

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLAB-BLIDA
FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



MEMOIRE DE MASTER

En vue de l'obtention du diplôme de Master (LMD)

En Sciences de la nature et de la vie.

Option : *Sciences Alimentaires*

THÈME

**EFFET DU MILIEU SUR LES CARACTERES BIOCHIMIQUES ET
TECHNOLOGIQUES DE QUELQUES VARIETES DE BLE TENDRE
(*Triticum aestivum*).**

Présenté par : MESSAOUD Sid Ali

Membre de jury :

President :	Mme BOUTEKRABT L.	Maitre conférence A (USDB)
Examineur :	Mme ABDELLAOUI Z.	Maitre-assistante B (USDB)
	Mme IDRES A.	Maitre assistante A (USDB)
Promoteur :	Mr HADJSADOK T.	Maitre conférence A (USDB)
Co-promoteur :	Mme MADANI M.	Chef laboratoire technologique a l'I.T.G.C

Année universitaire : 2011-2012

Partie
bibliographique

Matériels et méthodes

Résultats et discussions

Introduction

Conclusion générale

Dédicaces

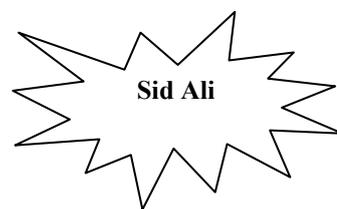
A la mémoire de mon regretté père qui, riche de cœur et d'esprit, n'a jamais cessé de croire en moi. Homme de sciences et de culture, il m'a toujours encouragé à aller au bout de mes convictions.

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère, dont le courage et la force de caractère m'ont servi de modèle pour me guider dans mes choix, qu'ALLAH la garde pour moi saine et sauf.

A mes chers sœur : Fedha, Ryma et Farah qui m'ont toujours encouragés et a toute la famille MESSAOUD et CHABANE CHAOUICHE.

A mes chers ami (e) s: Momo, Alilou, Mohamed, Radhouane et a tous les SNV promotion 2012, je les remercie chaleureusement pour les beaux souvenirs partager ensemble.



Références

Bibliographiques

Annexes

Annexe 1

**Alvéogrammes de quelques
variétés étudiées**

Annexe 2

Appareillages

Remerciements

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir accordé la volonté et la patience dans l'accomplissement de ce travail.

Mes remerciements les plus profonds et toute ma reconnaissance s'adressent à **Mr HADJ SADOUK**, qui a bien voulu m'encadrer, m'orienter et m'encourager tout le long de ce travail. Qu'il trouve ici, l'expression de mon profond respect.

Mes sincères remerciements vont à mon Co-promoteur **Mme MADANI**, chef de laboratoire à l'ITGC.

A **Mme BOUTEKRABT**, qui me fait l'honneur de présider ce jury. Qu'elle reçoive ici, l'expression de mon plus grand respect.

A **Mme ABDELAOUI et Mme IDRESS**, qui me font l'honneur d'examiner ce travail. Qu'elles trouvent ici, l'expression de ma sincère reconnaissance.

Mes sincères remerciements s'adressent également :

A **Mr ZEGHOUAN**, le Directeur l'ITGC, qui m'a bien accueillie au sein de son Institut, en mettant à ma disposition tous les moyens nécessaires à la réalisation de mon expérimentation.

A **tout le personnel de l'ITGC**, en particulier à Melle El-Arem, qui a contribué à la réussite de mon expérimentation.

A **Mr BENCHOUK**, chef de laboratoire de l'ERAD de Tadmait qui m'a permis de poursuivre mon expérimentation au sein de son laboratoire d'analyse.

A tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification du blé tendre (FEILLET, 2000).....	3
Tableau 2 : Composition chimique du grain de blé, selon FEILLET (2000).....	7
Tableau 3 : Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé selon FEILLET (2000).....	7
Tableau 4 : Classification des protéines de grain de blé d'après différents auteurs.....	9
Tableau 5 : Critères de qualité du blé tendre (GODON, 1995).....	15
Tableau 6 : les variétés et lignées étudiées.....	24
Tableau 7 : Le taux d'humidité des grains des variétés étudiés.....	43
Tableau 8/1 : Classement des génotypes selon leur PMG.....	43
Tableau 8/2 : Le poids de milles grains des variétés étudiés (PMG).....	45
Tableau 9 : Le poids hectolitre des variétés étudiées (PHL).....	48
Tableau 10 : Le taux d'extraction de la farine des variétés étudiés.....	50
Tableau 11/1 : Classement des farines en fonction du taux de cendres d'après GODON et WILLM, (1991).....	51
Tableau 11/2 : La teneur en cendre de la farine des variétés étudiées.....	53
Tableau 12/1 : classement des blés selon (<i>WILLIAMS et al, 1988</i>).....	53
Tableau 12/2 : La teneur en protéine de la farine des variétés étudiées.....	56
Tableau 13/1 : classement des blés d'après (<i>NA.1184.1994 E, ISO 5529</i>).....	56
Tableau 13/2 : Résultats du test de sédimentation ZELENY des la variété étudiée.....	58
Tableau 14/1 : Classement des blés selon leur force boulangère (<i>WILLIAMS et al, 1988</i>)...58	58
Tableau 14/2 : Résultats du test de sédimentation SDS-acide lactique des variétés étudiés..60	60
Tableau 15 : Résultats du test d'alvéographe sur la patte de la farine des variétés étudiés...61	61
Tableau 16 : Matrice de corrélation entre les paramètres biochimique et technologiques.....64	64

Liste des figures

Figure 1 : Coupe illustrant la composition histologique d'un grain de blé selon FEILLET (2000).....	5
Figure 2 : détermination de taux de cendre.....	30
Figure 3 : Indice de sédimentation selon ZELENY et selon REDMAN.....	33
Figure 4 : Teste de sédimentation SDS-acide lactique.....	35
Figure 5 : test d'Alvéographe.....	38
Figure 6 : Courbe type Alvéographe.....	39
Figure 7 : différents type de courbe d'Alvéographe.....	39
Figure 8 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur l'humidité des grains.....	42
Figure 9 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur le PMG.....	45
Figure 10 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur PHL.....	47
Figure 11 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur le taux d'extraction de farine.....	50
Figure 12 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur la teneur en cendre de la farine.....	52
Figure 13 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur la teneur en protéines.....	55
Figure 14 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur le ZELENY.....	57
Figure 15 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur le SDS-acide lactique.....	59

Sommaire

Introduction

Chapitre 1 : Partie bibliographique

I	Généralité sur le blé.....	3
I.1	Classification taxonomique.....	3
I.2	Caractères botaniques du blé.....	3
I.2.1	Morphologie.....	3
I.2.1.1	Appareil végétatif.....	3
I.2.1.2	L'appareil reproducteur.....	4
I.2.2	Structure et morphologie du grain de blé.....	4
I.2.3	Germination et développement du blé tendre.....	6
I.2.4	Composition chimique du grain de blé.....	6
I.2.4.1	L'eau.....	7
I.2.4.2	Les glucides.....	8
I.2.4.3	Les protides.....	9
I.2.4.4	Les lipides.....	12
I.2.4.5	Les minéraux.....	12
I.2.4.6	Les vitamines.....	13
I.2.4.7	Les fibres alimentaires végétales.....	13
I.3	Qualité et transformation du blé tendre.....	14
I.3.1	Qualité du blé.....	14
I.3.1.1	La qualité technologique des farines.....	14
I.3.1.2	Tests d'appréciation de la qualité.....	15

Sommaire

II	Interaction génotype x environnement.....	18
II.1	Génotype.....	18
II.2	Environnement.....	18
II.2.1	Milieu.....	18
II.2.2	Facteurs du milieu contrôlés et non contrôlés.....	19
II.2.2.1	Facteurs de milieu contrôlés.....	19
II.2.2.2	Facteurs de milieu non contrôlés.....	19
II.3	Phénotype.....	19
II.4	Interaction génotype x milieu.....	20
II.5	Bases génétiques de l'interaction génotype x milieu.....	20
II.6	Adaptation au milieu.....	21
II.7	Adaptation du génotype au milieu.....	21
II.8	Limites des modèles d'analyse des caractères qualitatifs.....	21

Chapitre 2 : Matériel et méthode

III	Matériel et méthode.....	23
III.1	Localisation des essais.....	23
III.2	Matériel végétal.....	24
III.3	Matériel non biologique.....	24
III.4	Méthode d'obtention des farines a partir des grains de blé tendre.....	25
III.4.1	Nettoyage du blé.....	25
III.4.2	Conditionnement du blé.....	25
III.4.2.1	Détermination de l'humidité des grains.....	25
III.4.3	Mouture du blé.....	26

Sommaire

III.5	Analyses physiques des grains.....	26
III.5.1	Poids hectolitre (PHL).....	26
III.5.2	Poids de milles grains.....	27
III.6	Analyses chimiques et biochimiques des farines.....	28
III.6.1	Détermination des cendres.....	28
III.6.2	Dosage d'azote total avec minéralisation selon la méthode Kjeldhal	31
III.6.3	Indice de sédimentation (test ZELENY)	32
III.6.4	Test de sédimentation dans solution SDS – acide lactique.....	34
III.7	Analyses technologiques.....	36
III.7.1	Test d'alvéographe de Chopin.....	36
III.8.	Traitement statistique des données.....	40

Chapitre 3 : Résultats et discussions

IV.	Humidité des grains.....	42
V.	Analyses physiques	43
V.1.	Poids de mille grains (PMG).....	43
V.2.	Poids hectolitre (PHL).....	46
V.3.	Taux d'extraction	48
VI.	Analyses Chimiques et biochimiques	51
VI.1.	Taux de cendres des farines	51
VI .2.	Dosage de la teneur en protéines totales	53
VI .3.	Test de sédimentation ZELENY	56
VI .4.	Test de sédimentation dans une solution SDS-acide lactique	58
VII.	Analyses technologiques.....	60

Sommaire

VII.1 Test d'alvéographe de chopin.....60

VII.2 Relation entre les tests biochimiques et technologiques.....63

Conclusion générale.....65

Annexes

Références bibliographiques

RESUME

Notre étude porte essentiellement sur trente variétés de blé tendre, en cours de sélection, cultivées au niveau des stations de recherche et de développement de l'I.T.G.C de, Oued-Smar et Guelma. Les buts poursuivis sont nombreux. Il s'agit essentiellement d'analyser la qualité et la productivité de chaque variété par rapport à son comportement et son adaptation selon les différentes régions. Les résultats de ces essais placés dans différentes zones climatiques révèlent qu'il existe un effet significatif de l'environnement sur le rendement des grains. En vue de déterminer les critères de la qualité de ces blés on a eu recours à u tests suivant : PMG, PHL, taux d'humidité des grains, taux d'extraction de la farine, la teneur en cendre, la teneur en protéine, test de sédimentation SDS et ZELENY et le test d'alveographe.

L'analyse statistique des données montre une influence hautement significative de l'interaction « variétés x environnement » pour la plupart des paramètres étudiés et et montre aussi qu'il y a une corrélation entre les différents tests.

Mots clés : blé tendre, variétés, sélection, adaptation, interaction génotype x environnement.

Abstract

Our study focuses on thirty varieties of soft wheat, in course of selection, cultivated at research stations and Development of ITGC of Oued smar and Guelma. The aims are many. It is basically to analyze the quality and productivity of each variety compared to its behavior and adaptation in different regions. The results of these tests located in different climatic zones reveal a significant effect of environment on grain yield. With a view to determine the criteria for the quality of wheat was used to the following test: thousand grain weight, hectoliter weight, moisture grain extraction rate of flour, ash content , protein content , sedimentation test of SDS and ZELNY and alveograph test.

The statistical analysis shows a highly significant effect of the interaction "varieties x environment" for most parameters, and also shows that there is a correlation between the various tests.

Keywords: wheat, variety, selection, adaptation, genotype x environment interaction.

المخلص

ان عملنا يستند اساسا على دراسة التفاعل (النمط الوراثي * البيئة) لثلاثين نوع من القمح اللين المزروعة على مستوى حقول المعهد الوطني للزراعات الواسعة بواد السمار و قالمة, حيث نبحت, عن طريق مجموعة من التحاليل البيوكيميائية والتكنولوجية, مدى تاثر النمط الوراثي للقمح المدروس بسلوكه بتكيفه مع مناخ المنطقة, والنتائج ياكد لنا بان ان البيئة والمناخ لهما اثرا كبيرا على نوعية وانتاجية الحبوب.

كما ان التحليل الاحصائي يظهر تاثير التفاعل (النمط الوراثي * البيئة) على معظم التحاليل, ويبين ايضا وجود تناسق بين الاختبارات المختلفة.

الكلمات السرية : القمح اللين, الاصناف, التكيف, النمط الوراثي * البيئة.

Les blés constituent la première ressource en alimentation humaine, et la principale source de protéines. Ils fournissent également une ressource privilégiée pour l'alimentation animale et de multiples applications industrielles (*BONJEAN et PICARD, 1990*). La presque totalité de la nutrition de la population mondiale est fournie par des aliments en grain dont 95% sont produits par les principales cultures céréalières.

En effet, Selon la FAO, la consommation mondiale de blé a été multipliée par 4 en l'espace d'un demi-siècle passant ainsi de moins de 150 millions de tonnes consommées en 1946 à plus de 600 millions de tonnes en 2005.

Selon CHEHAT (2004), la céréaliculture algérienne occupe, près de 3 millions d'hectares sur une superficie totale de 6.8 millions d'hectares, soit 44%. Les données statistiques du ministère de l'agriculture indiquent que la sole réservée aux céréales au cours de la période (2001-2006) a été de 3.177.500 hectares.

En Algérie, les blés demeurent l'aliment de base et fournissent plus de 60% de l'apport calorique et de 75 à 80 % de l'apport protéique de la ration alimentaire algérienne (*ANONYME, 2006*). La consommation des produits céréaliers se situe à un niveau d'environ 205 kg /habitant/an (*CHEHAT, 2007*). Cette situation traduit bien nos habitudes alimentaires fortement liées aux dérivées des blés durs et tendres.

Cependant, la production locale de ces deux céréales est insuffisante, (5.5 à 8 millions de quintaux/an) et ne couvre pas encore nos besoins estimés à 13 millions de quintaux/an (*ANONYME, 2003*).

L'Algérie se trouve ainsi d'une part dans l'obligation de recourir aux importations pour combler le déficit entre production et besoins, et d'autre part de rehausser la production nationale en agissant sur les différents niveaux qui limitent nos rendements.

La disponibilité de géotypes adaptés aux conditions agro-climatiques particulières de l'Algérie et de rendements satisfaisants constituerait un levier dans cette stratégie globale.

Introduction

L'augmentation des rendements de blé tendre peut se faire par des techniques culturales appropriées (travail du sol, fertilisation et traitements phytosanitaires), mais aussi par la recherche de génotypes performants et adaptées aux différents milieux de culture. La cause principale des différences entre les génotypes dans leur stabilité de rendement est la présence d'interaction génotypes x environnement.

Les essais multi-environnementaux jouent un rôle important dans la sélection de plantes et la recherche agronomique. Les données de telles épreuves ont trois objectifs principaux (CROSSA, 1990) :

- Estimer et prévoir exactement le rendement basé sur des données expérimentales limitées.
- Déterminer la stabilité de rendement et le modèle de la réponse des génotypes à travers des environnements.
- Fournir des conseils pour choisir les meilleurs génotypes fiables destinés à être semé dans des conditions pédoclimatiques nouvelles.

C'est dans le cadre des perspectives de sélection au programme PNAB que nous avons entrepris les travaux suivants :

- la détermination des caractéristiques physiques, chimiques et de la qualité technologique de 15 lignées de blé tendre (*Triticum aestivum*) en cours de sélection.
- L'étude de l'interaction génotype x environnement de ses lignées dans deux environnements différents.

La première partie de notre travail est consacrée à la présentation des éléments bibliographiques en rapport avec notre étude. Une deuxième partie consacrée à la présentation des matérielles et différentes méthodes utilisées pour la détermination des caractéristiques (technologiques, chimiques.....) étudiées. Dans la troisième partie, nous présentons les résultats obtenus au cours des analyses effectuées et l'interprétation de ses résultats et en fin la conclusion générale du travail.

I.1 Classification taxonomique

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae*, c'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*).

Ces deux variétés constituent l'essentiel de l'alimentation humaine dans de nombreux pays. Les blés sont consommés après transformation, en semoule pour le blé dur ; destiné essentiellement pour la confection de pâtes, et en farine pour le blé tendre destiné pour les boulangeries, la pâtisserie (*FEILLET, 2000*).

Tableau 1 : Classification du blé tendre (*FEILLET, 2000*).

Classification	Blé tendre
Règne	Plantae (Règne végétale)
Division	Magnoliophyta (Angiospermes)
Classe	Liliopsida (Monocotylédons)
S/Classe	Commelinidae
Ordre	Poale
Famille	Poaceae (ex Graminées)
S/Famille	Triticeae
Tribu	Triticeae (Triticées)
S/Tribu	Triticinae
Genre	<i>Triticum</i>
Espèce	<i>Triticum aestivum</i> L.

I.2. Caractères botaniques du blé

I.2.1. Morphologie

I.2.1.1. Appareil végétatif

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) est une plante très semblable dans la morphologie de leurs organes végétatifs et floraux.

❖ L'appareil aérien

Il est formé d'un certain nombre d'unités biologiques ou des ramifications appelées talles. Ces ramifications partent toutes d'une zone, appelée court-nouée située à la base de la tige : le plateau de tallage. Chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) elle varie de 90 cm à 150 cm, (SOLTNER, 1990 ; PETREQUIN et BAUDAIN, 1997). Les feuilles sont alternes, longues, étroites et à nervures parallèles. Chaque feuille comprend deux parties : une portion inférieure enveloppant l'entre-nœud correspondant à la gaine, et une portion supérieure, le limbe.

❖ L'appareil racinaire

Il est composé de deux systèmes racinaires successifs :

- Un système séminal, fonctionnel seul de la levée au début du tallage. Les racines de ce système sont au nombre de six, rarement sept (BENLARIBI et al, 1990 ; HAZMOUNE, 2006).
- Un système adventif ou coronal, apparaissant au moment où la plante émet ses talles. Ce système se substitue progressivement au précédent durant l'avancement du cycle biologique des céréales à paille. Il est de type fasciculé. Bien que moins puissant (SOLTNER, 2005).

I.2.1.2 L'appareil reproducteur

L'inflorescence est de type racème c'est donc une grappe dont les fleurs sont sans pédoncules ; elle est appelée épi terminal chez le blé tendre. C'est une inflorescence indéfinie qui termine l'appareil végétatif. L'unité morphologique de base de l'épi est l'épillet.

L'ensemble des épillets est inclus dans deux bractées ou glumes (inférieure et supérieure) (GALLAIS et BANNEROT, 1992). Chaque fleur est hermaphrodite et protégée par 2 glumelles (inférieure et supérieure), et comprend un ovaire possédant un seul ovule, un stigmate divisé (bifide) plumeux et 3 étamines.

