20.7	9.9	40.0	13.0	23.8	13.9	1.08
	S	6.8	19.6	10.4	37.6	16.2	26.5	11.2	1.05
	OS	6.2	20.0	9.8	37.8	15.6	28.9	12.1	1.03
3	K	5.8	18.8	9.5	38.6	13.7	35.6	13.1	1.01
	S	5.7	18.4	8.7	37.8	14.8	37.6	10.8	0.98
	OS	5.4	19.1	10.2	37.0	16.1	33.2	12.6	1.01
4	K	5.7	18.6	9.6	39.4	13.2	35.7	12.9	1.04
	S	8.0	20.9	8.5	34.0	15.0	32.1	9.7	0.80
	OS	5.7	19.4	10.2	36.4	16.5	32.2	12.5	0.99
5	K	5.4	18.5	10.2	39.1	13.5	35.5	14.4	1.05
	S	5.1	18.3	9.2	37.9	13.9	39.9	12.1	0.97
	OS	5.4	19.8	10.3	35.9	16.2	32.9	11.4	0.95
6	K	4.5	16.8	10.3	39.8	13.7	41.3	14.7	1.10
	S	4.4	16.6	9.8	39.4	15.3	40.7	11.6	1.11
	OS	6.7	20.7	9.9	38.1	15.9	23.9	13.2	1.06
7	K	7.0	20.3	10.3	43.0	13.4	18.2	14.7	1.29
	S	7.2	19.7	9.2	39.2	17.0	22.1	9.5	1.14
	OS	6.0	19.5	10.2	38.7	15.3	28.9	13.4	1.08
8	K	5.0	16.9	9.8	40.1	12.1	42.3	14.6	1.05
	S	5.3	18.0	10.1	36.1	16.7	37.2	10.3	0.97

	OS	5.0	18.6	10.4	36.6	15.3	37.1	13.5	0.97
9	K	5.6	18.3	10.2	39.4	13.4	35.6	13.2	1.06
	S	5.9	18.7	9.8	34.8	17.4	35.4	9.3	0.92
	OS	5.3	18.7	10.5	37.3	16.0	33.8	12.5	1.03
10	K	6.1	18.5	10.0	41.1	13.5	30.2	14.0	1.16
	S	6.3	18.9	10.3	37.3	17.4	27.7	10.1	1.07
	OS	6.0	18.6	10.3	37.5	17.3	29.7	10.4	1.07
K	moy.	5.7	18.3	10.3	40.4	13.3	32.8	14.1	1.1
	SD	1.11	1.54	0.86	2.44	1.41	7.13	0.85	0.15
S	moy.	6.0	18.5	9.8	37.5	16.0	33.3	10.6	1.0
	SD	0.77	0.97	0.56	1.47	1.06	5.83	0.96	0.08
OS	moy.	5.7	19.3	10.3	37.4	16.0	31.0	12.5	1.0
	SD	0.50	0.79	0.24	1.29	1.08	3.74	0.98	0.05

**Tableau 16 :** Analyse de variance, synthèse des comparaisons multiples par paires pour la variable "variété" (Fisher (LSD))

variété	F1	F2	F3	F4	F5	UPP	Glia/Glu	Protéines
1	4.89 <sup>ab</sup>	16.85 <sup>a</sup>	11.92 <sup>a</sup>	41.09 <sup>a</sup>	15.51 <sup>c</sup>	30.97 <sup>ab</sup>	1.31 <sup>a</sup>	13.3 <sup>a</sup>
2	6.85 <sup>b,c</sup>	20.08 <sup>b</sup>	10.03 <sup>b</sup>	38.45 <sup>a</sup>	14.95 <sup>e</sup>	26.39 <sup>b,c</sup>	1.05 <sup>a</sup>	12.4 <sup>b</sup>
3	5.65 <sup>a,b,c</sup>	18.75 <sup>ab</sup>	9.47 <sup>b</sup>	37.83 <sup>a</sup>	14.87 <sup>f</sup>	35.47 <sup>a,d</sup>	1.00 <sup>a</sup>	12.2 <sup>c</sup>
4	6.45 <sup>a,b,c</sup>	19.63 <sup>ab</sup>	9.43 <sup>b</sup>	36.60 <sup>a</sup>	14.87 <sup>f</sup>	33.33 <sup>ab,d</sup>	0.94 <sup>a</sup>	11.7 <sup>d</sup>
5	5.31 <sup>a,b,c</sup>	18.89 <sup>ab</sup>	9.89 <sup>b</sup>	37.65 <sup>a</sup>	14.56 <sup>h</sup>	36.10 <sup>a,d</sup>	0.99 <sup>a</sup>	12.6 <sup>c</sup>
6	5.21 <sup>a,b</sup>	18.06 <sup>ab</sup>	9.98 <sup>b</sup>	39.11 <sup>a</sup>	14.96 <sup>e</sup>	35.30 <sup>a,d</sup>	1.09 <sup>a</sup>	13.2 <sup>f</sup>
7	6.73 <sup>a,c</sup>	19.83 <sup>b</sup>	9.90 <sup>b</sup>	40.29 <sup>a</sup>	15.23 <sup>d</sup>	23.06 <sup>c</sup>	1.17 <sup>a</sup>	12.5 <sup>e</sup>
8	5.12 <sup>a</sup>	17.86 <sup>ab</sup>	10.10 <sup>b</sup>	37.60 <sup>a</sup>	14.72 <sup>g</sup>	38.84 <sup>d</sup>	1.00 <sup>a</sup>	12.8 <sup>b</sup>
9	5.57 <sup>a,b,c</sup>	18.55 <sup>ab</sup>	10.16 <sup>b</sup>	37.16 <sup>a</sup>	15.61 <sup>b</sup>	34.93 <sup>a,d</sup>	1.00 <sup>a</sup>	11.6 <sup>d</sup>
10	6.15 <sup>a,b,c</sup>	18.69 <sup>ab</sup>	10.20 <sup>b</sup>	38.65 <sup>a</sup>	16.06 <sup>a</sup>	29.21 <sup>a,b,c</sup>	1.10 <sup>a</sup>	11.5 <sup>i</sup>