I.2.2 Structure et morphologie du grain de blé

Un grain de blé est formé de trois parties (FEILLET, 2000) :

- **L'albumen**, constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersés au milieu d'une matrice protéique et dont les parois celluloseuses sont peu visibles) et de la couche à aleurone (80-85 % du grain) (figure 1).

Chapitre 1 : Généralités sur le blé

- **Les enveloppes** de la graine formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et épicarpe (16-17%) (figure 1).
- **Le germe** (3%), composé d'un embryon (lui-même formé de la coléoptile, gemmule de la radicule, du coléorhize et de la coiffe) et du scutellum (figure 1).

Le grain de blé possède un sillon résultant d'une invagination des téguments vers l'intérieur du grain, sur toute sa longueur et du côté du germe ; les faisceaux nourriciers de la graine au cours de son développement sont localisés au fond de ce sillon (FEILLET, 2000).

La longueur du grain est comprise entre 5 et 8 mm, longueur entre 2 et 4 mm, son épaisseur entre 2,5 et 3,5 mm, poids 20 et 50 mg et sa densité entre 1,3 et 1.4 (Feillet, 2000).

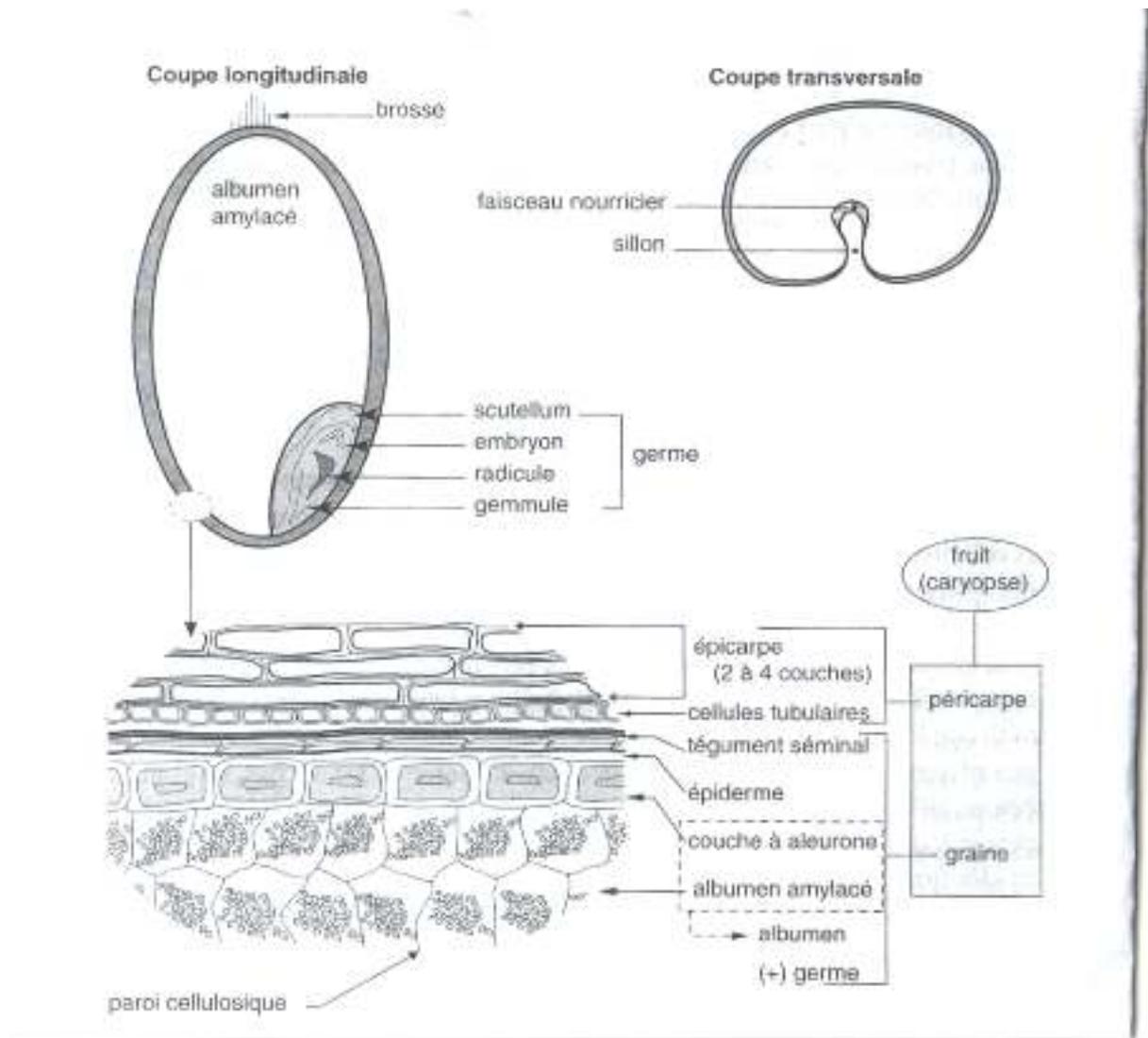


Figure 1 : Coupe illustrant la composition histologique d'un grain de blé selon FEILLET (2000).

I.2.3 Germination et développement du blé tendre

La germination est un processus physiologique qui permet à l'embryon contenu dans la graine de donner une jeune plantule.

La fourchette optimale de la germination se situe entre 12-25°C. La radicule apparaît en premier, suivie par le coléoptile 4-6 jours après la germination. Les racines primaires peuvent demeurer fonctionnelles à vie, à moins d'être détruites par une maladie ou blessées par une machine, mais elles ne constituent qu'une petite partie de l'ensemble du système racinaire. Du coléoptile émerge la première vraie feuille de la plantule. Les racines secondaires commencent à se développer environ deux semaines après la levée de la plantule. Elles sortent des nœuds de la base pour former le système racinaire permanent, qui s'étale et peut pénétrer jusqu'à 2 mètre de profondeur (*BRINK et BELAY, 2006*).

La production de feuilles et de talles augmente rapidement peu après la levée. La durée du stade végétatif est variable entre 20-150 jours, en fonction de la température et de la réponse du cultivar à la vernalisation et à la longueur du jour. Le blé est habituellement autogame : il a un taux de pollinisation croisée de 1-4 %. Le pollen se répand largement dans la fleur. Les grains situés au centre de l'épi et ceux formés dans les fleurs proximales tendent à être plus gros que les autres. La maturité physiologique est atteinte lorsque la feuille étendard (la feuille la plus haute) et l'épi virent au jaune et que la teneur en humidité du grain totalement formé est tombée à 25-35%. (*BRINK et BELAY, 2006*).

I.2.4 Composition chimique du grain de blé

La composition en pourcentage de matière sèche du grain est de 70% de glucides, 12% de protéines et de 1 à 2% de lipides. Le grain contient également des vitamines (essentiellement du groupe B), des sels minéraux (calcium, magnésium, sodium, potassium, chlore, soufre, fluor...), des fibres (celluloses, hémicelluloses...), de l'eau et des enzymes (*ANONYME, 1992*). Celles-ci peuvent avoir des effets bénéfiques ou nuisibles au cours de la panification.

Chapitre 1 : Généralités sur le blé

Tableau 2 : Composition chimique du grain de blé, selon FEILLET (2000).

Nature des composants	Teneur (% matière sèche)
Protéines	10-15
Amidon	67-71
Pentosanes	8-10
Cellulose	2-4
Sucres libres	2-3
Lipides	2-3
Matières minérales	1.5-2.5

Ces constituants se répartissent de manière inégale au sein de différentes fractions histologiques du grain. L'amidon se retrouve en totalité dans l'albumen amylicé, les teneurs en protéines du germe et de la couche à aleurone sont particulièrement élevées, les matières minérales abondent dans la couche à aleurone, les pentosanes sont les constituants dominants de cette dernière et du péricarpe, la cellulose représente près de la moitié du péricarpe (40%), les lipides voisinent ou dépassent les 10% dans le germe et dans la couche à aleurone. (voir tableau 3)

Tableau 3 : Distribution histologique des principaux constituants du grain de blé selon FEILLET (2000).

	Grain		Péricarpe		Aleurone		Albumen		Germe	
	% G	%T	%G	%T	%G	%T	%G	%T	%G	
Protéines	13.7	10	4.4	30	15.3	12.0	73.5	31	6.8	
Lipides	2.7	0	0	9	23.6	2	62.9	12	13.5	
Amidon	68.9	0	0	0	0	82	100	0	0	
Sucres réducteurs	2.4	0	0	0	0	1.8	62.7	30	37.3	
Pentosanes	7.4	43	35.1	46	43.8	1.6	18.3	7	2.9	
Cellulose	2.8	40	87.1	3	7.6	0.1	3.1	2	2.2	
Minéraux	1.9	7	22.6	12	43.6	0.5	22.6	6	9.7	

I.2.4.1 L'eau

Le grain de blé est constitué de 13,5 % d'eau. Cette faible teneur lui permet d'être stocké longtemps en évitant ainsi le développement de micro-organismes en particulier de moisissures (FREDOT, 2005).

I.2.4.2 Les glucides

Ces substances énergétiques majoritaires dans le grain sont constituées de 80% d'amidon, polymère de glucose. Il est constitué à 17-28% de chaînes linéaires d'amylose et de chaînes ramifiées plus longues d'amylopectine. Ces deux types de chaînes sont associés dans le grain d'amidon par couches concentriques formant successivement des zones amorphes et des zones cristallines.

Un ensemble de composés glucidiques de structure, comme la cellulose, est présent à environ 5% dans le grain (*GODON et WILLM, 1991*).

➤ LES GLUCIDES ASSIMILABLES :

Le grain de blé contient environ 61 % de glucides assimilables avec :

- Des glucides complexes (l'amidon) : Il représente la majeure partie de ce type de glucides soit 59 % répartis ainsi : 25 % d'amylose et 75 % d'amylopectine.

Il est essentiellement retrouvé dans l'amande dont la zone centrale est plus riche que la zone périphérique. À l'opposé, l'écorce et le germe sont peu riches en amidon. Par conséquent, plus une farine sera blanche, plus elle sera riche en amidon et meilleur sera son coefficient d'utilisation digestive (CUD).

- Des glucides simples (2 %) : Ils sont représentés par du glucose, du fructose, du saccharose et du raffinose (triholoside).

Ils sont pour la majeure partie localisés dans le germe et l'assise protéique de l'écorce.

➤ LES GLUCIDES NON ASSIMILABLES : LES FIBRES ALIMENTAIRES VÉGÉTALES (FAV) :

Le grain de blé contient 9,5 % de FAV. Étant donné la présence de ces fibres, le CUD des glucides est de seulement 90 %. Elles se trouvent principalement dans l'écorce (*FREDOT, 2005*).

I.2.4.3 Les protides

Les protides sont formés d'acides aminés libres, de peptides et surtout de protéines. Les protéines de céréales sont classées selon leur solubilité : les albumines, solubles dans l'eau ; les globulines, solubles dans les solutions salines diluées ; les prolamines dans les solutions alcooliques et les glutélines dans les solutions diluées d'acides ou d'alcalis et leur caractéristiques : masse moléculaire, composition en soufre, structure, localisation sur les gènes et fonctions. (Voir tableau 4)

Pour le grain de blé, les prolamines sont plus spécifiquement appelées gliadines. Quant aux glutélines, elles sont nommées gluténines. Ces deux types sont les plus présents dans le grain avec respectivement sur l'ensemble des protéines 40-50% et 30-40%. Elles constituent les protéines de réserve. Les protéines des céréales sont déficitaires en certains acides aminés, en particulier les acides aminés essentiels comme la lysine (*GODON et WILLM 1991*).

Tableau 4 : Classification des protéines de grain de blé d'après différents auteurs (*OSBORNE, 1907 ; SHEWRY et al, 1987 ; SINGH et SHEPHERD, 1988*)

Osborne (1907)		Shewry et al. (1986)		Singh et Shepherd (1988)				
Groupes	Solubilité	PM (kDa)	Composition	Structure	Localisation des gènes	Fonction		
Albumines	Eau	5 à 90				Protéines de structure et fonctionnelles		
Globulines	Sels neutres							
Gliadines	Alcools dilués	25 à 75	Pauvres en S	Monomériques		Protéines de réserve ou Prolamines		
							- ω	<i>Gli-1</i> (1A,1B, 1D) C
							- α	<i>Gli-2</i> (6A,6B, 6D) C
							- β	<i>Gli-2</i> (6A, 6B, 6D) C
			Riches en S					
- γ	<i>Gli-1</i> (1A, 1B, 1D) C							
Glutélines	Acides, bases réducteurs, détergents	100 à plusieurs milliers		Agrégées ou polymérisées				
							- FPM	<i>Glu-3</i> (1A,1B, 1D) C
							- HPM	<i>Glu-1</i> (1A,1B, 1D) L

❖ Les globulines

Elles ont un rôle faible dans le process de panification. Elles sont utilisées en partie par la levure comme nutriment. En combinaison avec les sucres, elles participent à la réaction de Maillard qui donne une partie de sa coloration à la croûte du pain.

❖ Les gliadines du blé

Elles sont responsable de l'extensibilité de la pâte lors de la fabrication du pain par exemple et permet son écoulement visqueux. Elles sont aussi responsable chez certains sujets de « l'intolérance au gluten » appelée aussi maladie cœliaque. C'est une maladie qui se caractérise par une malabsorption globale entraînant des diarrhées et des stéatorrhées responsables à long terme d'une dénutrition. L'exclusion du blé, du seigle, de l'orge et de l'avoine est la seule forme de traitement de cette pathologie d'origine probablement immunitaire (pour ces raisons, ces 4 céréales sont exclues des farines pédiatriques dites du 1^{er} âge —1 à 4 mois) (FREDOT, 2005).

Il y a quatre gliadines dans le blé : α , β , γ et ω . Elles sont pauvres en acides aminés basiques et très riches en glutamine et proline (surtout ω). Il y a quasi absence d'acides aminés soufrés dans les ω -gliadines. Quant à la teneur en acides aminés basiques, elle va en décroissant des α vers les ω -gliadines.

La présence d'acides glutamique et aspartique sous forme amidée et la pauvreté en acides aminés basiques font de la gliadine une protéine à faible charge, qui avec une forte hydrophobicité expliquent les propriétés de solubilité particulières de cette protéine (ALAIS et LINDEN, 1994).

Les α , β , γ -gliadines sont stabilisées par des ponts di sulfures intra-moléculaires, par de nombreuses liaisons H.

Les gliadines sont extrêmement collantes lorsqu'elles sont déshydratées et n'ont pas ou peu de résistance à l'extension.

❖ Les gluténines

Les gluténines ont une teneur en résidus lysine, glycine, alanine, sérine et tyrosine fortement supérieure à celles des gliadines, mais leur teneur en acide glutamique, proline et cystéine est inférieure. Il existe deux types de gluténines, les gluténines **I** à faible poids moléculaire et les gluténines **II** à haut poids moléculaires. Les deux sont associées par liaisons non covalentes, essentiellement des liaisons hydrophobes (ALAIS et LINDEN, 1994).

Les gluténines sont résistantes à l'extension. Le rapport entre gliadines et gluténines est considéré comme important dans le comportement des pâtes.

❖ Le gluten

Le gluten est composé de 75% à 80% de protéines (gliadines et gluténines essentiellement), 5 à 10% de lipides et de 8 à 10% d'amidon (*GODON, 1991*). Il a des propriétés de cohésion, d'élasticité, de viscosité et de plasticité qui lui permette au cours de la panification, de former un réseau tridimensionnel imperméable, capable de retenir le gaz carbonique et de s'étirer sous sa pression pour former la structure et la texture alvéolée du pain (*FOULD-SPRINGER, 1996*).

Il se forme au cours du pétrissage : les gluténines s'unissent par ponts disulfures formant une grande surface sur laquelle de nombreuses liaisons non covalentes peuvent apparaître avec des gliadines (plus lâchement associées) (*GODON, 1991*). Ainsi, les gluténines sont responsables de la ténacité et de l'élasticité de la pâte et les gliadines de l'extensibilité (*CARENTINO, 1996*).

La quantité de gluten et la qualité de ses protéines font la valeur boulangère de la farine (*ANONYME, 1992*).

❖ Les albumines et les globulines et leur rôle en panification

Appelées classiquement protéines solubles, elles sont constituées de nombreuses protéines différentes possédant en général des activités biologiques (alpha et bêta-amylase, protéases, oxydoréductases, inhibiteurs d'enzymes) et physiques (pouvoir émulsifiant).

En ce qui concerne l'influence des protéines solubles sur les caractéristiques technologiques des farines, les résultats de différents travaux sont contradictoires.

En effet, pour (*HOSENEY et FINNEY, 1971*) les albumines et les globulines n'ont pas d'effet sur la qualité boulangère.

Alors que (*ROUSSET, 1976*) trouve que l'élimination des protéines solubles diminue la force de la pâte.

Les albumines et globulines,, ont d'es fonctions biologiques et peuvent influencer la valeur technologique ainsi que la qualité boulangère (*LAZTITY, 1984*).

Les protéines solubles ont peu d'intérêt dans la détermination de la qualité boulangère et seraient négativement corrélées à cette dernière (*ROUSSEL et LOISEL, 1984*).

D'après (MAC RITCHIE *et al*, 1990) les globulines et les w-gliadines ne contribuent pas à l'amélioration de qualité notamment le volume de pain.

Mais selon (SINGH *et al*, 1990) ces mêmes protéines semblent être reliées à certains paramètres de qualité notamment le volume de pain.

Enfin (SAPIRSTEIN *et FU*, 1998) signalent que les protéines monomériques (albumines, globulines et gliadines) ont un effet négligeable dans la qualité boulangère.

❖ Rôle des gliadines et gluténines dans la qualité boulangère

POMERANZ, (1982) montre que les propriétés viscoélastiques de la pâte sont non seulement la résultante des interactions entre les polymères de gluténines mais aussi des interactions gluténines-protéines monomériques.

La gluténine responsable de l'élasticité de la pâte. Le gluten du blé dur est très peu extensible d'où l'impossibilité de l'utiliser pour la panification (FREDOT, 2005).

La gliadine responsable de l'extensibilité de la pâte lors de la fabrication du pain par exemple et permet son écoulement visqueux (FREDOT, 2005).

I.2.4.4 Les lipides

Faible proportion dans le grain de blé et se retrouvent essentiellement dans le germe. Les acides gras sont essentiellement des acides gras insaturés (63% d'acide linoléique, 15% d'acide oléique contre 18% d'acide gras saturé palmitique). Les deux-tiers de ces lipides sont libres, alors que les autres sont liés aux autres constituants de la farine (glucides, protéides). Ces lipides liés jouent un rôle important dans la cohésion et les propriétés du gluten (GODON *et WLLM*, 1991).

I.2.4.5 Les minéraux

- Le Calcium et le Phosphore : Les teneurs sont les suivantes : Calcium 35 mg/100 g ; phosphore : 400 mg/100 g. Soit le rapport calcium/phosphore :
 - s'il est inférieur à 1 : le calcium est mal utilisé par l'organisme ;
 - s'il est supérieur à 1 : le calcium est bien utilisé par l'organisme.