\*Les valeurs suivies d'une même lettre, ne sont pas différentes au seuil de 5%

**Tableau 17:** Analyse de variance, synthèse des comparaisons multiples par paires pour la variable "modalité" (Fisher (LSD))

Modalité	F1	F2	F3	F4	F5	UPP	Glia/Glu	Protéines
K	5.74 <sup>ab</sup>	18.34 <sup>a</sup>	10.28 <sup>a</sup>	40.43 <sup>a</sup>	13.32 <sup>b</sup>	32.81 <sup>a</sup>	1.13 <sup>a</sup>	14.11 <sup>a</sup>
S	5.95 <sup>a</sup>	18.51 <sup>a</sup>	9.75 <sup>a</sup>	37.47 <sup>a</sup>	16.04 <sup>a</sup>	33.27 <sup>a</sup>	1.03 <sup>a</sup>	10.58 <sup>c</sup>
OS	5.69 <sup>a</sup>	19.29 <sup>a</sup>	10.29 <sup>a</sup>	37.43 <sup>a</sup>	16.05 <sup>a</sup>	31.00 <sup>a</sup>	1.03 <sup>a</sup>	12.49 <sup>b</sup>

\*Les valeurs suivies d'une même lettre, ne sont pas différentes au seuil de 5%

Sur la base de ces résultats, outre le fait que la modalité K se caractérise par plus de protéines totales, on peut noter aussi le potentiel technologique probablement intéressant (à vérifier par des tests technologiques) de la variété 8 qui présente le plus d'UPP et à l'inverse le potentiel technologique moins marqué de la 7 qui en possède le moins (variété de type HMW 20).

### 5.8 Analyse statistique des Résultats RP-HPLC

Si l'on considère le détail de la composition en gliadines, la modalité K favorise la synthèse de gamma gliadines et des oméga gliadines ce qui explique probablement l'élévation de la fraction F4 mais la différence avec les deux autres traitements n'est pas significative (Tableau 17). La modalité K se distingue aussi par un rapport HMW/LMW gluténines un peu plus élevé (Tableau 18) mais là encore l'analyse de variance ne montre pas de différence significative (données non montrées). Ce manque de différence significative ne permet pas de conclure quant à l'impact des modalités de culture sur la qualité technologique des blés.