Ici, le rapport calcium/phosphore étant de 0,09, le calcium est donc très mal absorbé.

En effet, dans le blé et les céréales en général, une grande partie du phosphore (75 % pour le grain de blé) se trouve sous forme d'acide phytique (ou de phytates) qui présente la propriété de lier les cations bivalents tels que le Ca^{2+} , le Zn^{2+} , le Mg^{2+} ou le Fe^{2+} . Cela donne alors naissance à des sels insolubles donc non absorbables. Cependant, l'acide phytique est principalement situé dans les enveloppes du grain.

- Le Magnésium 140 mg/ 100 g : Sous forme de Mg^{2+} et donc interagit avec l'acide phytique entraînant sa mauvaise absorption.
- Autres minéraux : (Sodium : 3 mg, Potassium : 435 mg, Fer = 5 mg , Zinc = 4,1 mg, Cuivre = 0,6 mg, Sélénium = 100 μg) pour 100g.

Remarque sur le fer : il est sous forme de fer nonhémérique qui est mal absorbé par l'organisme (~ 5 %) ce qui renforce l'action de l'acide phytique (*FREDOT, 2005*).

I.2.4.6 Les vitamines

➤ Vitamine hydrosolubles

- Vit C : inexistante.
- Vit B₁ : 0,41 mg/100 g : 2/3 sont situés dans le scutellum, 1/3 dans l'assise protéique.
- Vit B₂ : 0,1 mg/100 g : c'est une source très médiocre dont 50 % est situé dans l'amande.
- VitB₃ : 4,7 mg/100 g : teneurs intéressantes 2/3 se trouvent dans l'assise protéique.
- Vit B₆ : 0,5 mg/100 g : ces teneurs sont moyennes.
- Vit B₉ : 50 μg /100 g : c'est une source médiocre.

➤ Vitamines liposolubles

La seule vitamine liposoluble présente dans le grain de blé est la vitamine E avec 2,5 mg/100 g. Elle se trouve essentiellement dans le germe car c'est à cet endroit que l'on trouve le plus de lipides (*FREDOT, 2005*).

I.2.4.7 Les fibres alimentaires végétales (FAV)

L'écorce est riche en fibres insolubles : lignine, cellulose et hémicellulose d'où l'intérêt diététique des pains complets, du son et des pains au son dans la régulation du transit intestinal ainsi que dans la prévention du cancer du côlon (*FREDOT, 2005*).

I.3 Qualité et transformation du blé tendre

I.3.1 Qualité du blé

Le terme de "qualité" des blés est surtout lié à la valeur boulangère, c'est -à-dire à son aptitude à fournir, à partir de sa farine, un pain bien développé, d'un bel aspect, d'une odeur et saveur agréables, dans de bonnes conditions de travail et de rendement (ANONYME, 1976). Cette farine, de bonne qualité boulangère doit donc être extraite d'un blé dit sain, loyal et marchand qui satisfait à des conditions strictes d'humidité, de grosseur des grains et de taux maximal d'impuretés, avec l'absence d'odeur et d'insectes vivants (GODON, 1995).

Tableau 5 : Critères de qualité du blé tendre (GODON, 1995).

➤ <i>Poids spécifique</i>	$\geq 70\text{kg}$
➤ <i>Teneur en eau</i>	$\leq 18\%$
➤ <i>Impuretés</i>	
• <i>Diverses</i>	$\leq 4\%$
• <i>Grains germés</i>	$\leq 5\%$
• <i>Grains cassés</i>	$\leq 5\%$
• <i>Grains échaudés, petits grains</i>	$\leq 5\%$
• <i>Présence de seigle et autres céréales</i>	$\leq 6\%$
	$\leq 10\%$

Aujourd'hui, la qualité du blé est un atout économique majeur (BAL, 1997).

I.3.1.1 La qualité technologique des farines

La qualité boulangère d'un blé recouvre deux aspects :

❖ Les qualités fermentaires

Lors de la fermentation de la pâte, pour produire du CO_2 , les levures doivent disposer de sucres simples (glucose ou saccharose). La farine possède peu de sucres simples mais beaucoup d'amidon qui ne peut être utilisé tel quel par les levures. L'amidon peut être hydrolysé en sucres simples par α amylase présentes dans le grain. Il faut connaître l'activité de ces enzymes pour connaître la capacité de production de gaz.

L'amidon, dans le grain, se présente sous forme de granule. L'attaque des enzymes est facilitée si on endommage ces granules lors de la mouture. Il est donc intéressant de déterminer l'endommagement des grains d'amidon après mouture.

❖ Les qualités rhéologiques

Pour donner une pâte de bonne qualité, la farine doit pouvoir absorber une certaine quantité d'eau et conserver ses propriétés lors du pétrissage. On va déterminer la capacité d'absorption d'eau de la farine et la résistance de la pâte au travail mécanique.

La pâte formée doit pouvoir retenir correctement un maximum de gaz produit lors de la fermentation. On mesurera ses propriétés rhéologiques (ténacité, extensibilité, élasticité). Ces propriétés sont dépendantes de certaines protéines. On déterminera donc la quantité et la qualité des protéines (*ANONYME, 2007*).

I.3.1.2 Tests d'appréciation de la qualité

Il existe trois types de mesure pour apprécier la qualité du blé :

➤ Les mesures physiques

Elles se font dès la réception en organismes de stockage et permettent de cerner la qualité du lot, de détecter les problèmes de qualité (blés humides, présence d'insectes ...) et donc d'agir en conséquence sur la conduite du stockage.

La mesure de la teneur en eau par un humidimètre est simple et rapide. Elle peut donc s'effectuer dans le cadre des transactions commerciales.

La masse à l'hectolitre, (masse volumique), appelée poids spécifique. Toujours prise en compte dans les contrats commerciaux et dans les transactions, son intérêt technique est contestable. En effet, cette mesure est influencée par différents facteurs comme la présence d'impuretés ou la teneur en eau. Par exemple, la présence d'impuretés de gros volume, mais de faible densité (pailles ...) provoque une diminution du poids spécifique.

La teneur en impuretés est donnée après tamisage et/ou triage d'un échantillon. En effet, les lots de blé contiennent toujours en plus ou moins grande quantité des grains cassés, des grains germés, des impuretés divers (débris végétaux et animaux...), des graines étrangères à l'espèce (*LENAOUR et al, 1998*).

➤ Les mesures globales

Elles donnent une réponse complète sur la valeur d'utilisation puisqu'elles consistent à fabriquer le produit pour lequel on veut apprécier la qualité du blé. Elles ont l'inconvénient d'être longues et de demander une quantité importante de produit.

Trois types de tests existent :

- a) L'électrophorèse des protéines permettant d'identifier la variété d'un blé, ce qui renseigne sur sa valeur d'utilisation.
- b) Le test de machinabilité consiste à préparer de la pâte afin d'observer la machinabilité, sa capacité à constituer une masse cohérente n'adhérant pratiquement pas aux parois.
- c) Le test de panification reproduisant à l'échelle le diagramme de panification (*LENAOUR et al, 1998*).

➤ **Les mesures indirectes**

Elles sont fondées sur les connaissances de la rhéologie des pâtes et des relations entre les constituants du grain et de la qualité. Il faut les résultats de plusieurs tests pour avoir une idée plus juste de la qualité, car ils ne donnent qu'une image partielle de la valeur du blé.

La teneur en protéines est calculée à partir de la teneur en azote déterminée par la méthode de Kjeldahl. Elle est intéressante à déterminer, car elle est en forte relation avec la valeur d'utilisation des variétés.

L'indice de chute de Hagberg donne une mesure de l'activité amylasique d'un blé. Celle-ci se traduit par une liquéfaction de l'amidon, un des facteurs importants de la valeur boulangère d'un blé. Un excès d'amylase dû à la germination des grains rend la panification difficile, voir impossible.

La mesure de l'indice de sédimentation (test de ZELENY) permet de déterminer la quantité et la qualité des protéines du blé à travers leur capacité à gonfler en milieu acide. Ce test est surtout utilisé pour classer les blés en variété.

La mesure à l'Alvéographe Chopin est effectuée sur un échantillon de pâte composé uniquement de farine et d'eau salée. Elle permet entre autres de déterminer la force boulangère (*BEAUX, 1995*).

En amont, au niveau des silos de collecte et de stockage, on ne peut réaliser tous ces contrôles. Toutefois, la connaissance de la variété constituant le lot et de la teneur en protéines apportent généralement 70 à 80% de l'information qualitative (valeur technologique). Il faut tout de même avoir préalablement vérifié l'activité amylasique excessive (*BEAUX, 1995*).

Chapitre 1 : Généralités sur le blé

A noter l'utilisation de la spectrométrie à infrarouge qui a révolutionné la mesure de la teneur en dans les silos. Cette méthode est rapide et précise. Elle permet de mesurer bien d'autres critères (eau, amidon, cellulose...). Depuis trois ans, de nombreux organismes de stockage et industriels de première transformation s'en sont équipés (*ANONYME, 1995*).

II.1 Génotype

Le génotype est la composition génétique d'un individu. Il est défini selon (VESPA, 1984), comme un arrangement de gènes. Selon (VERRIER *et al*, 2001), le génotype d'un individu en un locus est l'ensemble des gènes qu'il possède à ce locus (deux gènes homologues pour un individu diploïde). Le génotype en plusieurs locus est l'ensemble des génotypes à chacun des locus.

Si l'on considère l'ensemble du génome et l'ensemble des caractéristiques phénotypiques des organismes, aucun individu ne peut être strictement identique à un autre, hormis le cas d'organismes obtenus par multiplication végétative ou le cas de vrais jumeaux (encore ces exceptions ne concernent-elles que le génotype).

En pratique, les termes « génotype » et « phénotype » sont employés dans un sens restreint, c'est-à-dire, pour les seuls caractères qui nous intéressent et les gènes qui les influencent.

II.2 Environnement

II.2.1 Milieu

Le milieu désigne l'environnement dans lequel vit l'individu observé, certains états physiologiques qui lui sont propres et l'observateur lui-même (VERRIER *et al*, 2001).

En production végétale, on range dans cette catégorie des facteurs tels que l'année (influence du climat), la parcelle (influence des conditions topographiques et de sols), les doses d'engrais appliquées aux différents stades du développement de la plante, les traitements phytosanitaires effectués et les conditions de récolte.

Parmi les caractéristiques physiologiques propres à l'individu, que l'on considère comme facteur de milieu, le cycle et le stade de développement de la plante jouant sur les valeurs phénotypiques.

L'observateur enfin, a une influence au travers du protocole de mesure qu'il applique, de la précision de ses instruments de mesure et des erreurs de mesure qu'il peut commettre.

II.2.2 Facteurs de milieu contrôlés et non contrôlés

Une autre classification des facteurs de milieu est à introduire, car déterminante dès lors que l'on est au stade de l'expérimentation ou de l'analyse des données recueillies sur le terrain.

II.2.2.1 Facteurs de milieu contrôlés

Ce sont des facteurs de milieu que l'on identifie comme tels, dont on sait ou dont on pense qu'ils ont un effet sur les caractères étudiés : on parle également de macro-milieu (*VERRIER et al, 2001*). Ici, non seulement on peut enregistrer les conditions propres à plusieurs individus, mais on peut agir dessus. Les exemples donnés plus haut relèvent de cette catégorie. Au stade de l'analyse, on considère qu'un effet de macro-milieu s'applique en commun à tous les individus se trouvant dans une catégorie de milieu donnée.

II.2.2.2 Facteurs de milieu non contrôlés

Ce sont des facteurs, soit que l'on ne maîtrise pas car ils échappent à l'observateur, soit que l'on n'enregistre pas car le recueil de l'information correspondante est trop compliqué ou trop coûteux. On pense que ces facteurs non contrôlés induisent chacun des faibles variations, car résultant de microphénomènes locaux, s'appliquant de manière différente à chaque individu : on parle de micro- milieu (*VERRIER et al, 2001*).

II.3 Phénotype

Le phénotype est la manière dont un organisme nous apparaît, pour un niveau d'observation donné. En génétique quantitative, les caractères que l'on étudie font l'objet d'une mesure (*VERRIER et al, 2001*). Ainsi, on appelle valeur phénotypique le résultat de la mesure effectuée sur un individu.

En génétique végétale, l'entité sur laquelle on réalise une mesure peut être un mélange d'individus, par exemple l'ensemble des individus cultivés sur une même parcelle ; dans ce cas, la valeur phénotypique peut se définir à l'échelle de la parcelle : elle représente en fait une moyenne de valeurs phénotypiques individuelles (*VERRIER et al, 2001*).

Le phénotype est la valeur prise par l'arrangement des gènes pour un caractère donné. Selon (*MACKENZIE et al.2000*), le phénotype est le produit de l'interaction du génotype et de son milieu.

Les variations phénotypiques observées pour un caractère quantitatif sont imputables à des différences de génotypes entre individus et à des différences de conditions de milieu dans les quelles sont placés les individus. Ces deux composantes ne peuvent être mises en évidence, et donc prises en considération, que si elles présentent elles même des variations (*VERRIER et al, 2001*).

Le phénotype représente un critère de sélection : Parmi un grand nombre d'individus, le choix portera sur les plus aptes à survivre et à mieux se reproduire (*DELOURME, 1999*), autrement dit, sur ceux qui correspondent aux objectifs agronomiques ou de qualité définis au départ (*MONNEVEUX, 1997*).

II.4 Interaction génotype x milieu

Par définition, on dit qu'il y a interaction génotype x milieu lorsqu'on s'écarte de la situation d'additivité, c'est-à-dire lorsqu'une condition de milieu affecte différemment les génotypes comparés et que l'écart entre les génotypes n'est pas le même selon les conditions de milieu. Fondamentalement, l'interaction entre les effets du génotype et du milieu est un concept statistique, dont la mise en évidence passe par les techniques de l'analyse de la variance (*VERRIER et al, 2001*).

II.5 Bases génétiques de l'interaction génotype x milieu

Selon (*GALLAIS, 1990*), l'existence d'interaction génotype x milieu signifie que selon le milieu l'ensemble des gènes d'un génotype ne s'exprime pas de la même façon. Certains génotypes sont plus stables que d'autres, leurs performances varient moins selon le milieu : ils sont homéostatiques.

Ainsi, lorsqu'il y a de l'hétérosis, un hybride simple est souvent plus stable que ses parents. Cela peut être dû à l'hétérosis, mais il peut exister des gènes de stabilité, des systèmes de régulation permettant un meilleur fonctionnement du génotype dans des conditions assez variées de milieu.

Une autre cause de stabilité de comportement est l'hétérogénéité intra peuplement. Un peuplement hétérogène sera plus stable qu'un peuplement plus homogène s'il est formé de génotypes adaptés à différents milieux (*VERRIER et al, 2001*).

A partir de l'étude de comportement, il suffit de considérer qu'il existe des gènes d'adaptation aux différentes conditions de milieu et que ces gènes sont à des locus différents.

II.6 Adaptation au milieu

Pour lutter contre le manque d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives qui varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. La résistance d'une plante à une contrainte hydrique peut être définie, du point de vue physiologique, par sa capacité à survivre et à s'accroître et, du point de vue agronomique, par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles.

La résistance globale d'une plante à la sécheresse apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques et biochimiques qui interagissent pour permettre le maintien de la croissance, du développement et de la production (*HSSISSOU, 1994*).

II.7 Adaptation du génotype au milieu

L'adaptation d'un génotype au milieu peut avoir deux origines : la présence de « gènes d'adaptation », ou plus exactement de gènes qui gouvernent des caractères jouant un rôle dans l'adaptation (*GALLAIS, 1992*).

Les gènes d'adaptation spécifique sont nombreux : ils peuvent concerner l'évitement de la contrainte (gènes de précocité) ou bien l'adaptation à la contrainte elle-même (résistance au froid hivernal, etc...) ou à l'agent pathogène. L'adaptation générale à différents milieux peut être contrôlée par des gènes non- allèles différents ou bien, comme dans le cas de la pléiotropie, par des gènes allèles produisant des effets variables (positifs ou négatifs) entre milieux (*GALLAIS, 1992*). Les génotypes les plus adaptés seront ceux cumulant un maximum de gènes à effets favorables. Les gènes peuvent être en outre plus ou moins spécifiques comme dans le cas des résistances aux maladies (*LEFEBVRE et PFLIEGER, 2000*).

II.8 Limites des modèles d'analyse des caractères quantitatifs

L'interprétation génétique de la variation des caractères quantitatifs est compliquée. La difficulté de l'analyse réside dans le fait qu'on est souvent incapable de déceler des gènes en ségrégation responsables de la variation observée, et on ne peut pas associer sans ambiguïté un phénotype donné à un génotype particulier. Même lorsque l'on est capable de détecter un gène majeur, ou de le mettre en évidence grâce à des marqueurs QTL (Quantitative trait locus), on ignore le nombre et les effets des autres gènes en ségrégation (*VERRIER et al, 2001*).

Chapitre II : Interaction génotype x environnement

Sur le plan statistique, les effets des facteurs contrôlés (macro-milieu) sont considérés comme fixes, à l'opposé des facteurs non contrôlés (micro-milieu) qui sont considérés comme des facteurs aléatoires.

L'objectif du travail

Notre étude a été réalisée au niveau des laboratoires :

Le laboratoire de l'institut technologique des grandes cultures ITGC. Alger

Le laboratoire d'ERAD de Tadmait. Tizi-Ouzou

Durant une période de 04 mois allant du 21/03/2012 au 25/07/2012.

Dans le souci d'améliorer le rendement et la qualité du blé tendre, le présent travail a pour objectif de montrer l'effet de l'interaction « Génotype x Environnement » sur les paramètres agronomiques et technologiques de quelques variétés de blé tendre. L'intérêt est de sélectionner les génotypes les plus performants, en d'autres termes, cibler les potentiels génétiques qui expriment au mieux leurs qualités agronomiques et technologiques en s'adaptant à des milieux différents. Il s'agit donc d'étudier 15 variétés dans 2 environnements différents. Les 15 variétés constituent 15 objets d'expérience ou 15 traitements à étudier. De même, les 2 environnements représentent 2 objets d'expérience ou 2 traitements.

La question posée est la suivante :

- L'interaction « variétés x environnements » est-elle significative ?

III. MATERIEL ET METHODE

III. 1. Localisation des essais :

Station Guelma (E1)

- Elle se situe sur la partie Nord-est du pays à proximité de la ville de Guelma.
- Latitude : 7 °,44 Longitude : 36°,46 Altitude : 250 mètres.
- Climat : ce climat se caractérise par un climat qualifié d'humide et subhumide, la pluviométrie moyenne annuelle est de 563mm.
- SAU : 37,25ha.

Station Oued-Smar (E2)

- Elle se situe sur la partie Nord-est de la plaine de la Mitidja.
- Latitude : 36°.717 Longitude : 03°.160 Altitude: 24 mètres.
- Climat : ce climat se caractérise par un climat subhumide. La pluviométrie moyenne annuelle est de 600 mm.
- SAU : 47,46 ha.

III.2. Matériel végétal :

Le matériel végétal et lignées étudié est composé de 15 variétés de blé tendre (*Triticum aestivum*) de l'essai répété -2-(2010/2011) de deux stations de l'ITGC à savoir la station de Guelma et la station de Oued semmar.

N de l'échantillon	Variétés et lignées
V1	HXL7579/*2BAU
V2	PASTOR
V3	TUI
V4	Irena/Babox//Pastor
V5	Vee/Mji//2*Tui/3/2*Pastor
V6	MAHON DEMIAS/3/HIM/CNDR/CA8055
V7	SULTAN95/ATTILA
V8	CONA/KLCRI/3/BPON/W000015//KLCRI
V9	K0751b2
V10	EKIZ
V11	Vorona//Prl/Vee #9/ 3/Kauz*2/Taco//Kauz
V12	Mos83.11.4.8//Pew
V13	F494.16.1111/Bonito
V14	Zander/Dokenkenti.
V15	YUGTINA/KAUZ/3/AGRI/BJY//VEE

Tableau 6 : les variétés et lignées étudiées.

NB: la quantité en échantillons est estimée à 1kg pour toutes les variétés et lignées étudiées.

III. 3. Matériel non biologique :

Le matériel non biologique est représenté par les verreries, les appareillages, les réactifs.

III. 4. Méthode d'obtention des farines à partir des grains de blé tendre

III. 4. 1. Nettoyage du blé :

Le nettoyage a pour but d'enlever du blé, toutes les impuretés qui y sont présentes :

- Les corps étrangers tels que paille, pierres et corps métalliques ;
- Les graines étrangères : graines longues (orge, avoine) ou rondes (vesces, nielles...) ;
- La poussière qui est logée à l'intérieur du sillon, ainsi que celle qui adhère à la brosse du grain.

III. 4.2. Conditionnement du blé :

Après nettoyage, le blé doit être conditionné de manière à faciliter la séparation du son et de l'amande et le broyage de celle-ci. Un blé humide sera difficile à travailler, notamment à bluter, un blé trop sec se prêtera mal à la séparation des enveloppes du cœur de l'albumen (FEILLET, 2000).

Nos blés sont conditionnés (1Kg / variété ou lignée) dans des bocaux auxquels est rajoutée la quantité d'eau distillée correspondante pour atteindre une humidité de 16.5%.

Toute addition d'eau doit être suivie immédiatement d'un brassage énergique des grains afin de répartir l'eau aussi parfaitement que possible entre les grains dans un maximum de temps , à cet effet , le bocal est placé dans un mélangeur Chopin pendant 30min et laisser reposer pendant 48h à température ambiante.

III. 4.2.1. Détermination de l'humidité des grains (norme 1132.1990, ISO 712)

La détermination de l'humidité des grains est une opération capitale qui permet une humidification des grains de blé et qui est indispensable avant la mise en mouture pour faciliter la séparation du son et de l'amande.

La teneur en eau des grains doit atteindre 16.5% pour cela, le calcul de l'humidité sur grain est nécessaire, ensuite le volume d'eau distillée à rajouter est calculé avec la formule suivante :

$$\text{Volume d'eau distillée à rajouter} = (16.5 - H \%) \times (1.2 \times 10)$$

➤ Mode opératoire :

Deux déterminations sur le même échantillon pour essai doivent être faite.

- Peser 5g de grains broyés avec un broyeur Buhler et les verser dans la capsule métallique.

- Introduire la capsule ouverte contenant la prise d'essai, et le couvercle dans l'étuve pendant 2h a une température comprise entre 130 et 133°C.
- En opérant rapidement retirer la capsule de l'étuve, la couvrir et la placer dans le dessiccateur.
- Laisser refroidir la capsule durant 30min, la peser à 1mg près dans une balance analytique.

➤ **Expression des résultats :**

La teneur en eau, en pourcentage en masse du produit tel quel est donnée par la formule :

$$H\% = (M1 - M2)/(M1 - M0) \times 100$$

Où :

M0 : masse en gramme de la capsule et de son couvercle vide.

M1 : masse en gramme de la capsule et de son couvercle avec la prise d'essai avant séchage.

M2 : masse en gramme de la capsule et de son couvercle avec la prise d'essai après séchage.

Prendre comme résultats la moyenne arithmétique des valeurs obtenues pour les deux déterminations.

III. 4.3. Mouture du blé :

La mouture est réalisée après 48 heures de conditionnement sur moulin Chopin- Dubois. Elle consiste en une série d'opérations de broyer entre cylindres, trois fractions sont obtenues :

- Les issues de mouture « le son ».
- La farine de broyage.
- Les semoules : subissent deux convertissages pour donner la farine.

III.5. Analyses physiques des grains

III. 5.1. Poids hectolitre (PHL) (Norme Algérienne 1613.1990)

La masse à l'hectolitre correspond à la masse de blé contenu dans un hectolitre rempli de grains, d'impuretés et d'air interstitiel.

➤ **Principe :**

Ecoulement libre d'un échantillon au moyen d'une trémie dans un récipient de un litre.

➤ **Appareillage :**

Niléma- litre est constitué de:

- Mesure de un litre.
- Balance Romaine (maximum 1 Kg).

➤ **Echantillonnage :**

D'après l'apparence, le toucher, l'odeur et aux besoins la saveur, on doit vérifier que dans le lot ne se trouvent pas des parties hétérogènes qui doivent être échantillonnées séparément.

➤ **Mode opératoire :**

a) Remplissage de la trémie :

- Poser la mesure sur un plan horizontal stable. La trappe étant fermée, emplir cette trémie avec le grain dont on veut connaître le poids.
- Abattre le trop plein avec une règle et ouvrir la trappe entièrement et d'un coup sec, le grain tombe dans la mesure de 1 litre.

b) Arasement et pesée de la mesure aussi tôt après la fin du jet et sans fermer la frappe.

- Araser la mesure.
- une fois la mesure arasé, on pèse le grain.

➤ **Expression des résultats :**

La masse à l'hectolitre est exprimée en kilogramme par hectolitre. Exprimer le résultat avec deux décimales. Les résultats sont ramenés à l'hectolitre à l'aide d'une table de correspondance.

III. 5.2. Poids de milles grains (Norme Algérienne.730.1991.E, ISO 520)

La détermination du poids de 1000 grains peut fournir une évaluation du degré d'échaudage d'une variété connue. Ce critère est fonction de la variété et des conditions de culture.

➤ **Principe :**

Pesée d'une quantité de l'échantillon, séparation des grains entiers et pesée du reste, suivies du comptage des grains entiers. Division de la masse des grains entiers par leur nombre, et expression du résultat rapporté à 1000 grains.

➤ **Appareillage :**

- Appareil approprié pour le comptage des grains (NUMIGRAL).
- Balance précise à 0.01 gramme.

➤ **Mode opératoire :**

Prélever au hasard une quantité approximativement égale à la masse de 500 grains de l'échantillon tel quel et la peser à 0.01 gramme près. Sélectionner les grains entiers peser le reste à 0.01 gramme près et en déduire par différence la masse des grains entiers. Puis compter ces derniers à l'aide du compteur de grains. Effectuer deux essais sur le même échantillon.

Déterminer sur un échantillon séparé la teneur en eau selon la méthode ISO 712.

➤ **Expression des résultats :**

La masse, mH en gramme de 1000 grains entier tel quels, est donné par la formule :

$$mH = \frac{m0 \times 100}{N}$$

Où

m0 = masse, en gramme, des grains entiers.

N = le nombre de grains entiers contenus dans la masse m0.

La masse ms en gramme de 1000 grains sur sec est donnée par la formule :

$$mS = \frac{mH \times (100 - H)}{100}$$

H : teneur en eau des grains.

P : masse en g de 1000 grains entiers.

III.6. Analyses chimiques et biochimiques des farines

III.6.1. Détermination des cendres, méthodes par incinération à 900°C (Norme Algérienne. 733. 1991.E, ISO 2171)

La détermination du taux de matière minérale, principalement répartie dans l'enveloppe et le germe, permet de donner une indication sur le taux d'extraction en meunerie.

➤ **Principe :**

Incinération d'une prise d'essai dans une atmosphère oxydante, à une température de 900 °C ± 25°C, jusqu'à combustion complète de la matière organique, et pesée du résidu obtenu.

➤ **Réactifs et produits :**

Ethanol, solution à 95 %.

Echantillon témoin, de même nature et de taux de cendres aussi proche que possible du produit ou des produits à analyser.

➤ **Appareillage :**

- Broyeur.
- Nacelles à incinération, en matériaux non attaquable dans les conditions de l'essai, d'au moins 20 ml de capacité.
- Four électrique, la température d'incinération est réglable à la température de $900 \pm 25^\circ \text{C}$.
- Appareil de refroidissement ne permettant pas de reprise d'humidité, par exemple dessiccateur garni d'un agent déshydratant efficace.
- Plaque unie thermorésistante (amiante).
- Balance analytique.

➤ **Échantillonnage :**

Peser rapidement une quantité de substance d'environ 2 g dans la capsule tarée, couvercle compris à 1 mg près.

➤ **Mode opératoire :**

Préparation des nacelles a incinération :

Chauffé durant 10 mn les nacelles dans le four réglé à $900 \pm 25^\circ \text{C}$.

✓ Détermination de la teneur en cendre :

Effectuer immédiatement la teneur en eau conformément à la norme ISO 712.

• **Préparation pour incinération :**

Afin d'obtenir une incinération uniforme, humecter la prise d'essai dans la nacelle, au moyen de 1 à 2 ml d'éthanol.

• **Prés incinération :**

La porte du four étant ouverte, placer la nacelle et son contenu à l'entrée du four préalablement chauffé à $900^\circ \text{C} \pm 25^\circ \text{C}$, jusqu'à ce que la matière s'enflamme.

- **Incinération :**

Aussitôt que la flamme est éteinte, placer avec précaution la nacelle à incinération dans le four. En général le temps d'incinération est de l'ordre de 1 h à 1 h 30 mn. Une fois l'incinération terminée retirer les nacelles du four, et les mettre à refroidir sur la plaque unie thermorésistante pendant une minute, puis dans le dessiccateur jusqu'à la température ambiante, la peser alors rapidement à 0.1 mg près.

- **Nombre de déterminations :**

Effectuer au moins deux déterminations sur le même échantillon pour essai.



Figure 2 : détermination de taux de cendre.

➤ **Expression des résultats :**

Le taux de cendres, exprimé en pourcentage en masse rapporté à la matière sèche, est égal à :

$$m1 \times \frac{100}{m0} \times \frac{100}{100 - H}$$

Où :

- m_0 est la masse en gramme, de la prise d'essai.
- m_1 est la masse en gramme, du résidu.
- H est la teneur en eau, exprimée en pourcentage en masse, de l'échantillon pour essai.

Prendre comme résultats la moyenne arithmétique des deux déterminations.

Exprimer le résultat à 0.01 % près.

III.6.2. Dosage d'azote total avec minéralisation selon la méthode Kjeldhal (Norme Algérienne.1158.1990, ISO 1871)

La teneur en protéines est calculée à partir de la teneur en azote multipliée par le coefficient 5.7 et rapporté à la matière sèche.

La teneur en protéine, par son intérêt technologique et nutritionnel est un élément de la valeur d'utilisation du blé.

➤ **Principe :**

Le principe consiste en la minéralisation ou la pyrolyse de la matière organique contenue dans le produit. L'azote organique est transformé en azote minérale sous forme ammoniacal sous l'action oxydative de l'acide sulfurique bouillant sur la matière organique et en présence d'un catalyseur. L'azote se trouve à l'état de sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, un excès de lessive de soude neutralise l'acide sulfurique et libère l'ammoniac (NH_3) qui est entraîné par la vapeur au cours de la distillation et il peut être titré en présence d'un indicateur coloré.

➤ **Mode opératoire :**

1. **Minéralisation :**

Opérer sur une prise d'essai de 1g de substance (selon l'importance de l'azote dans l'échantillon) l'introduire dans un matras de 250ml tout en évitant que les particules n'adhèrent à la paroi, ajouter 2g de catalyseur et 20ml d'acide sulfurique concentré à 95%. Porter le matras sur le support d'attaque de type Buchi et poursuivre le chauffage jusqu'à décoloration du liquide ou l'obtention d'une coloration verte stable limpide pendant environ 2 heures. Laisser refroidir durant 30 min puis ajouter peu à peu ; avec précaution 100ml d'eau distillée en agitant et en refroidissant sous un courant d'eau pour dissoudre complètement les sulfates.

2. **Distillation :**

Transvaser 20ml du contenu dans le matras de l'appareil distillateur de type Buchi, recueillir le distillat dans un bécher contenant 20ml de l'indicateur coloré. Verser lentement dans le matras de l'appareil distillateur, 20ml de lessive de soude ($d=1.33$), mettre l'appareil en position de marche, laisser l'attaque se faire jusqu' à l'obtention d'un volume de distillat de 100ml au moins, titrer en retour par l'acide sulfurique N/20 jusqu'à l'obtention de la couleur initiale de l'indicateur coloré.

➤ Expression des résultats :

La teneur en matière azotée totale exprimée en pourcentage de matière sèche est donnée par la formule suivante :

$$N = (14 \times 0.5 \times V) / 50 \times 100 / (100 - H) \times 5.7$$

Où :

N : l'azote.

50 : la prise de minéralisât.

5.7 : facteur de conversion.

H : teneur en eau, exprimée en % en masse de l'échantillon pour essai.

V : volume en ml, de la solution d'acide, versé dans la burette lors du titrage.

III.6.3. Indice de sédimentation (test de ZELENY) (Norme Algérienne NA 1184.1994)

Il donne une indication globale sur la quantité et la qualité du gluten. Ce test permet de faire une mesure rapide de la qualité car la détermination n'exige pas d'extraction préalable, ni de dosage chimique.

La farine est mise en suspension dans un mélange d'eau d'acide lactique et de bleu de bromophénol. On mesure la hauteur du sédiment par des temps d'agitation et de repos.

On effectue une lecture directe de l'indice de sédimentation variant de 0 à 70 unités :

- 0 à 18 : Insuffisant.
- 18 à 28 : Bonne valeur.
- 28 à 38 : très bonne valeur.
- 38 à 70 : Blé de force.

➤ Réactifs :

- Eau distillée.
- Propanol - 2 à 99 - 100 %.
- Acide lactique, solution concentrée 85 %.
- Acide lactique, solution de normalité comprise entre 2,7 et 2,8 N.

➤ Appareillage :

- Moulin d'essai type Brarbender- Sédimat.
- Tamis de 150 µm d'ouverture de maille.
- Eprouvettes de 100 ml à fond plat avec bouchon.

- Agitateur de cylindre muni d'une muniterie, permettant une fréquence de 40 agitations par minute.
- Pipettes.
- Balance.

➤ **Mode opératoire :**

Effectuer le broyage des grains préalablement nettoyé.

Après tamisage de la mouture, bien homogénéiser la totalité de la farine expérimentale, dont la masse doit être de 10 % au minimum de la masse de l'échantillon prélevée pour mouture.

- **Prise d'essai :** Peser à 0.05 après 3.2 g de produit de mouture.

Introduire la prise d'essai dans une éprouvette graduée. Ensuite ajouter 50 ml de la solution de bleu de bromophénol, boucher l'éprouvette, puis agiter vigoureusement durant 5 secondes.

Placer l'éprouvette dans le cadre de l'agitateur, et déclencher le chronomètre et mettre en marche l'agitateur.

Après 5 minutes, retirer l'éprouvette et ajouter son contenu 25ml de sédimentation.

Replacer l'éprouvette et agiter à nouveau.

Après 5 minutes d'agitation, retirer l'éprouvette et la mettre e position verticale.

Laisser reposer pendant exactement 5 minutes, puis noter le volume de dépôt à 0.5 ml près.

Effectuer au moins deux déterminations de sédimentations sur le même échantillon pour essai.

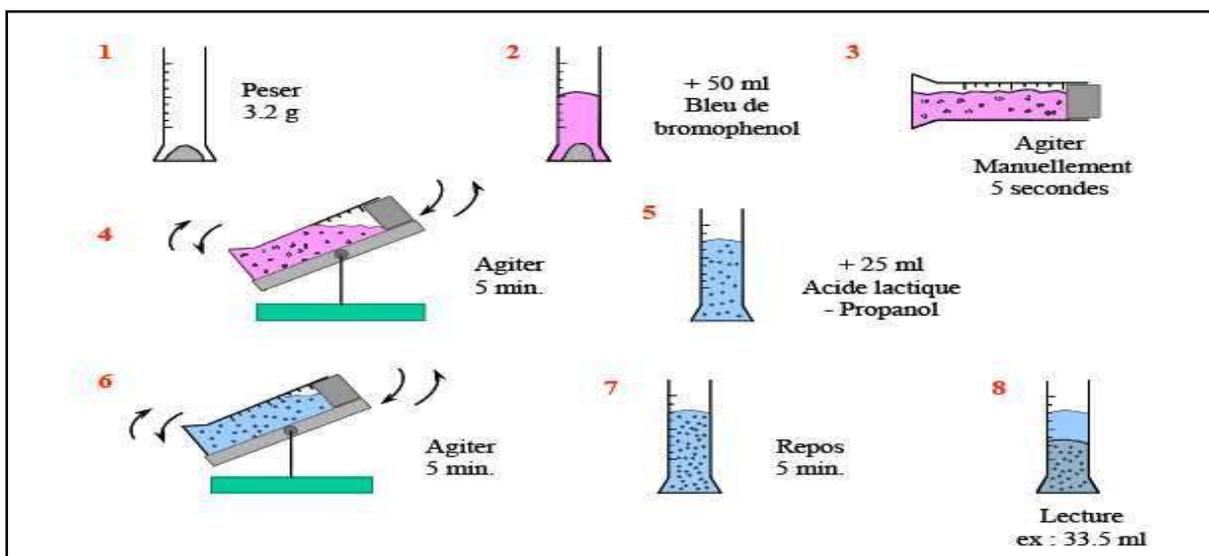


Figure 3 : Indice de sédimentation selon ZELENY et selon REDMAN

➤ Expressions des résultats :

Le volume du dépôt, exprimé en millilitre représente l'indice de sédimentation.

Prendre comme résultats la moyenne arithmétique des résultats obtenus lors de l'essai.

III.6.4. Test de sédimentation dans solution de SDS –acide lactique

➤ Principe :

Le gonflement des protéines dans un milieu SDS (sodium-dodécyl sulfate), nous renseigne sur la qualité des protéines du gluten, il permet d'avoir une idée sur l'élasticité et la ténacité du gluten.

La méthode pratiquée utilise une solution de SDS à 30 %.

➤ Réactifs :

- Sodium-dodécyl sulfate pur.
- Eau distillée.
- Solution diluée d'acide lactique à 88 % (1 partie d'acide lactique + 7 parties d'eau distillée).

➤ Appareillage :

- Moulin.
- Eprovettes graduées à fond plat avec bouchon (diamètre intérieur, 1.60 mm).
- Chronomètre.