**Tableau 18 :** Composition en gliadines et gluténines des 10 variétés en fonction

des modalités de culture K, S et OS

Variété	Modalité	Gliadines			Gluténines		
		oméga	alpha/beta	gamma	HMW-GS	LMW-GS	HMW/LMW
1	K	29.0	31.2	39.8	17.8	82.2	0.22
	S	25.1	32.6	42.4	18.4	81.6	0.23
	OS	22.5	37.8	39.8	14.6	85.4	0.17
2	K	21.3	38.2	40.5	16.8	83.2	0.20
	S	19.9	39.5	40.6	11.7	88.3	0.13
	OS	20.5	39.8	39.8	12.6	87.4	0.14
3	K	22.6	33.4	44.0	16.1	83.9	0.19
	S	22.2	35.5	42.3	12.8	87.2	0.15
	OS	21.1	37.5	41.4	14.0	86.0	0.16
4	K	22.1	37.5	40.4	17.5	82.5	0.21
	S	20.3	40.4	39.3	10.1	89.9	0.11
	OS	20.7	37.5	41.8	13.5	86.5	0.16
5	K	21.5	38.3	40.2	16.4	83.6	0.20
	S	20.5	39.0	40.5	10.8	89.2	0.12
	OS	18.3	41.0	40.7	11.5	88.5	0.13
6	K	22.6	37.4	40.0	15.9	84.1	0.19
	S	21.0	38.3	40.7	13.3	86.8	0.15
	OS	19.9	40.5	39.7	11.9	88.1	0.14
7	K	24.3	39.0	36.7	16.0	84.0	0.19
	S	21.3	41.6	37.1	12.1	87.9	0.14
	OS	20.9	40.4	38.8	14.4	85.6	0.17
8	K	24.9	37.9	37.2	15.1	84.9	0.18
	S	19.3	42.4	38.3	13.0	87.0	0.15
	OS	19.6	40.4	40.0	12.2	87.8	0.14
9	K	22.1	37.5	40.4	16.0	84.1	0.19
	S	19.1	39.6	41.4	13.1	87.0	0.15
	OS	20.0	38.9	41.2	14.7	85.3	0.17
10	K	23.6	38.3	38.1	14.9	85.1	0.18
	S	20.5	40.5	39.0	12.3	87.8	0.14
	OS	20.7	41.3	38.0	12.7	87.3	0.15
K	moy.	22.6	36.3	41.1	15.2	84.8	0.18
	SD	0.9	2.1	1.4	2.5	2.5	0.03
S	moy.	21.0	39.3	39.7	13.1	86.9	0.15
	SD	2.1	1.6	1.5	1.7	1.7	0.02
OS	moy.	21.1	39.7	39.2	13.8	86.2	0.16
	SD	1.4	1.5	1.3	1.3	1.3	0.02

### 5.9 Conclusion :

Le gluten est le principal composant fonctionnel du blé, responsable des propriétés viscoélastiques des pâtes alimentaires. Ces propriétés sont liées à la structure polymérique de la gluténine. Des polymères sont formés par l'assemblage de sous-unités de gluténines par l'intermédiaire de ponts disulfures intermoléculaires entre les polypeptides.

L'accumulation des différentes classes protéiques a été évaluée par analyse de la distribution en taille des protéines par SE-HPLC. La connaissance de la distribution des masses moléculaires des protéines

de réserve apparaît indispensable pour comprendre le lien entre la diversité de celles-ci et les propriétés technologiques.

Les résultats montrent que les conditions agro- climatiques à El Khroub favorisent une accumulation de protéines en comparaison avec celle obtenue à Oued Smar et Sétif.

Ces résultats nous autorisent à émettre la conclusion que suite à cette étude, ces conditions ont effectivement une influence sur le taux de protéines obtenues avec une différence enregistrée sur le poids moléculaire entre variétés et non point sur la qualité des protéines de celles-ci.

L'étude aura permis à la lumière des résultats obtenus de mieux quantifier l'interaction Génotype - Milieu; les conditions environnementales ayant un rôle prévalent à jouer dans la détermination des paramètres de qualité chez le blé dur. Ceci étant, il n'est pas à exclure non plus le rôle joué par la fertilisation azotée notamment, et qui a conditionné les résultats obtenus.

Ces critères peuvent constituer ultérieurement des indices fiables dans le cadre de programme de sélection.

## Synthèse et conclusion :

Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) est une céréale largement cultivée dans le bassin méditerranéen et dans ce contexte, elle est fréquemment soumise à des stress hydriques et thermiques. Ces contraintes environnementales modulent les conditions d'élaboration et la composition finale du grain et peuvent aussi limiter la productivité.

Le présent travail rapporte les résultats sur un essai expérimental de 10 géotypes de blé dur, conduits parallèlement au champ, sous conditions semi- contrôlées et au laboratoire, sous des conditions entièrement contrôlées.

Les résultats englobent ainsi l'aspect réponses physiologique, biochimique, obtenues suite à un stress hydrique exercé sur les plantes.

Ils rapporteront aussi un volet Interaction Génotype- Milieu sous trois environnements différents.

Enfin, un volet analyse de la qualité technologique des géotypes. Ce volet a été exécuté au laboratoire d'Amélioration génétique des plantes, de l'INRA de Montpellier, sous la supervision du Pr. D. Desclaux.

Notre but était de suivre pas à pas la variété et cribler la variabilité génétique de géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.) pour la résistance (ou la tolérance) aux stress. Dans une première approche : une comparaison à différents stades phénologiques de la réponse des géotypes témoins et stressés a été faite ; trois types de critères ont été retenus : physiologiques ( RWC, ), biochimiques (dosage des sucres solubles, proline) et histologiques (étude d'une coupe transversale dans la feuille) et ce pour l'ensemble des géotypes mis sous étude.

L'analyse de la variance confirme qu'il y'a une différence significative entre les variétés. Nous notons une accumulation d'osmotocums (sucres solubles et proline) qui augmente avec la sévérité du stress hydrique. Les conclusions que nous pouvons tirer concernent :

- Tout le volet exploration fine du végétal, grâce à des analyses physiologiques et biochimiques prédictives, à un stade plantule. Elles concernent le statut hydrique (turgescence cellulaire), l'osmoprotection, l'histologie et enfin l'exploration topographique au tétrazolium. Ainsi des variétés comme V1 et V8 ont été meilleures quant à une gestion et utilisation plus efficace de l'eau. Les résultats concernant l'osmoprotection renvoient surtout à l'origine des cultivars. Il semble qu'il y ait un facteur héréditaire entre l'accumulation d'osmoprotecteurs ( proline, des sucres solubles) et l'origine du géotype.
- L'étude histologique aura été un élément complémentaire dans la compréhension des mécanismes d'adaptation aux stress, abiotiques en particulier. En effet, l'étude montre que

certaines génotypes ( 1, 4, 5, 9, et 10) manifestent une résistance membranaire grâce à une bonne présentation de tous les tissus impliquant une absence d'altération.

- L'exploration topographique au tétrazolium, aura été aussi révélatrice pour quantifier le seuil de la vigueur des semences. La vigueur physiologique demeure garante d'une bonne production et productivité. L'ensemble des réponses aux stades plantules et plantes découlant nécessairement entre autres critères, des aptitudes endogènes des semences à pouvoir s'exprimer sous des environnements souvent drastiques.
- Cette voie, qui est la sélection indirecte, de traits d'adaptation, reste une alternative privilégiée dans notre démarche pour une approche globale et multicaractères, dans le cadre d'un programme d'Amélioration génétique des céréales.

Ce travail constitue un préalable de criblage avant de passer au champ. En effet, l'expérimentation au champ a concerné l'évaluation du rendement et des composantes du rendement dans trois sites différents.

Dans une deuxième approche : l'importance a été donnée à l'étude du comportement des dix génotypes dans les différents environnements favorables et non favorables particulièrement pour les composantes de rendement , l'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse hiérarchique sur la matrice globale des moyennes des trois sites ont donné des groupes de variétés homogènes qui ne sont pas toujours les mêmes pour les trois sites. Cependant, la comparaison entre les trois sites a montré que très peu de variétés sont stables et ne présentent pas de différences significatives entre les trois sites et ceci quelque soit la caractéristique prise en considération les variétés sont productives à adaptation large.

Les résultats obtenus sont largement satisfaisants, voire encourageants, dès lors qu'ils traduisent des réponses d'interaction Génotype- Milieu.

A ce sujet, la conduite des essais montre qu'il ya :

- Un effet site
- Un effet variété
- Les nombreuses corrélations (positives et négatives) observées dans la matrice des corrélations, montre à quel point il est important de prendre en considération des données agronomiques. L'ACP (Analyse en Composantes Principales) a pu mettre en valeur les variables les plus déterminantes pour l'obtention d'un bon rendement mais aussi d'un rendement de qualité.

En troisième lieu, il nous a paru important d'étudier la stabilité de la teneur en protéines avec la NIRS et voir la relation Génotypes X environnement dans un volet technologique.

Les résultats obtenus avec le SAS et le test d'analyse de la variance et multi variée a montré qu'il existe des différences hautement significatives entre les 10 variétés de blé dur dans les trois sites et ceci pour chacune des 13 caractéristiques étudiées

L'évaluation de la qualité de blé dur a pour but de mettre en oeuvre un grain ou une semoule qui contient un pourcentage élevé de protéines, sachant cependant que plus il y en a, meilleure sera la qualité culinaire au détriment de la clarté de la pâte, un manque de clarté pouvant tout à fait masquer l'indice de jaune b\* ou une quantité importante de pigments jaunes contenus dans l'échantillon à apprécier.

Les méthodes d'évaluation de la qualité culinaire, ou de sa prédiction, sont fonction du but recherché, du professionnel semencier, ou semoulier, ou chercheur concerné. Cependant quelque soit le cas il apparaît utile de relier les résultats obtenus avec :

- Un pourcentage de protéines déterminé.
- L'avis d'un panel d'évaluation sensorielle appliqué à apprécier la pâte issue du blé ou de la semoule ; ceci nécessite une certaine quantité de matière première et une certaine lourdeur analytique, mais on retiendra que c'est bien le consommateur final qui tranche sur une "bonne" pate, et par conséquent sur une "bonne" semoule ou sur un "bon" blé dur.

Nous avons également cherché à cerner les mécanismes déterminant la qualité des protéines et ce en fonction des conditions agro-climatiques. Nous nous sommes également attachés à préciser la dynamique d'assemblage des sous-unités de gluténines sous forme de polymères en lien avec le statut redox du grain et le rôle du glutathion. le blé est pour une bonne part une composante influencée par le milieu de culture.