➤ Mode opératoire :

- Peser 5 g de la mouture, et l'introduire dans l'éprouvette ajouter 50 ml d'eau distillée, agiter rapidement pendant 15 secondes.
- Agiter à nouveau (mouvement longs) pendant 15 secondes à 2 et 4 minutes.
- Immédiatement après la dernière agitation, ajouter 50 ml de la solution de SDS-acide lactique, agiter longtemps 4 fois pendant 15 secondes, répéter l'opération à 2, 4 et 6 mn.
- Repartir du temps zéro, et laisser reposer 40 minutes.
- Il est préférable de réaliser 4 échantillons en même temps.

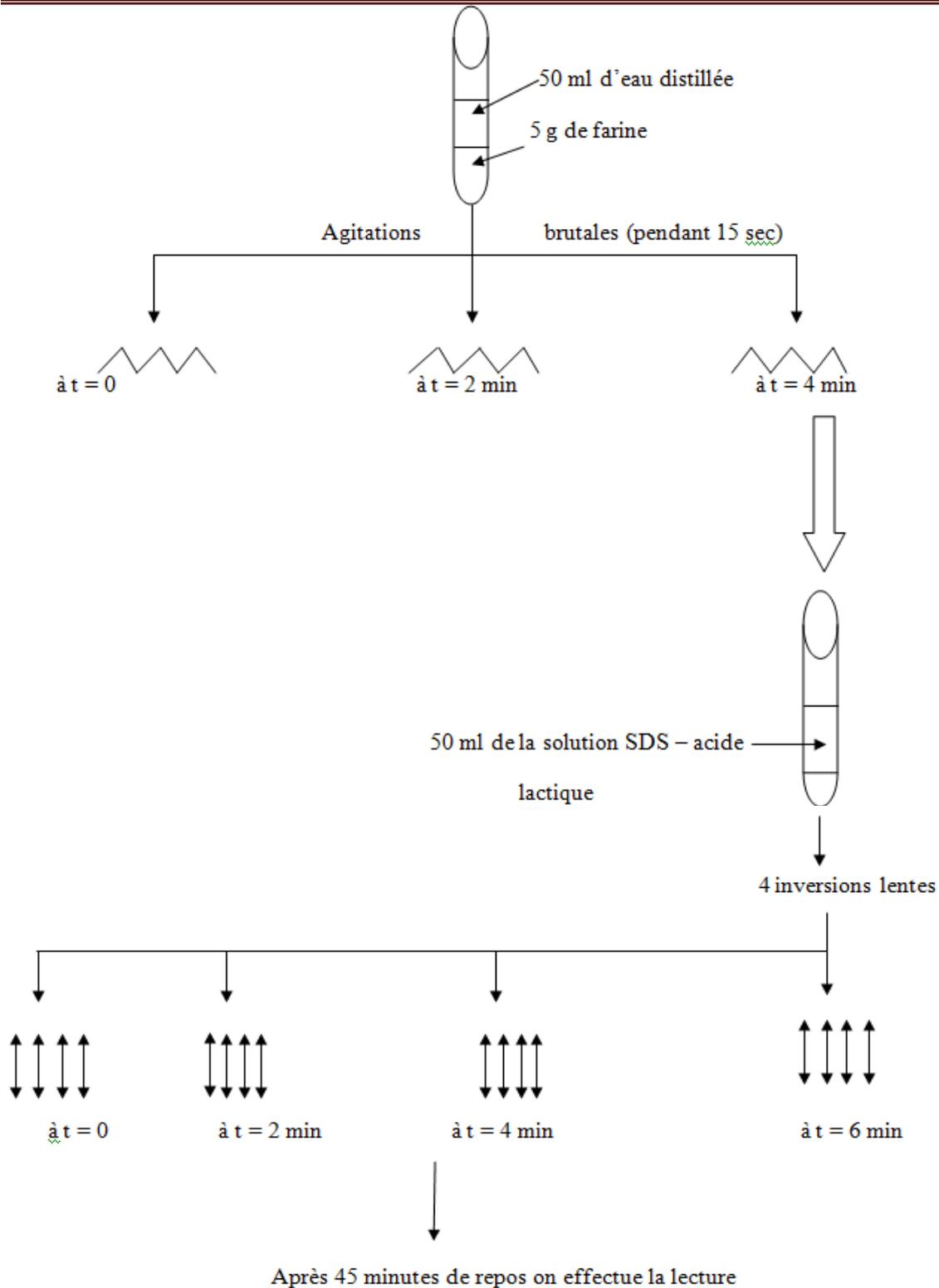


Figure 4 : Teste de sédimentation SDS-acide lactique.

➤ Expression des résultats :

Lire directement sur l'éprouvette graduée, le volume de sédimentation en ml. Faire la moyenne des deux essais.

III.7. Analyses technologiques

III.7.2. Test d'Alvéographe de Chopin (NORME ISO 5530/4)

Ce test permet de déterminer, au moyen d'un Alvéographe, certaines caractéristiques rhéologiques des pâtes obtenues à partir de farine de blé tendre constituant un facteur important de leur valeur d'utilisation (valeur boulangère, biscottière, biscuitière).

blé type boulangerie	W = 130-180	G = 20-23	P/L = 0.45- 0.65
blé améliorant	W = 180-250	P/L = 0.45-0.65	
blé de force	W > 250		
blé impanifiable	W < 130		
blé panifiable courant	W = 130-250	P/L non équilibré	

Où :

Le **W** représente le travail de déformation de la pâte soumise à l'essai ; Il est en relation avec la surface du diagramme et donne une bonne indication de la force boulangère.

Le **G**, ou indice de gonflement, déduit de la longueur **L**, exprime l'extensibilité de la pâte.

Le **P**, ou pressions maximale, rend compte de la ténacité. Il est d'usage de parler du rapport **P/L** pour exprimer l'état d'équilibre entre la ténacité et l'extensibilité.

➤ **Principe :**

Préparation d'une pâte à teneur en eau constante, à partir d'une farine de blé tendre et d'eau salée, dans les conditions de la méthode. Formation des éprouvettes de pâte sous forme de disque ; après un temps de repos déterminé et réglage de l'épaisseur de l'éprouvette, extension bi axial par gonflement sous forme de bulle en fonction du temps.

Appréciation des caractéristiques de la pate d'après la surface et la forme de diagrammes obtenus.

➤ **Réactifs :**

Solution de chlorure de sodium.

Dissoudre 25 g de NaCl pur, dans de l'eau distillée et compléter a un litre.

Huile d'arachide ou huile de vaseline à l'exclusion de toutes autres.

➤ **Appareillage :**

- Alvéographe avec régulateur de température.
- Burette à robinet, capacité 160 ml, graduée directement en pourcentage de la teneur en eau de 11,6 à 17,8% (précision 0,1%).
- Balance permettant de peser à 0,5 g près.
- Chronomètre.
- Planimètre et/ou abac planimétrique.

➤ **Echantillonnage :**

250g de farine pesé à 0.5g près.

➤ **Mode opératoire :**

Déterminer la teneur en eau de la farine selon la méthode décrite dans la norme ISO 712.

Déterminer en fonction de la teneur en eau de la farine la quantité de la solution de chlorure de sodium à utiliser pour préparer la pâte.

a) Pétrissage

Mettre dans le pétrin 250 g de farine. Fixer le couvercle.

Mettre en route le moteur et le chronomètre, verser par le trou du couvercle la quantité déterminé de la solution de chlorure de sodium.

Laisser la pâte se former durant 1mn.

Au bout de cette minute arrêter le moteur, enlever le couvercle. Réincorporé avec une spatule, les particules de farine et de pâte qui adhèrent au couvercle ou dans les angles de manière à respecter l'hydratation du pâté. L'opération dispose d'une minute.

A la fin de la deuxième minute, émettre le moteur en marche. Laissé le pétrissage se poursuivre pendant 6 min.

A la fin de la huitième minute. Arrêter le pétrissage procéder à l'extraction.

b) Préparation des éprouvettes :

- Inverser le sens de rotation du fraiseur. Dégager la fente d'extraction. Eliminer les deux premiers centimètres de pâte.
- Découper rapidement un morceau de pâte et le faire glisser sur la plaque de verre du système de laminage, préalablement huilée.

- Laminer le pâton à l'aide du rouleau d'acier préalablement huilé, que l'on fait glisser sur ses rails douze fois de suite.
- Découper dans le pâton une éprouvette avec emporte-pièce. Placer l'éprouvette sur la plaque de repos destinée à le recevoir, placer immédiatement la plaque dans l'enceinte isotherme (25°C) de l'Alvéographe.
- Répéter quatre fois l'opération pour obtenir au total cinq pâtons.

c) Essai à l'Alvéographe des éprouvettes :

Pendant la période de repos placer un diagramme sur le tambour enregistreur. Remplir la plume d'encre, tracer la ligne du zéro de pression et faire revenir le tambour en position de départ.

La lamelle de pâte aussi obtenu est réduite à 2,5 cm de diamètre entre les platines inférieures et supérieures de l'appareil.

Une ouverture ménagée dans la platine supérieure de l'appareil délimite précisément la surface du pâton qui sera soulevée par tes forces de gonflement.

La pâte sous la force de la pression exercée se gonfle et prend la forme d'une bulle grossie jusqu'à éclatement.

Un manomètre enregistre et donne l'Alvéographe : Variations de pression dans la bulle en fonction du volume d'air insufflé.

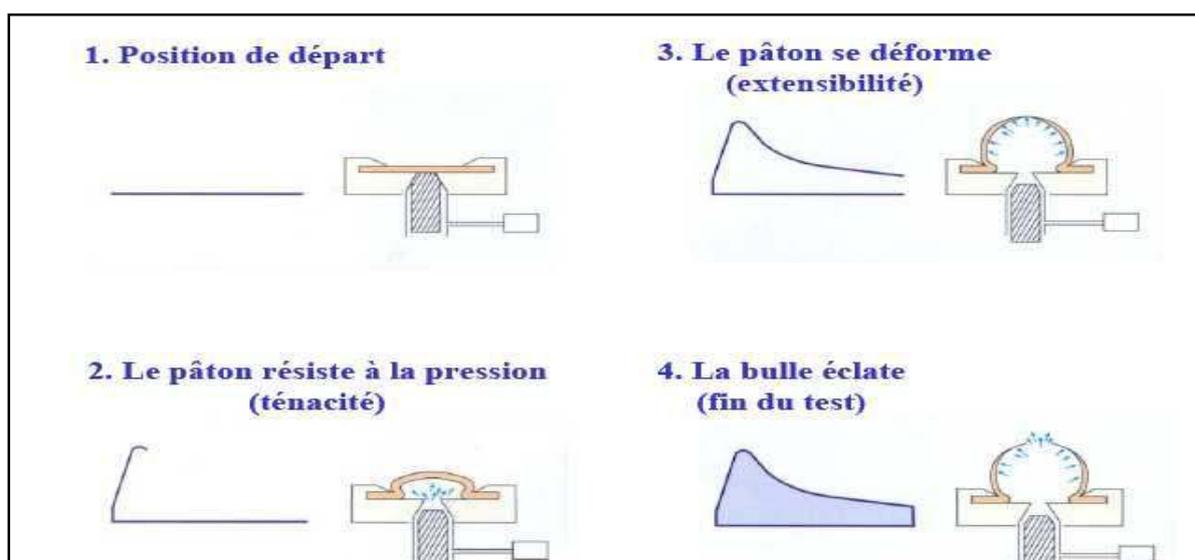


Figure 5 : test d'Alvéographe.

➤ Expression des résultats :

Les résultats sont mesurés ou calculés à partir des cinq courbes obtenues. Toute fois si l'une d'entre elles s'écarte notablement des quatre autres, il n'en sera pas tenu compte dans l'expression des résultats.

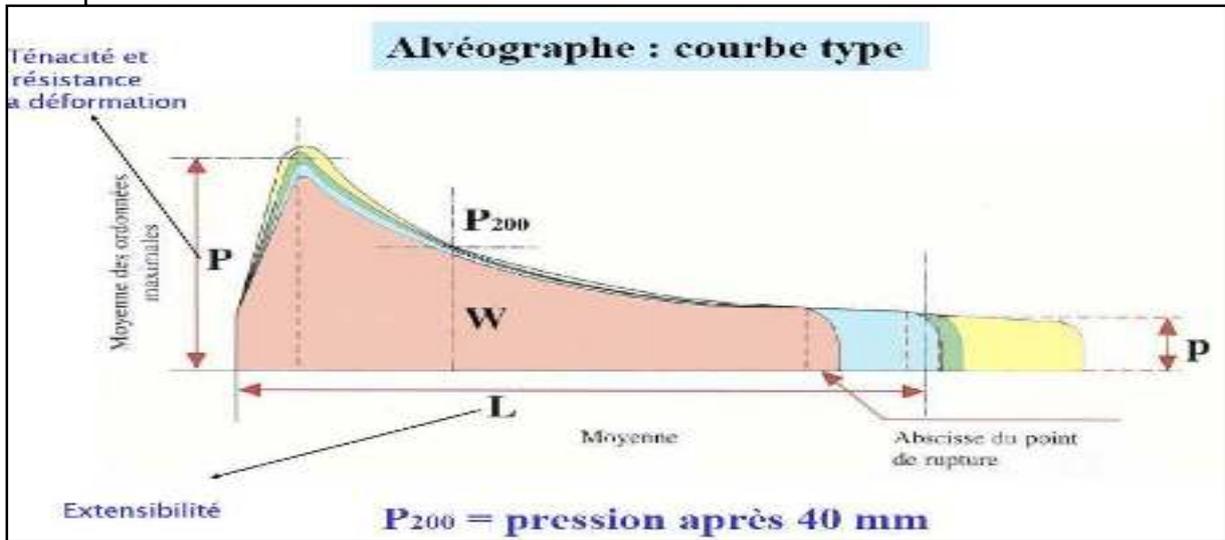


Figure 6 : Courbe type Alvéographe.

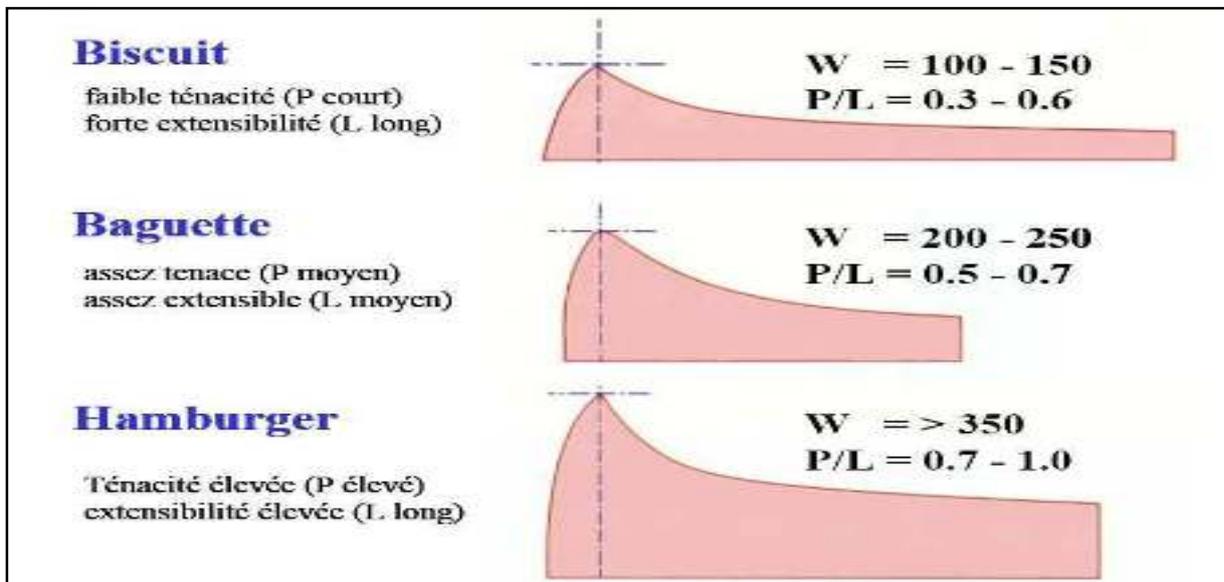


Figure 7 : différents type de courbe d'Alvéographe.

a) Suppression maximale P

La moyenne des ordonnées maximales mesurée en millimètres et multipliée par 1,1 représente la valeur de la suppression maximale P, qui est en relation avec la résistance de la pâte à la déformation.

b) Abscisse moyenne à la rupture L

Elle est mesurée en millimètres sur la ligne de zéro, à partir de l'origine des courbes Jusqu'au point correspondant verticalement à la chute nette de pression due à la rupture de la bulle.

a) Indice de gonflement G

C'est la moyenne des indices de gonflement lus sur l'abaque de gonflement correspondant aux abscisses de rupture.

Cette valeur est la racine carrée du volume d'air, exprimée en millilitres, nécessaires pour développer la bulle jusqu'à rupture.

b) Rapport P/L

Ce rapport est conventionnellement appelé rapport de configuration de la courbe.

c) Travail de déformation « W » :

Un diagramme moyen est établi à partir des moyennes des ordonnées jusqu'à l'abscisse moyenne à la rupture L, la surface « S » du diagramme en centimètres carrés est mesurée moyen de l'abaque planimétrique.

$$W=6.54 \times S$$

Les résultats doivent être considérés comme les résultats d'un test technologique et exprimé de façon suivantes :

P et L à l'unité près (sans fraction décimale de millimètres).

G à 0,5 unité près (par exemple : 23 - 23,5 - 24...).

W à 5 unités près pour les farines de W inférieur à 200.

W à 10 unités près pour les farines de W supérieur à 200.

III.8. Traitement statistique des données

Les résultats de l'expérimentation ont été analysés à l'aide d'un logiciel : le STATITCA. Le test global qui nous a permis la comparaison des moyennes des différents traitements est l'analyse de la variance.

La démarche de l'interprétation consiste à examiner l'effet interaction entre les deux facteurs étudiés. S'il est significatif, on ne peut juger globalement l'effet des deux facteurs puisqu'ils ne sont pas indépendants. On considère alors, séparément les effets simples. Dans le cas où l'interaction n'est pas significative, on admet qu'elle n'existe pas et on étudie séparément chaque facteur comme lors d'un essai simple, en recherchant les différences significatives.

Le seuil de signification retenu est de 5%. Si la probabilité est supérieure ou égale à ce seuil, l'effet est non significatif. Par contre, si la probabilité calculée est inférieure à ce seuil, on admet l'existence d'un effet global significatif et pour une probabilité inférieure à 1%, on admet qu'il y a un effet est très hautement significatif.

Résultats et discussions

IV. Humidité des grains

L'humidité des grains est un paramètre essentiel dans la détermination du volume d'eau à ajouter aux grains durant le conditionnement pour atteindre une humidité de 16.5% et par conséquent elle permet une meilleure séparation de l'albumen amyloacé des parties périphériques (ANONYME, 1979).

La teneur en eau modifie de façon sensible le comportement du blé lors de la mouture (WILLM, 1972).