En effet , l'étude des protéines de réserve, gliadines et gluténines (teneurs et caractérisation ) avec SE-HPLC et RE-HPLC a donné différents résultats qui ont été étudiés avec l'analyse de la variance. Celle-ci confirme l'effet lieu sur la teneur de protéines. l'idée était par la suite de comparer entre les résultats des trois méthodes d'évaluation des protéines ( quantité et qualité ) en utilisant le logiciel SAS

ce travail n'est qu'une infime partie des programmes de sélection des variétés pour différents caractères et différents aspects (agronomique et technologique) .

Pour revaloriser et améliorer les variétés il faut favoriser des nouvelles techniques technologiques pour une meilleure sélection dans le cadre de l'amélioration de la céréaliculture.

Enfin, nous souhaiterions qu'au final, nous ayons retenu le fait que la céréale étudiée, le blé dur en l'occurrence demeure la culture la plus dominante de part sa superficie emblavée mais aussi par tout cet aspect de culturel qui met en tout premier plan le blé dur en tant que valeur alimentaire incontournable pour la consommation quotidienne en Algérie.

A juste titre ainsi, l'exploration pas à pas , graduelle et complémentaire et qui va du champ au laboratoire mettant en interaction à la fois le milieu et les facteurs agronomiques, se présente comme une démarche privilégiée pour l'étude du comportement de variétés de blé dur.

Les réponses enregistrées tant au plan agronomiques, physiologiques, biochimiques et enfin technologiques sont de nature à encourager voire adopter notre démarche qui a englobé des aspects différents mais non moins complémentaires. Cette approche synthétique va dans le sens d'une préservation du patrimoine génétique et son exploration aussi bien sur le plan quantité rendement qu'en qualité protéique

## Références bibliographiques

- Abecassis J. Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. *Ind. Céréales*, 1991 ; 81 :25-37
- Acevedo E., Craufurd PQ., Austin RD., Perez Marco P., 1991 . Traits associated with high grain yield in Barley in low yielding environment . *J. Agric Sci Camb.* 116:23-36.
- ADDA A , 2006. Effet du stress hydrique sur le comportement morpho physiologique du système foliaire et racinaire chez différents génotype de blé dur (*Triticum durum*) . Thèse de doctorat es sciences Université d'Es Sénia.
- Ait -kaki Y, Contribution à l'étude des mécanismes morpho- physiologiques de tolérance au stress hydrique sur 5 variétés de blé dur ( *Triticum durum* Desf . ) 1993. *Thèse de Magister. Université d'Annaba.* Algérie .
- Ait kaki Y, 2007. Etude comparative des potentialités technologiques des blés durs algériens anciens et récents : Relation de la qualité de ces blés par différentes stratégies d'études : Critèrestechnologiques (infra rouge), Biochimiques (électrophorèse bidimensionnelle) et moléculaire PCR Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Université Badji Mokhtar Annaba . 1-21 p
- Ait kaki S. 2008** Contribution à l'étude de l'interaction génotype X milieu pour la qualité technologique chez le blé dur. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences.
- Ames, N. P., Clarke, J. M., Marchylo, B. A., Dexter, J. E. and Woods, S. M. 1999.*Cereal Chem.*76: 582–586
- Annerose D.J.M, 1991. *Oléag J.* 46 (1991) 61.
- Arnon D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoxylase in beta vulgaris . 1949*Plant physiol.* 24: 1-25p
- Autran J.C.; Pogna N.E.; Kudryavtsev A.M.; Navilov N.I. . Use of genetic variation in the improvement of quality in durum wheat . . *Durum wheat quality in the Mediterranean region* p. 173-180 : (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 22). Seminar on Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region, 17-19 Nov 1993, Zaragoza (Spain) .
- Autran, J.C. & Feillet., P.1987. Genetic and technological basis of protein quality for durum wheat in pasta, pages 59-71. In: Pattakou, V. (ed.). Agriculture. Protein evaluation in cereals and legumes. Commission of the European Communities.
- Baldy G., 1986 . Comportement des blés sous climats méditerranéens . *Ecologia Meditteranea* , 373-88
- Batey, I., Gupta, R. and MacRitchie, F. 1991. *Cereal Chem.*68: 207-209
- Barrs H. D., and Weatherly P. E.,** 1962. A re- examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust. J. Biol. Sci.* **15** : 413-428
- Belaid A., 2000, the economics of durum wheat production in WANA : Past trends ans future prospects In : Proceedings of the symposium blé 2000 . Enjeux et stratégies 49-70.

Benbelkacem A, Sadli F et Brinis L. La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie . In Fonzo N. di (ed.), Kaan F. (ed.), Nachit M. (ed.) . *Durum wheat quality in the Mediterranean region = La qualité du blé dur dans la région méditerranéenne* . Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 1995. p. 61-65. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 22). Seminar on Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region, 17-19 Nov 1993, Zaragoza (Spain).