Les teneurs en eau des génotypes étudiées varient entre 11.86% (V11) et 13.11% (V1) pour la station de Guelma et entre 12.33% (V15) et 13.23% (V8) pour la station d'Oued smar, les résultats sont représentés dans le tableau n°7 et la figure n°8.

Les résultats obtenus sont conforme a la norme algérienne décrite dans le journal officiel Algérien n°2 du 8 janvier 1992 NA 1132, 1992 IDT ISO 712, qui exige une humidité de grain de blé tendre pour une farine panifiable inférieur ou égale à 15.5%.

Cette différence peut être due aux lieux de culture, condition de récolte et de stockage et du climat, ainsi qu'à des différences variétales.

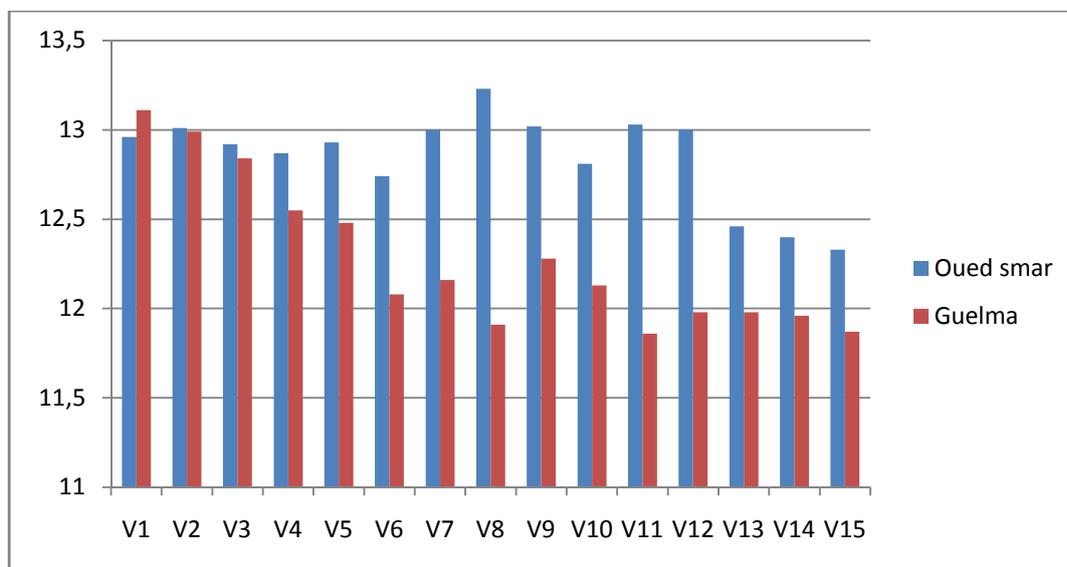


Figure n°8 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur l'humidité des grains.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau n° 7 : Le taux d'humidité des grains des variétés étudiés.

Station	Oued smar	Guelma
Variétés	Humidité (%)	Humidité (%)
V1	12,96	13,11
V2	13,01	12,99
V3	12,92	12,84
V4	12,87	12,55
V5	12,93	12,48
V6	12,74	12,08
V7	13,00	12,16
V8	13,23	11,91
V9	13,02	12,28
V10	12,81	12,13
V11	13,03	11,86
V12	13,00	11,98
V13	12,46	11,98
V14	12,40	11,96
V15	12,33	11,87

V. Analyses physiques

V.1. Poids de mille grains (PMG)

C'est un critère d'un grand intérêt dans les expérimentations agronomique. Il permet de caractériser une variété, de mettre en évidence les anomalies comme l'échaudage, d'étudier l'influence des traitements en végétation ou des conditions climatiques, qui tous modifient la masse de 1000 grains (*GODON et LOISEL, 1984*).

Les valeurs d (PMG) obtenus sont comprises entre 30,66g (V7) et 47,02g (V1) pour la station de Guelma et entre 29.61g (V11) et 45.51g (V4) pour la station d'Oued smar, les résultats sont exprimés dans le tableau n°8/2 et la figure n°9.

Tableau n°8/1 : Classement des génotypes selon leur PMG.

Station	petits grains (25-35g)	grain moyens (36-45g)	grain gros (46-55g)
Guelma		V1, V2 V3, V4, V5, V6 V13, V14, V15	
Oued smar	V7, V8, V10, V11, V13, V14	V2, V3, V4 V5, V6, V7, V12, V15	V1

L'analyse statistique de la variance du poids de mille grains indique que l'interaction génotype x environnement est très hautement significative (prob = 0.000), ce qui prouve l'influence des deux facteurs à la fois : génotype et environnement en interaction sur ce caractère.

Ces différences de fluctuations pourraient provenir d'une part, du caractère variétal du poids de mille grains (PMG) et d'autre part, des conditions environnementales dans lesquelles ont évolué les génotypes étudiés. En effet, le PMG est sous l'effet des composantes suivantes : matière sèche, matière fraîche, eau et matières protéiques qui diminuent sous l'effet de l'élévation de la température (*ROUSSET, 1986*).

En outre, ce caractère (PMG) est peu maîtrisable car fortement lié aux effets de l'environnement au moment de la formation et du remplissage des grains. Un manque d'eau après floraison, combiné aux fortes températures, entraîne une diminution du PMG par altération de la vitesse et/ ou de la durée de remplissage, provoquant ainsi l'échaudage des grains (*TRIBOI, 1990*).

(*SIMMONS et CROOKSTON, 1979*); (*TRIBOI, 1990*) ont démontré que la vitesse de remplissage du grain est positivement corrélée au poids du grain, alors que la durée de remplissage ne présente qu'une corrélation très lâche.

Ces résultats rejoignent ceux de (*WHAN et al. 1996*), qui ont indiqué que la faible contribution de la durée de remplissage dans la détermination du poids du grain serait plus due à l'influence de l'environnement qu'à celle du génotype.

Les travaux menés par (*SOFIELD et al, 1977*), ont confirmé la dépendance du PMG aux variations de températures qui conditionnent en grande partie la vitesse et la durée de remplissage des grains. Ces derniers, mentionnent que la durée de remplissage est plus longue sous température modérée et que la vitesse est plus élevée sous haute température. Ainsi, une longue durée de remplissage est souvent indicatrice d'une activité photosynthétique optimale, par contre une vitesse de remplissage élevée est indicatrice des effets de stress hydriques.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau n°8/2 : Le poids de milles grains des variétés étudiés (PMG).

Station Variétés	Oued smar		Guelma	
	Moyenne (g)	Ecartype	Moyenne (g)	Ecartype
V1	52,58	0,668	47,02	0,437
V2	45,04	0,583	41,62	0,432
V3	39,23	0,164	41,35	0,588
V4	45,51	0,277	41,75	0,253
V5	40,23	0,376	40,51	0,922
V6	36,65	0,595	39,06	0,510
V7	35,27	0,516	30,66	1,032
V8	34,97	0,101	33,32	0,358
V9	36,06	2,020	34,33	0,278
V10	30,50	0,565	36,90	0,381
V11	29,61	0,176	32,26	0,100
V12	38,31	0,280	32,85	0,346
V13	31,93	0,576	39,06	0,240
V14	34,64	0,370	37,71	0,482
V15	40,00	0,338	38,48	0,268

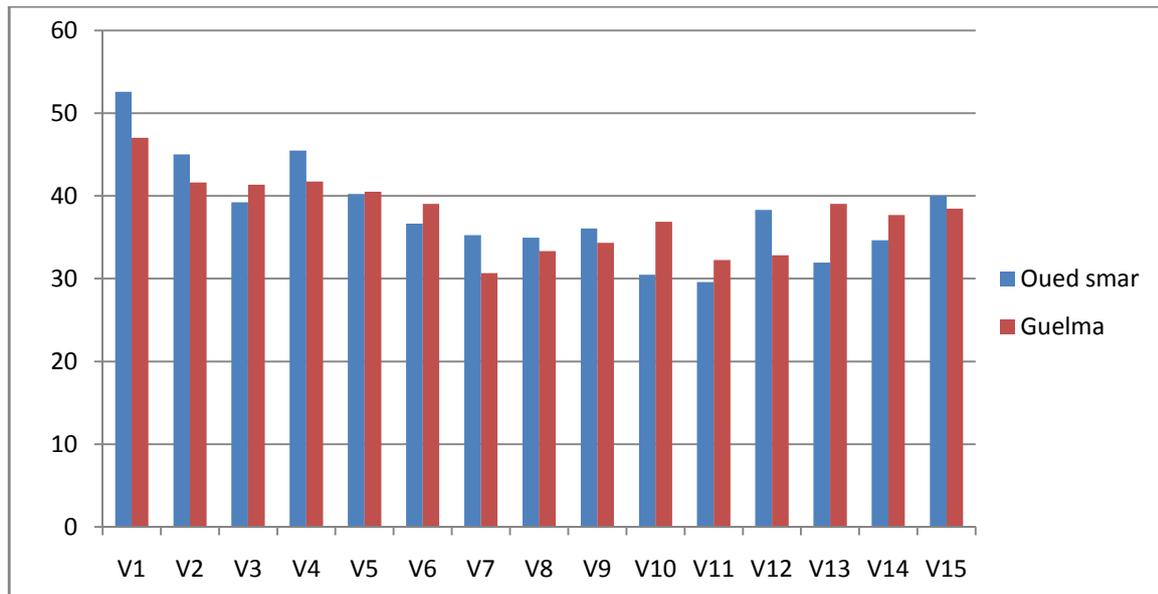


Figure n°9 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur le PMG.

V.2. Poids hectolitre (PHL)

Le poids à l'hectolitre (PHL) se définit comme le poids de grains remplissant un volume donné, résultant de la densité du grain et de l'efficacité de conditionnement (*GHADREI et AL, 1971*).

Le PHL est utilisé depuis des décennies comme critère de qualité et reste employé dans nombre de pays pour déterminer le prix. Cependant, les études sur le PHL sont controversées et l'utilité de ce caractère est de plus en plus mise en cause (*ROBERTS, 1910; SHUEY, 1960*).

Les valeurs du poids hectolitre obtenus sont comprises entre 67,21 kg/hl (*V11*) et 78,13kg/hl (*V9*) pour la station de Guelma et entre 66kg/hl (*V11*) et 82,91kg/hl (*V9*) pour la station d'Oued smar, les résultats sont exprimés dans le tableau n°9 et la figure n°10.

L'analyse statistique de la variance du poids hectolitre indique que l'interaction génotype x environnement est très hautement significative (prob = 0.000), ce qui prouve l'influence des deux facteurs à la fois : génotype et environnement en interaction sur ce caractère.

Le PHL est influencé par plusieurs facteurs environnementaux, comme des températures durablement élevées pendant la phase de remplissage du grain, des précipitations avant la récolte et une pression de maladies élevée.

Des facteurs génétiques font également varier le PHL, par le biais de la forme géométrique et de la relation longueur- largeur du grain (*ROBETS, 1910; SHUEY, 1960*). En plus, des grains à forte teneur en amidon sont plus légers que les grains vitreux (*SCHNYDER, 1904; SHOLLENBERGER et COLEMAN, 1926*).

MANGELS et SANDERSON (1925) ont trouvé, après l'analyse de centaines d'échantillons de blé présentant des PHL de 50 à 82 kg/hl (moyenne 74 kg/hl), une corrélation élevée entre ce critère et le rendement en farine. Ils en ont conclu que le classement des lots par le PHL était justifié.

SHUEY(1960) a décrit la relation entre rendement en farine et PHL du blé comme un «index approximatif et le plus souvent peu fiable». L'auteur a observé que le PHL des lots de blé peut varier de 11,6 kg/hl, pour le même rendement en farine. Plusieurs cultivars

Chapitre IV : Résultats et discussions

caractérisés par des PHL faibles se comportent de manière satisfaisante lors de la mouture (*BARMORE et BEQUETTE, 1963; MURPHY, 1967*).

Une relation entre le PHL et le poids de mille grains n'a pas été mise en évidence (*HOOK, 1984; SCHULER et al. 1995*).

Un autre paramètre important, étudié en relation avec le PHL, est le contenu en protéines. *SCHULER et al. (1994, 1995)* ont observé une corrélation positive dans le blé pour ce caractère.

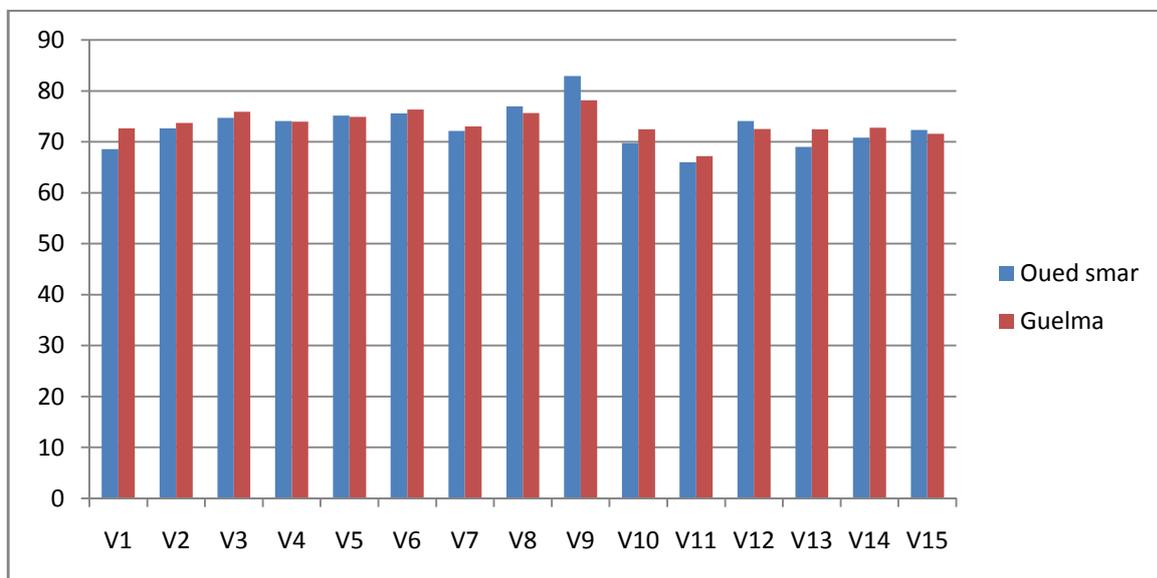


Figure n°10 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur PHL.

Tableau n°9 : Le poids hectolitre des variétés étudiées (PHL).

Station	Oued smar		Guelma		
	Variétés	Moyenne (kg/hl)	Ecartype	Moyenne (kg/hl)	Ecartype
V1		68,55	0,936	72,66	4,229
V2		72,66	0,144	73,71	0,843
V3		74,70	0,687	75,90	0,450
V4		74,10	0,450	73,93	0,332
V5		75,15	0,687	74,91	0,579
V6		75,60	1,039	76,33	0,604
V7		72,15	1,446	73,03	2,371
V8		76,95	0,259	75,66	1,376
V9		82,91	6,445	78,13	1,932
V10		69,75	1,446	72,43	2,852
V11		66,00	0,000	67,21	1,077
V12		74,10	0,450	72,53	1,020
V13		69,00	0,259	72,43	2,852
V14		70,80	2,126	72,75	3,150
V15		72,30	2,250	71,55	1,299

V.3. Taux d'extraction

On entend par taux d'extraction d'un blé donné, le pourcentage de farine obtenu suite à une mouture, d'une quantité de ce blé débarrassé de ses impuretés et après conditionnement, la farine provient essentiellement de l'albumen du grain et représente à peu près 70% du poids du grain. C'est pourquoi on parle d'un taux d'extraction industriel normalisé aux environs de 70% (CALVEL, 1980).

Les essais technologiques (panification et biscuiterie) exigent que le taux d'extraction soit proche du rendement de 75 à 80% que l'on observe dans les moulins industriels. Les appareils de laboratoire étant plus simples que ceux de l'industrie, ils ont un rendement toujours plus faible (GODON, 1975).

Toutefois BOURDET (1976) préconise pour la réalisation de tests tels que l'alvéographe chopin, Zeleny... un taux d'extraction normalisé à 60-65%.

Les résultats obtenus des variétés étudiées varient entre 59.10% (V7) et 70.00% (V3) pour la station de Guelma et entre 51.30% (V7) et 68.90% (V10) pour la station d'Oued smar, les résultats sont représentés dans le tableau n°10 et la figure n°11.

L'analyse de la variance de l'interaction génotype x environnement révèle n'est pas significative pour l'extraction des farines.

OLIVIERA J.A., (2000) a rapporté que le poids spécifique a corrélé avec le taux d'extraction dont il est une importante caractéristique de la mouture. D'autre part, *WILLIAMS P.*, (1998) a signalé que le blé idéal peut produire un taux d'extraction intrinsèque supérieur de la farine de faibles cendres et une couleur éclatante.

Les résultats de *ALTAF A et al.*, (1969) démontrent que les grains de petite taille ont un taux d'extraction faible bien que des farines de bonne qualité ont été obtenues par la mouture de grains semblables. Cependant, *HOSHINO T. et al.* (1994) ont retrouvé que ce taux a été amélioré avec l'accroissement du volume des grains.

Selon les travaux du *VARGA B. et al.* (2003) et *CAMPBELL K.G. et al.* (1999) le taux d'extraction de la farine dépend aussi de la variété.

SCHULER S.F. et al. (1995) aussi ont démontré une corrélation positive avec la largeur du grain, mais une corrélation négative avec sa longueur.

Toutefois selon *CEGLINSKA A.*, (2003) les populations de l'épeautre ont un rendement de farine supérieur à celui des variétés du blé commercialisées, et des ségrégations transgressives ont été constatées dans les deux sens lors du croisement entre soft et hard blé (*CAMPBELL K.G.C. et al.* 1999).

Chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau n°10 : Le taux d'extraction de la farine des variétés étudiés.

Station Variétés	Oued smar		Guelma	
	Son (g)	Taux d'extraction (%)	Son (g)	Taux d'extraction (%)
V1	252	59,90	211	67,70
V2	257	62,80	228	68,00
V3	243	61,00	226	70,00
V4	215	53,20	203	68,20
V5	234	60,60	197	67,07
V6	214	62,10	204	66,30
V7	242	51,30	214	59,10
V8	200	65,40	204	63,73
V9	229	62,00	233	64,32
V10	198	68,90	213	68,95
V11	261	63,60	303	59,40
V12	233	62,00	230	64,90
V13	252	59,87	205	65,80
V14	247	63,80	213	66,30
V15	262	52,80	233	59,31

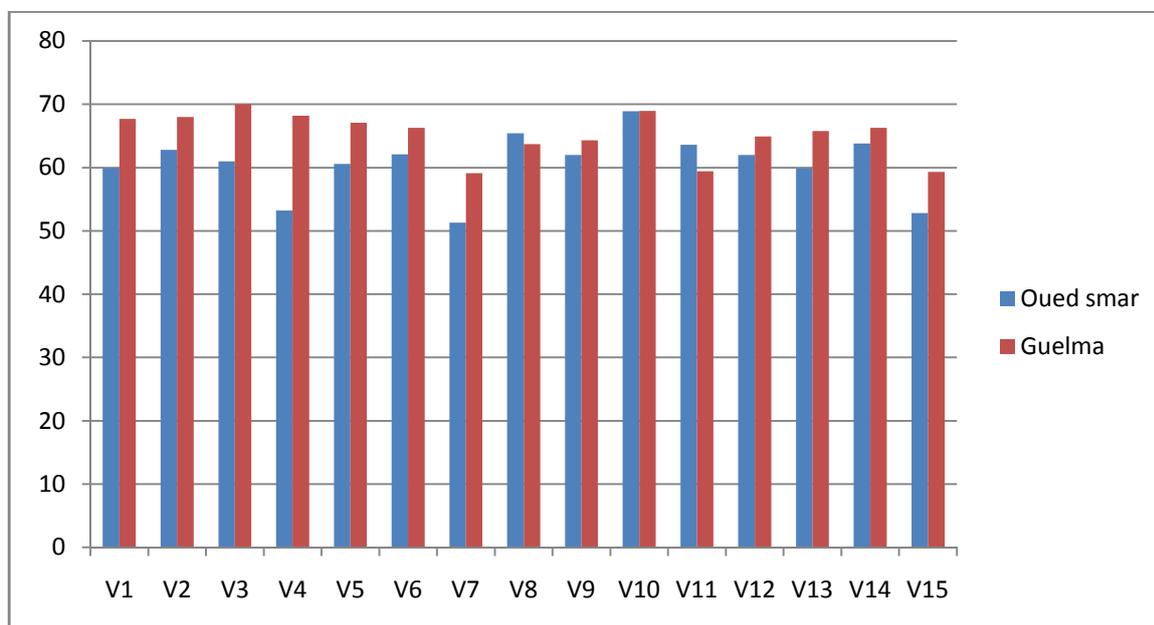


Figure n°11 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur le taux d'extraction de farine.

VI. Analyses Chimiques et biochimiques

VI.1. Taux de cendres des farines

La pureté des farines est appréciée indirectement par le taux de cendres (détermination par la norme « NA.733.1991.E, ISO 2171 » et exprimé en pourcentage de la matière sèche)

Le taux de cendres des farines dépend non seulement de leur taux d'extraction, mais également de la minéralisation (présence de matière minérale dans nos blés) des grains mis en mouture (*GODON et WILLM, 1991*).

Les résultats obtenus des variétés étudiées varient entre 0.32% (V4) et 0.79% (V7) pour la station de Guelma et entre 0.49 % (V8) et 0.75% (V15) pour la station d'Oued smar, les résultats sont représentés dans le tableau n°11/2 et la figure n°12.

Tableau n°11/1 : Classement des farines en fonction du taux de cendres d'après *GODON et WILLM, (1991)*:

Station	Farine type 45 (<0.50%)	Farine type 55 (0.50 à 0.60%)	Farine type 65 (0.62 à 0.75%)	Farine type 80 (0.75 à 0.90%)
Guelma	V2, V3, V4, V13	V1, V6, V10, V11, V12, V15	V8, V9, V14	V5, V7
Oued smar	V8, V13	V3, V9, V10	V1, V2, V4, V5, V6, V7, V12, V14	V15

L'analyse de la variance de l'interaction génotype x environnement révèle une différence très hautement significative (prob = 0.0000) pour l'extraction des farines. Ce qui prouve l'influence des deux facteurs à la fois : génotype et environnement en interaction sur ce caractère.

On remarque que le taux de cendres des grains est toujours supérieur à celui des farines. Les écarts observés entre les teneurs en cendres des grains et des farines, peuvent être induits par des différences de répartition des matières minérales à l'intérieur du grain.

Les études menées par (*ABECASSIS et FEILLET., 1985*), montrent bien que l'influence de la teneur en matières minérales des grains sur le taux de cendres des produits de mouture est particulièrement moins importante dans le cas du blé tendre.

Chapitre IV : Résultats et discussions

En effet, l'albumen du blé tendre contient environ 25% de la totalité des matières minérales du grain (celui du blé dur en contient 50%).

Le taux de cendres des farines dépend donc, non seulement de leur pureté, définie comme étant le taux de contamination des produits venant de l'amande du blé par des produits venant des enveloppes et de la couche à aleurone (GODON et LOIZEL., 1997), mais également de la minéralisation des blés mis en œuvre.

Selon GODON (1978), la teneur en cendres des grains et des farines ainsi que la répartition des minéraux dans le grain lui-même, peuvent être influencés à la fois par de nombreux facteurs (génétiques, climatiques, pédologiques, et traitements technologiques).

En effet, la cendre affecte la couleur et la qualité de la farine (REGNIER S. et al. 2004). L'effet de l'environnement sur le taux de la cendre dans la farine a été illustré par plusieurs auteurs. En effet, PETERSON C.J et al., (1986) ont trouvé que la plus grande variation en teneur en cendre est due à l'environnement et à ses composantes.

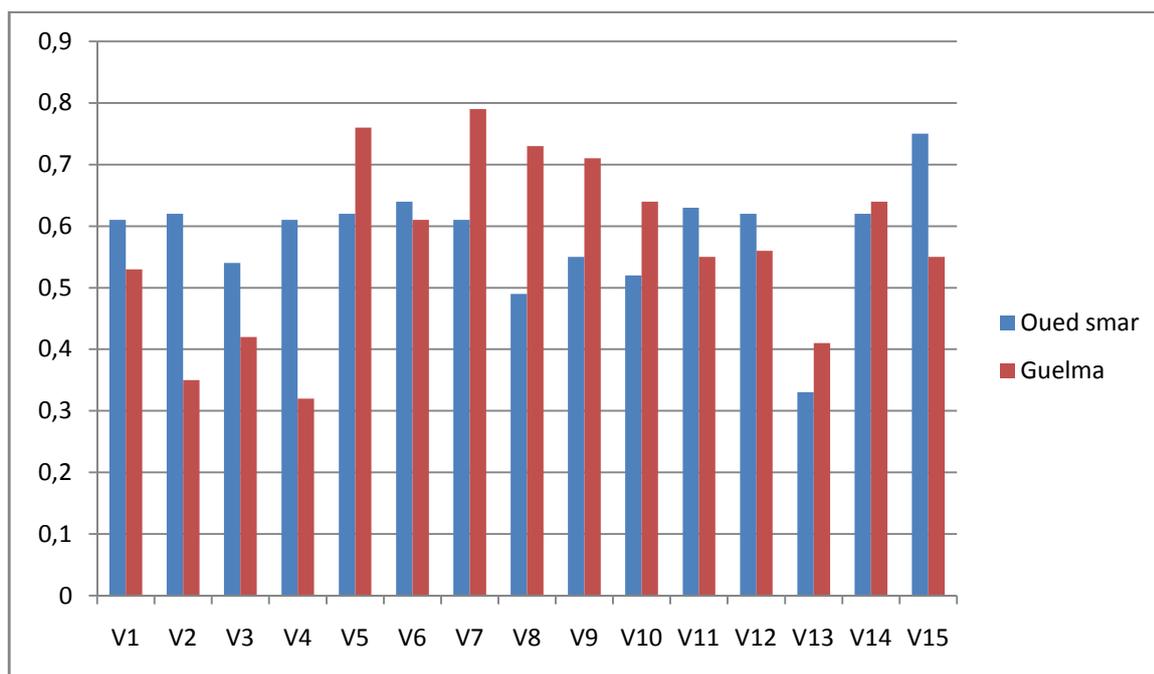


Figure n°12 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur la teneur en cendre de la farine.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau n°11/2 : La teneur en cendre de la farine des variétés étudiées.

Station	Oued smar		Guelma	
	Variétés	Moyenne (%)	Ecartype	Moyenne (%)
V1	0,61	0,001	0,53	0,008
V2	0,62	0,001	0,35	0,008
V3	0,54	0,001	0,42	0,011
V4	0,61	0,001	0,32	0,011
V5	0,62	0,000	0,76	0,020
V6	0,64	0,001	0,61	0,011
V7	0,61	0,000	0,79	0,005
V8	0,49	0,001	0,73	0,014
V9	0,55	0,000	0,71	0,013
V10	0,52	0,000	0,64	0,120
V11	0,63	0,001	0,55	0,005
V12	0,62	0,001	0,56	0,008
V13	0,33	0,001	0,41	0,012
V14	0,62	0,0005	0,64	0,012
V15	0,75	0,001	0,55	0,015

VI .2. Dosage de la teneur en protéines totales

Les teneurs en protéines rapportées a la MS des variétés et lignées étudiées sont représenté dans le tableau n°12/2et la figure n°13.

Ces teneurs varient entre 10.47% (V14) et 13.80 % (V10) pour la station de Guelma et entre 9.56% (V12) et 14.01% (V10) pour la station d'Oued smar, et se situent dans les intervalles signalés par SHEWRY et al (1997) ; ZHU et KHAN (2001) qui comprend des valeurs comprises entre 8 et 16%.

Tableau n°12/1 : classement des blés selon (WILLIAMS et al, 1988).

Station	faible teneur en protéines à 11,5)	teneur moyen en protéines (11,6 à 13,5)	teneur élevé en protéines (13,6 à 15,5)
Guelma	V1, V2, V3, V4, V5, V6, V11, V12, V13, V14, V15	V7, V8, V9	V10
Oued smar	V1, V2, V4, V5, V6, V7, V11, V12, V14, V15		

La teneur en protéines, d'un génotype donné varie d'une année à une autre car elle est influencée par les conditions de culture, des procédés culturels ainsi que la fertilisation azotée. La détermination de cette teneur présente un double intérêt (*ANONYME, 1979*):

- Intérêt nutritionnel : en effet la valeur alimentaire est déterminée essentiellement par la composition en acides aminés des protéines du grain, surtout par la teneur en lysine et par la teneur en acides aminés indispensables (AAI).
- Intérêt technologique : la teneur en protéines est importante en panification. Le volume du pain et l'hydratation de la farine dépendent de la qualité des protéines.

D'après *ROUSSET (1981)* pour qu'un blé soit de force, il doit être obligatoirement riche en protéines ; mais un blé riche en protéines n'est pas obligatoirement de force. Ce même auteur a montré que la qualité n'est pas linéairement liée à la teneur en protéines, car au-delà d'un optimum la qualité se détériore.

L'analyse de la variance de l'interaction génotype x environnement révèle une différence très hautement significative (prob = 0.0000) pour le taux des protéines des farines. Ce qui prouve l'influence des deux facteurs à la fois : génotype et environnement en interaction sur ce caractère.

La quantité des protéines est sous l'influence des facteurs du milieu, alors que leur qualité est purement génétique (*HRUSKOVA M., 2003*). A cet effet, cette dépendance en protéines de divers paramètres de la qualité de la composition de la farine peut être utilisée comme guide lors de l'usage des caractères dans des programmes de croisement du blé (*CUNIBERTI M.B. et al., 2003*). D'après *SIMIC G. et al., (2006)* les facteurs de l'environnement ont fortement influencé la teneur du grain en protéines.

GOODING A. et al., (1986) ont retrouvé que la fertilisation azotée a positivement corrélation à la fois avec le taux des protéines, l'indice de chute, les propriétés liées au farinographe et autres qualités de panification; conséquences directes d'une meilleure absorption de l'eau, résultant, un pain de gros volume (*FEIZIPOUR A.R. et al., 2006*).

D'autre part, *ANDA L. et al., (2004)* ont confirmé une large influence des génotypes sur la variabilité, quoique l'effet de l'environnement soit fortement significatif.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Il est à signaler que la teneur en protéines des populations des épeautres est significativement élevée, elle est de l'ordre de 13 - 17 %, comparée aux cultivars commerciaux (*OLIVEIRA J.A., 2000*), particulièrement dans des conditions de faible fertilisation azotée (*RUEGGER A. et al., 1993*).

L'augmentation de la teneur du grain en protéines est généralement associée à un fort accroissement du taux des protéines de réserve (*POMERNAZ Y., 1971*) notamment les gliadines (*CUNIBERTI M.B., 2003; C EGLINSKA A., 2003*), suivi de protéines polymériques avec un taux important en albumen globuline (*CUNIBERTI M.B., 2003*). La composition des gliadines de l'épeautre est différente de celle du blé cultivé (*C EGLINSKA A., 2003*).

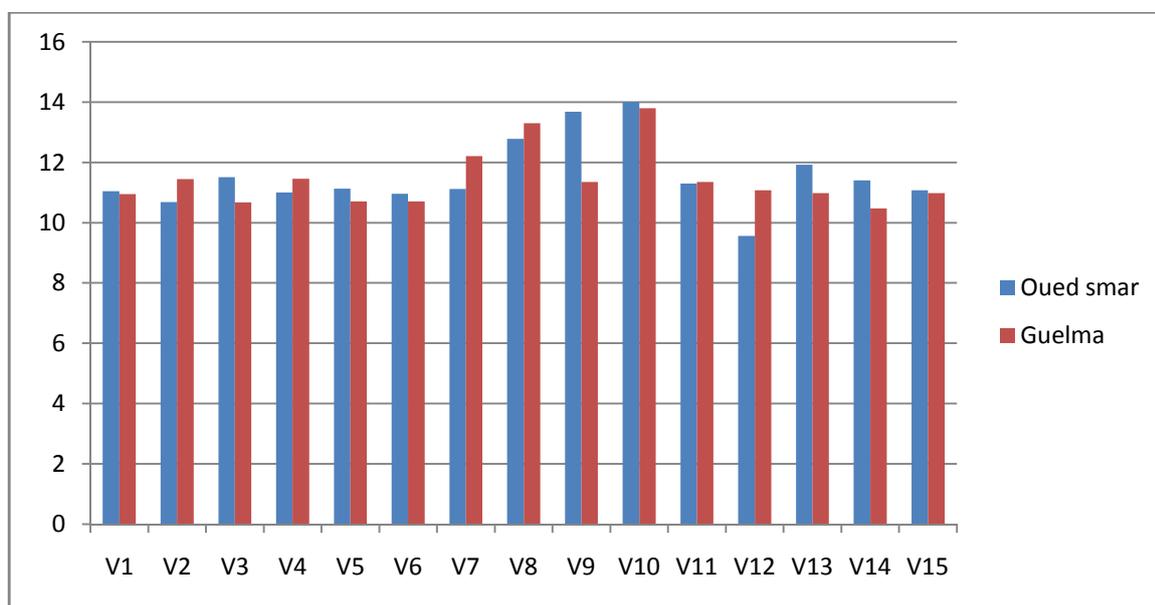


Figure n°13 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur la teneur en protéines.

Tableau n°12/2 : La teneur en protéine de la farine des variétés étudiées.

Station	Oued smar		Guelma	
Variétés	Moyenne (%)	Ecartype	Moyenne (%)	Ecartype
V1	11,04	0,010	10,95	0,05
V2	10,68	0,000	11,45	0,09
V3	11,51	0,010	10,67	0,045
V4	11,00	0,000	11,46	0,045
V5	11,13	0,010	10,71	0,095
V6	10,96	0,577	10,71	0,140
V7	11,12	0,010	12,21	0,090
V8	12,78	0,000	13,30	2,1756E-15
V9	13,68	0,010	11,35	1,161
V10	14,01	0,010	13,80	2,1756E-15
V11	11,30	2,1756E-15	11,35	0,100
V12	09,56	0,155	11,08	0,020
V13	11,92	0,010	10,98	0,020
V14	11,40	0,010	10,47	0,050
V15	11,08	0,010	10,98	0,020

VI .3. Test de sédimentation ZELENY

L'indice de sédimentation de ZELENY donne un aperçu ou indice sur la qualité des protéines de la farine. Ce test est basé sur les propriétés de gonflement des protéines en milieu acide. Plus les protéines sont de bonne qualité, plus elles absorbent de l'eau, plus le volume de sédimentation est élevé (*SINNAEVE, 2007*).

Nous observons que les valeurs de nos blés sont comprises entre *25.00ml (V7)* et *41.33 ml (V8)* pour la station de Guelma et entre *24.66ml (V14)* et *58.33ml (V2)* et le tableau n°13/2 et la figure n°14 montrent les résultats.

Tableau n°13/1 : classement des blés d'après (*NA.1184.1994 E, ISO 5529*).

Station	bonne force boulangère (18-28ml)	très bonne force boulangère (28-38ml)	Blé de force (>38ml)
Guelma	V3, V6, V7	V1, V4, V5, V9, V10, V12, V13, V14, V15	V2, V8, V10
Oued smar	V14	V1, V3, V6, V7, V11, V12, V13, V15	V2, V4, V5, V8, V9, V10

L'analyse de la variance de l'interaction génotype x environnement révèle une différence très hautement significative (prob = 0.0000) pour le teste de sédimentation Zeleny des farines. Ce qui prouve l'influence des deux facteurs à la fois : génotype et environnement en interaction sur ce caractère.

KRUGER J.E. et al. (1995) et *HRUSKOVA M. et al., (2003)* ont rapporté que la teneur en protéines des farines influe sur la valeur du test de Zeleny.

Davantage, *HRUSKOVA M. et al. (2003)* ont trouvé une meilleure corrélation, de l'ordre de $r=0.8407$, entre les valeurs de Zeleny et la teneur en protéines de la farine. *CEGLINSKA A., (2003)* a rapporté que les valeurs hautement élevées de Zeleny ont été atteintes à partir des farines contenant des taux forts en gluten.

HRUSKOVA M. et al. (2003), un gluten de meilleure qualité avec une corrélation satisfaisante, permet de concrétiser ainsi une meilleure qualité boulangère, prouvée par un volume assez élevé du pain.

D'après *WILLIAMS P., (1998)*, cet indice se base sur la capacité de gonflement des molécules de protéines du gluten en présence de l'acide lactique. D'autre part, les valeurs élevées de ce test sont en forte corrélation avec la vigueur du gluten et la production du pain de qualité, comme il a été signalé par *ZELNY L., (1947)*.