Benbelkacem A. et Khellou K . Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur ( *Triticum turgidum* L. var *durum* ) cultivées en Algérie. . 2000. In Royo C. (ed.), Nachit M.M. (ed.), Di Fonzo N. (ed.), Araus J.L. (ed.) . *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges = L'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne : Nouveaux défis* . Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 2000. p. 105-110 :Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 40). Seminar on Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges, 2000/04/12-14, Zaragoza (Spain).

Benbelkacem, A.; Brinis, L.; Nachit, M.M. 1998. Yield stability and physiological traits of Algerian durum wheat in dryland Algeria. Pages 153-155 *in* Proceedings of the Ninth International Wheat Genetics Symposium, Vol. 2, 2- 7 Aug 1998, Saskatoon, Canada ,A.E. Slinkard, ed..

Benbelkacem A, 1984 Mekni M.S.; and Rasmusson D.C., Breeding for high tiller number and yield in barley.. *Crop Sci.*24: 968-972

Bensaad A., 1993. Caractères et mesure de la sécheresse en Algérie orientale", *Publ. Assoc. Intern. Climato*, N°6, (1993), pp. 35-46.

Benseddik B. et Benabdelli K., 2000 . Impact du risque climatique sur le rendement du blé dur en zone semi-aride. Approche éco- physiologique", *Sécheresse*, Vol. 11, N° 1, (2000), pp. 45-51.

Baldy c. (1993a). Progrès récents concernant l'étude du système racinaire du blé (*Triticum* sp). *Ann. Agron.* (Paris). Pp 241-276.

Baldy c. (1993b). Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en méditerranée occidentale. In : Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, diversité génétique et amélioration variétale. Montpellier. *Ed INRA*. Pp. 83-99.

Bar-L'Helgouac'h, C., Giraud, M. and Cosson, C. 2004. *Perspectives Agricoles*, 303: 20-24

Brinis L., 1995 . Effet du stress hydrique sur quelques mécanismes morpho- physiologiques et biochimiques de traits d'adaptations et déterminisme génétique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) . Thèse Doct . Es. Sc. Université de Annaba . 156 pages

**Boyeldieu J.**, 1980. Les cultures céréalières. Nouvelle Encyclopédie des Connaissances Agricoles. Ed. Hachette 255p

Cassidy, B. G. & Dvorak, J. 1991. Molecular characterization of a low-molecularweight glutenin cDNA clone from *Triticum durum*. *Theor. Appl. Genet.* 81:653-660.

**Bouzerzour H et Djekoun J, 1996** .Etude de l'interaction génotype X lieu du rendement de l'orge en zone semi-aride, *Revue Science et technologies*, n 7. Pp16-28.

Bouzerzour H, *et al*, 2002 Rythme de développement des variétés contrastées de blé dur (*Triticum durum* Desf) . I Analyse de la croissance et développement. Annales de la recherche agronomique INRA.

Chaker A , 2003. Etude de l'effet des stress thermiques (chaleur et froid) sur quelques paramètres physiologiques et biochimiques du blé dur (*Triticum durum* Desf), thèse de magister université d'Annaba ..

Copeland L. 1976. Principles ships of seed weight and technology. Burges Publisching company. Minneapolis USA. pp 107.

Clement G. (1971). Les céréales, « grand court ». *Coll. Agro. Alimentaire*. Lavoisier. Pp. 78-91.

Clarke, J.M., W.A. Norvell, F.R. Clarke et T.W. Buckley. 2002. « Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenic durum lines. » *Can. J. Plant Sci./Revue canadienne de phytotechnie*, 82:27-33.

**Clarke J.M., and Mc craig T.N.**, 1982. Excised- leaf water relation capability as an indicator for drought resistance of *Triticum* genotyps. *Can. J. Plant Sci.* **62** : 571- 578

Crostan RP. et Williams JT. , 1981. A world survey of wheat genetic ressources .IBRGR, Bulletin /80/59, 37 pages

Dachkevitch, T.and Autran, J. 1989. *Cereal Chem* 66: 448-456

Dagnelie P. (1982). *Analyse statistique à plusieurs variables*. Les presses agronomiques de Gembloux. 362 p.

Dagnelie P. (1999). *Statistique théorique et appliquée*. Tome 02. Inférence Statistique à une et à deux dimensions. Bruxelles. Université D&L. 659p.

Damidaux, R., Grignac, P. et Feillet, P. 1978. C.R. Académie Sciences de Paris 287 : 701–704

**Delwiche S .R.1998.** Protein content of single kernels of wheat by Near- infrared reflectance spectroscopy .*Journal of cereal science* 27.pp241-254.

Delwiche SR., Graybosch RA., and Peterson CJ., 1998 . Predicting protein composition , biochemical properties , and dough handling properties of hard red winter wheat flour by near-infrared reflectance . *Cereal , Chemistry* 75, 1998. 412-416.

Demarly Y,1984. Mécanismes génétiques de l'adaptation chez les végétaux. *Bull. Soc.bot.Fr. . Actual.bot. ; (1)*, 125-137

Berland S, et Roussel Ph 2005 , ENSMIC, : Hubert Chiron, "Les Pains Français" P. Roussel, H Chiron, Maé-Erti éditeurs.

Desclaux D. (1996) - De l'intérêt de génotypes révélateurs de facteurs limitants dans l'analyse des interactions génotype -milieu chez le soja (*Glycine max* L. Merrill). Institut National Polytechnique de Toulouse. Spécialité : Biologie et Technologie végétales. Thèse de doctorat. 227pp

Desclaux D. et Porier D, 2004. Moucheture du blé dur: bilan des connaissances colloque: grandes cultures et semences en langue doc Roussillon DADP

**Desclaux et al 2005** Amélioration de la valeur technologique et commerciale du blé dur vers une réduction des taux de moucheture et de mitadin, rapport de projet de recherche INRA Montpellier .France

Edwards, N. M., Gianibelli, M. C., McCaig, T. N., Clarke, J. M., Ames, N. P., Larroque, O. R. and Dexter, J. E. 2007. *J. Cereal Sci.* 45:140-149.

Erroux (J.), f952. Les blés des oasis. In :Bull. Soc. des Agriculteurs d'Algérie, 567.Pages

Feillet. (2000). Le grain de blé. Composition et utilisation. *Edition INRA*. Pp.58-75.

FISCHER R.A. (1985). Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 108, pp. 447-461.

Gate P., 1995 , Ecophysiologie du blé de la plante à la culture .Ed Lavoisier Tec et Doc 429 pages.

Hsiao T.C , Annu J. 1973 : Rev Plant Physiol 24. p 519.

Jouve P., 1984 . Relation entre déficit hydrique et rendement des céréales (blé tendre et orge) en milieu aride", *L'Agronomie tropicale*, 39-4, (1984), pp. 308-316

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.

Kebri, F. (2003) : Avec un niveau de consommation de 60 millions de qx/an, l'Algérie un grand consommateur. Partenaires. Mensuel de la chambre française de commerce et d'industrie en Algérie. N° 41 Décembre, 23p

Laumont P, Erroux J. Inventaire des blés durs rencontrés et cultivés en Algérie. *Mémoire Soc Histoire Naturelle Afrique du Nord* 1961 ; 5 :5-95

Lev-Yadun S., Gopher A., Abbo S., 2000. The cradle of agriculture. *Science*, 288, 1602-1603.

Levitt J. 1960. Sullivan C.Y, Krull E. *Bull Res Coun.* p80 -173.

Levitt J , 1980 .Responses of plants to environmental stresses. Vol II,Water, radiation, salt and other stresses, Academic Press, Inc,606 p.

Ladigues P. V, 1975. Some aspect of tissue water relations in three populations of *Eucalyptus Viminalis labill* . *New.Phytol.* p53-62

Luo, C., Branlard, G., Griffin, W. B. and McNeil, D. L. 2000. *J. Cereal Sci.* 31: 185-194

MacRitchie, F. and Gupta, R. 1993. *Austr. J. Agric. Res.* 44: 1767 – 1774.

Morsli L et Brinis L, 2010. Effet du stress hydrique sur quelques mécanismes physiologiques et biochimiques d'adaptation chez huit génotypes de blé dur (*Triticum Durum* DESF). revue des sciences et de la technologie « synthèse » numéro 21 .p 27-37.

Morel, M.-H., Delhon, P., Autran, J.-C., Leygue, J.-P. and Bar-L'Helgouac'h, C. 2000. *Cereal Chem.* 77: 685-691.

Monneveux Ph., Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. In : l'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides . AUPELF – UREF Ed John Libbey Eurotest : 165-186.

Monneveux P, 1991. Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales? In : l'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. AUPELF-UREF ed. John Libbey Eurotext, p165-186.

NIRS 2, version 3.00 révisée 1992 , Logiciel de routine , opération de calibration et Network System Management pour Instruments d'analyse en proche infra rouge.

PALM R. (2000). *L'analyse de la variance multivariée et l'analyse canonique discriminante: principes et applications*. Notes tat. Inform. (Gembloux), 40 p.

Pogna, N.E., Lafiandra, D., Feillet, P. and Autran, J.C. 1988. *J. Cereal Sci.*7: 211–214.

Pogna, N.E., Autran, J.C., Mellini, F. and Lafiandra, D. 1990. *J. Cereal Sci.*11:15–34.

**Reitz. L. P.H.** Breeding for more efficient water use. Is it real or a mirage; *Agric metorial.* 140 3-7.

Ruiz, M. and Carrillo, J.M. 1995. *J. Cereal Sci.*21:137–144.

Ripetti-Ballester V, Chaurand M et Roumet P. Prédiction du rendement en semoule par spectroscopie proche infrarouge sur grains entiers. 2000. In : ROYOT C., NACHIT M., Di

Fonzo n., araus j.l. (eds.), *Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region : New Challenges, Proceedings of a Seminar (April 12-14, 2000, Zaragoza, Spain)*, p. 489.

Ripetti-Ballester V, Compan F, Compan M, David J, Desclaux D, Poirier S, Poux G, Raynaud C, Roumet P. Prédire les caractéristiques de la qualité du grain de blé dur par spectroscopie infrarouge .2000 In : *Comptes-rendus du Colloque ITCF*. Novembre 2000, Montpellier, France, non paginé

Rharrabti Y. , Royo C , Villegas, Aparici N and Garcia del Moral .F ,2003 a durum wheat quantity in Mediterranean environment

Royo C ,Aparicio N , Blanco R , and Villegas D 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grow under Mediterranean conditions. *European journal of agronomy* .Volume 20 pages 415.430 .

SAS, 1985, Technical report , SAS procedures , guide for personal computers, version 6, edition by SAS Institute , Inc.Cary .NC. USA p 20

SAS, 1989, Technical report , SAS procedures , guide for personal computers, version10, edition by SAS Institute , Inc.Cary .NC. USA p 20

Slatyer R.O., 1974 . The effect of internal water status on plant growth development and yield", Proceeding for the UPSALA Symposium, UNESCO, (1974).

Slavin, J. (2003b) Why whole grains are protective: biological mechanisms. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 129-134.

Southern, E.M. 1975. Detection of specific sequences among DNA fragments separated by electrophoresis. *J. Mol. Biol.* 98: 503-517.

Selmi R. (2000). Fin du mythe de l'autosuffisance alimentaire et place aux avantages comparatifs. *Revue Afrique Agriculture* .N° 280. pp 30-32.

Shewry, P.R., Field, J.M., Faulks, A.J., Parmar, S., Mifflin, B.J., Dietler, M.D., Lew, E.J.L. &

Kasarda, D.D. 1984. The purification and N-terminal amino acid sequence analysis of the high molecular weight gluten polypeptides of wheat. *Biochem. Biophys. Acta* 788:23-34.

**Soltner D.**, 1990. Les grandes productions végétales. Céréales, plantes sarclées prairies. *Phytotechnie spéciale –17ème édition*. Eds Sciences et technologies Agricoles 20-39.

Schields R. and Burnett W. 1960. Determination of protein bound carbohydrate in serum by a modified anthrone method. *Anal. Chem* 32 : 885-886.

Samson M.F., MOREL M.H. (1995). Heat Denaturation of Durum Wheat Semolina □- Amylase : Effects of Chemical Factors and Pasta Processing Conditions .*Journal of Food Science*. *Volume 60*. N° 6.pp. 1313 - 1320.

Samson, M.-F., Mabile, F., Chéret, R., Abécassis, J. and Morel, M.-H. 2005. *Cereal Chem.* 82: 81-87  
Turner N.C. 1997, in Mussel H, R.C. Staples (Eds), *Stress physiology of crop plants*, Wiley Interscience, New-York, 343-72

Tetrazolium Testing Committee, Tetrazolium Testing Handbook. For Agricultural seeds. Contribution N° 29 to the Handbook of Seed Testing.Eds. Association of Official Seed Analysts. 1970pp.62.

**Troll W. and Lindsley J.**, 1955. A photometric for the determination proline. *J. Biochem.* 215-655-660.

Talbert, L.E., N.K. Blake, E.W. Storlie et M. Lavin. 1995. « Variability in wheat based on lowcopy DNA sequence comparisons. » *Genome*, 38: 951-957.

Tao, H.P. & Kasarda, D.D. 1989. Two dimensional gel mapping and N-terminal sequencing of LMW weight subunits. *J. Exp. Bot.* 40:1015-1020.

Triboi, E. (1990). Modelé d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum*) en thell. *Agronomie*, 1 : 191-200.

Wehrle, K., Seibel, W., Gerstenkorn, P. et Kuhn, M. (1996). Méthodes rapides d'évaluation qualitative du blé dur. Première partie : Etudes par spectroscopie NIR. *Getreide mehl und brot*, 50(3) : 181-185.

Wieser, H. and Seilmeier, W. 1998. *J. Sci. Food Agric.* 76: 49-55.

Williams JGK., Kubelik AR., Livak KJ., Rafalski J A., Tingey SV. (1990). DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucl.Acids Res.* 18 (22), p. 6531–6533

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

**Zouaoui , 1993** Etude en F1 et F2 des hybrides issus du croisement de 05 variétés de blé dur ; détermination génétique des principaux caractères à intérêt agronomique