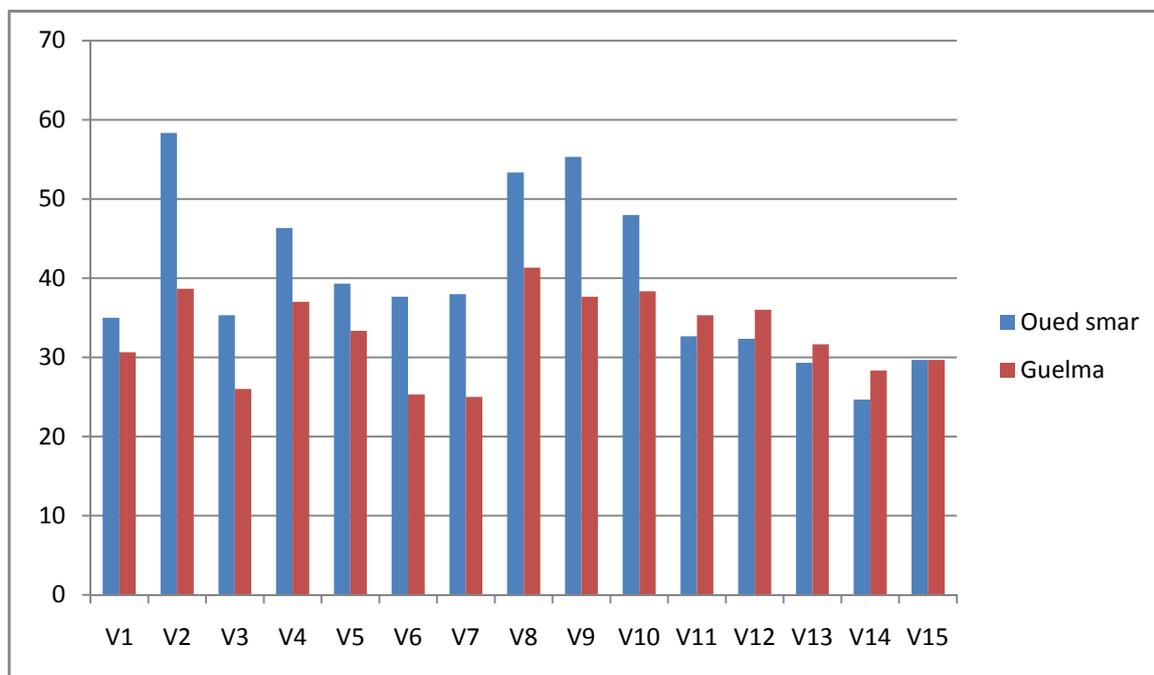


Figure n°14 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur le ZELNY.

Tableau n°13/2 : Résultats du test de sédimentation ZELENY des la variété étudiée.

Station	Oued smar		Guelma		
	Variétés	Moyenne (ml)	Ecartype	Moyenne (ml)	Ecartype
V1		35,00	0,000	30,66	1,154
V2		58,33	0,577	38,66	2,081
V3		35,33	0,577	26,00	2,645
V4		46,33	2,309	37,00	1,000
V5		39,33	0,577	33,33	2,516
V6		37,66	0,577	25,33	0,577
V7		38,00	0,000	25,00	1,000
V8		53,33	1,154	41,33	0,577
V9		55,33	0,577	37,66	0,577
V10		48,00	0,000	38,33	0,577
V11		32,66	0,577	35,33	0,577
V12		32,33	0,577	36,00	0,000
V13		29,33	0,577	31,66	0,577
V14		24,66	0,577	28,33	0,577
V15		29,66	0,577	29,66	0,577

VI .4. Test de sédimentation dans une solution SDS-acide lactique

Le test de sédimentation nous renseigne sur la qualité des protéines du gluten, il permet d'avoir une idée sur l'élasticité et la ténacité du gluten.

Les volumes de sédimentation obtenus pour nos blés sont compris entre 53.00ml (V14) et 75.66ml (V8) pour la station de Guelma et entre 42.66ml (V6) et 84.66ml (V9) pour la station d'Oued smar, et sont regroupés dans le tableau n°14/2 et la figure n°15.

Tableau n°14/1 : Classement des blés selon leur force boulangère (WILLIAMS et al, 1988).

Station	très forte force boulangère (70-79ml)	Forte force boulangère (60-69ml)	Force boulangère moyenne (50-59ml)	force boulangère faible (<49ml)
Guelma	V2, V8, V9, V10, V12	V4, V11, V13, V15	V1, V3, V5, V7, V14	V6
Oued smar	V8, V9, V10	V2, V4, V11, V12	V3, V5, V13, V14	V1, V6, V7, V15

L'analyse de la variance de l'interaction génotype x environnement révèle une différence très hautement significative (prob = 0.0000) pour le teste de sédimentation SDS des farines. Ce qui prouve l'influence des deux facteurs à la fois : génotype et environnement en interaction sur ce caractère.

DEXTER et al. (1980), mentionnent que le test de sédimentation est influencé aussi bien par le génotype que par le lieu de culture. D'ailleurs, cette étude nous a permis de constater le caractère instable des génotypes, qui ne répondent pas de la même façon, au niveau des différents environnements (sites expérimentaux).

Les volumes les plus élevés du SDS de sédimentation témoignent de la bonne qualité du gluten du blé tendre et par conséquent, de celle de la farine. La composition du gluten de blé est effectivement un facteur déterminant pour la qualité des produits finis. C'est le constituant le plus explicatif des différentes aptitudes technologiques attribuées à la variété (*CHERDOUH et al. 2000*).

Ces volumes de sédimentation sont corrélés négativement à la teneur en protéines qui reste indépendante de la qualité du gluten (*DEXTER et al. 1980*).

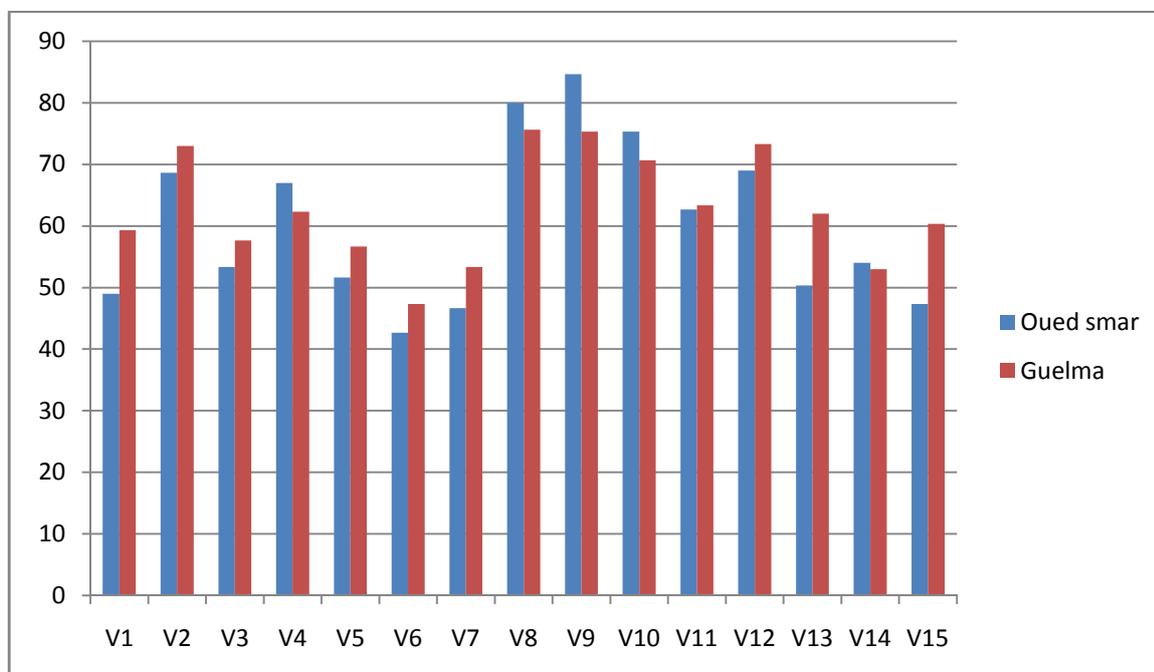


Figure n°15 : L'effet de l'interaction génotype X milieu sur le SDS-acide lactique.

Tableau n°14/2 : Résultats du test de sédimentation SDS-acide lactique des variétés étudiés.

Station Variétés	Oued smar		Guelma	
	Moyenne (ml)	Ecartype	Moyenne (ml)	Ecartype
V1	49,00	1,000	59,33	0,577
V2	68,66	1,154	73,00	0,000
V3	53,33	0,577	57,66	0,577
V4	67,00	0,000	62,33	0,577
V5	51,66	0,577	56,66	1,154
V6	42,66	0,577	47,33	1,154
V7	46,66	0,577	53,33	1,154
V8	80,00	2,000	75,66	0,577
V9	84,66	0,577	75,33	1,154
V10	75,33	0,577	70,66	0,577
V11	62,66	0,577	63,33	0,577
V12	69,00	1,000	73,33	0,577
V13	50,33	0,577	62,00	1,000
V14	54,00	0,000	53,00	1,000
V15	47,33	2,886	60,33	0,577

VII. Analyses technologiques

VII.1. Test d'alvéographe de chopin

La boulangerie d'une façon générale, exige des farines dont les caractéristiques selon MAUZE et al, (1972) sont :

- **W** compris entre 130 et 160.
- **P/L** de l'ordre de 0.45 et 0.55.
- **G** compris entre 21 et 24.

- Les blés ayant un **W** compris entre 160 et 250 sont dits « améliorants » si leur rapport P/L est équilibré.

- Ceux ayant un **W** supérieur à 250 sont dits de force.

- Les **W** inférieurs à 130 sont caractéristiques des blés de force insuffisante.

Un gonflement **G** supérieur à 24 est caractéristique d'un blé améliorant.

Les résultats de l'alvéographe sont représentés dans le tableau n°15.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau n°15 : Résultats du test d'alvéographe sur la patte de la farine des variétés étudiés.

Station Variétés	Oued smar			Guelma		
	W	G	P/L	W	G	P/L
V1	75	18,5	0,52	109	19,2	0,6
V2	220	18,5	1,05	235	19	1,21
V3	205	17,5	1,25	169	13	3,6
V4	250	15,3	2,12	416	19,9	0,87
V5	110	15,5	1,06	350	16,3	1,92
V6	230	15	1,31	163,5	16	1,6
V7	190	20	0,87	177	18,2	1,08
V8	300	16	2,72	298	18,3	1,6
V9	145	14,5	2,02	218	15	2,64
V10	240	17,5	1,63	227	16,3	1,76
V11	165	15	1,97	165	15,75	1,56
V12	146	17	1	123	19,6	0,6
V13	105	17	0,71	149	19,75	0,66
V14	70	16	0,78	117	18,6	0,75
V15	200	18,5	1,15	138	17,3	1,1

- Au vu des résultats obtenus les valeurs du **W** des lignées et variétés étudiées varient entre 70 et 300 dont les variétés et lignées suivantes: (V9, V12) pour la station d'Oued smar et (V13, V15) pour la station de Guelma ont un **W** compris entre 130 et 160, force conforme aux exigences de la boulangerie, mais le **G** de ces lignées et variétés est insuffisant car il est inférieur à 21 et c'est le cas pour toutes les autres lignées et variétés.

- Pour les **W** compris entre 160 et 250, on a les lignées et variétés suivantes : (V2, V3, V4, V6, V7, V10, V11, V15) pour la station d'Oued smar et (V2, V3, V6, V7, V9, V10, V11) pour la station de Guelma. Le **W** dans ce cas appartient à la catégorie des blés améliorants, mais le **P/L** n'est pas équilibré car il est supérieur à 0.55.

-Pour les **W** supérieurs à 250 on a les lignées et variétés suivantes : (V8) pour la station d'Oued smar et (V4, V5, V8) pour la station de Guelma.

-Pour les **W** inférieurs à 130 on a (V1, V5, V13, V14) pour la station d'Oued smar et (V1, V12, V14) pour la station de Guelma.

Les résultats de l'analyse de la variance du test d'alveographe ne sont pas significatifs.

L'usage de l'alvéographe n'est pas recommandé pour des farines de blé de vigueur extrêmement élevée, du fait, qu'il ne différencie pas explicitement entre les farines au delà de 15 minutes de stabilité au farinographe (*WILLIAMS P., 1998*).

Toutefois, *REGNIER S. et al., (2004)* a rapporté que la variation du grain en diamètre constitue un bon indicateur de la stabilité de la pâte, sa ténacité, son extensibilité ainsi que le rapport ténacité/extensibilité. La quantité de certaines glutenines polymériques paraît qu'il a une bonne corrélation avec la force du Gluten (W), la ténacité (P), l'indice de l'alvéographe et le volume du pain (*DACHKEVITCH T. et al., 1989*).

Par ailleurs, El haddad L. et al., (1995) ont montré une variabilité génétique élevée pour ce paramètre. Cependant, il a été retrouvé qu'il existe des effets épistatiques entre le (glutenines) et le (gliadines) sur la ténacité, l'extensibilité et le travail de déformation, comme il a été, également, rapporté par *NIETO-TALADRIZ M.T. et al, (1994)*.

Le travail de déformation (W) est une mesure de la combinaison de P et L tandis que pour les blés européens c'est un important corrélateur avec le volume du pain (*BETTEGE A. et al., 1989*). Il paraît que ce paramètre est très utile pour prédire la qualité de la farine ; les valeurs de l'énergie (W) corréleront mieux avec la teneur en protéines totales (*PEREGO P. et al., 2002*) et la composition des protéines dont leurs propriétés sont fidèlement reliées à la valeur de W qu'à la valeur de la ténacité (P) (*CUNIBERTI M.B. et al., 2003*).

La corrélation entre W de l'alvéographe avec les protéines polymériques du grain est forte, encore bien forte avec les protéines polymériques complexes (*CUNIBERTI M.B. et al., 2003*).

Les allèles qui codent pour les gliadines, également, affectent la force de la pâte comme mesurée par (W) de l'alvéographe (*METAKOVSKY E.V. et al., 1997*).

VII.2 Relation entre les tests biochimiques et technologiques

Afin d'appréhender les liens existants entre les résultats des tests biochimiques et technologiques, nous élaboré une matrice de corrélation a l'aide du logiciel STATISTICA.

Les résultats des différentes corrélations sont résumés dans le tableau n°16.

- Le PMG est corrélé négativement avec la teneur en protéine ($r = -0.42$).
- Le PHL est corrélé positivement avec le SDS, le test de ZELENY, le W et le rapport P/L ($r = 0.28$, $r = 0.27$, $r = 0.23$ et $r = 0.33$) respectivement, et il est corrélé négativement avec le G ($r = -0.21$).
- Le taux d'extraction est corrélé positivement avec le SDS et le rapport P/L ($r = 0.35$ et $r = 0.23$) respectivement, et négativement avec la teneur en cendre ($r = -0.33$).
- Le SDS est corrélé positivement avec le test de ZELENY, la teneur en protéine, W et le rapport P/L ($r = 0.64$, $r = 0.50$, $r = 0.30$, $r = 0.38$) respectivement.
- Le ZEL est corrélé positivement avec la teneur en protéine, le W et le rapport P/L ($r = 0.44$, $r = 0.38$ et $r = 0.24$) respectivement.
- La teneur en protéine est corrélée positivement avec le W et le rapport P/L ($r = 0.25$ et $r = 0.24$) respectivement.
- Le W est corrélé positivement avec le rapport P/L ($r = 0.36$).
- Le G est corrélé négativement avec le rapport P/L ($r = -0.75$).

Chapitre IV : Résultats et discussions

Tableau n°16 : Matrice de corrélation entre les paramètres biochimique et technologiques.

Corrélations significatives marquées à $p < ,05000$, N=90.

Variable	PMG	PHL	TE	CEND.	SDS	ZEL	PRT	W	G	P/L
PMG	1,00									
PHL	0,14	1,00								
TE	-0,02	0,18	1,00							
CEND.	-0,11	0,06	-0,33	1,00						
SDS	-0,21	0,28	0,35	-0,15	1,00					
ZEL	0,07	0,27	-0,03	-0,06	0,64	1,00				
PRT	-0,42	0,16	0,18	-0,02	0,50	0,44	1,00			
W	-0,02	0,23	0,20	-0,03	0,30	0,38	0,25	1,00		
G	0,18	-0,21	-0,08	-0,13	-0,09	-0,06	-0,09	0,06	1,00	
P/L	-0,16	0,33	0,23	0,05	0,38	0,24	0,24	0,36	-0,75	1,00

Conclusion générale

L'objectif de notre travail est de déterminer l'effet variété et de l'interaction « génotype-environnement » sur les paramètres biochimiques et technologiques de quelques variétés de blé tendre en cour de sélection et aussi de sélectionner les génotypes qui expriment au mieux leurs qualités biochimiques et technologiques.

Ce travail nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

1. Au niveau des analyses physiques :

- ✓ Le poids de mille grains indique que l'interaction génotype x environnement est très hautement significative. L'influence simultanée des deux facteurs explique le fait qu'à une variété spécifique correspond un environnement qui lui est propre.
- ✓ L'effet de l'interaction génotype x environnement sur la variabilité le rendement des grains en farine est significatif ce qui explique que le taux d'extraction des génotypes cultivés a la station d'Oued smar sont faible comparativement a ceux cultivés a la station de Guelma.

2. Au niveau des analyses biochimiques :

- ✓ Pour la teneur en protéines, l'analyse de la variance de l'interaction « génotypes x environnements », se montre également très significative.

Les valeurs des protéines oscillent entre 9.56 et 14.01% L'ampleur de cette variation en protéines, implique que les performances des génotypes diffèrent d'un environnement à l'autre. Nous pouvons déduire qu'il y a un double effet génotypique et environnemental sur la teneur en protéines.

- ✓ L'effet de l'interaction génotype x environnement sur la variabilité des tests de sédimentation S.D.S et de ZELNY est significatif. Les volumes les plus élevés des ces tests témoignent de la bonne qualité du gluten du blé tendre et par conséquent, de celle de la farine. La composition du gluten de blé est effectivement un facteur déterminant pour la qualité des produits finis.
- ✓ 50% de chaque station des génotypes sont classés dans la catégorie des blés de très bonne force boulangère selon le test de sédimentation SDS et Zeleny.

3. Au niveau de l'analyse technologique :

- ✓ Les alvéogrammes obtenus sont déséquilibrés avec une ténacité élevée, dans ce cas la nous proposons de faire des mélanges de variété de farine pour atteindre l'équilibre souhaité par les boulangeries.

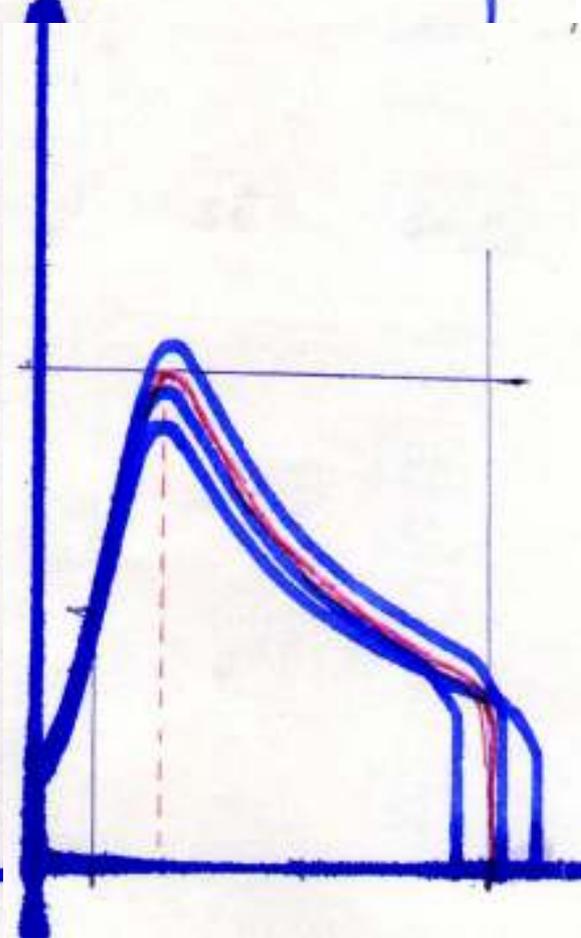
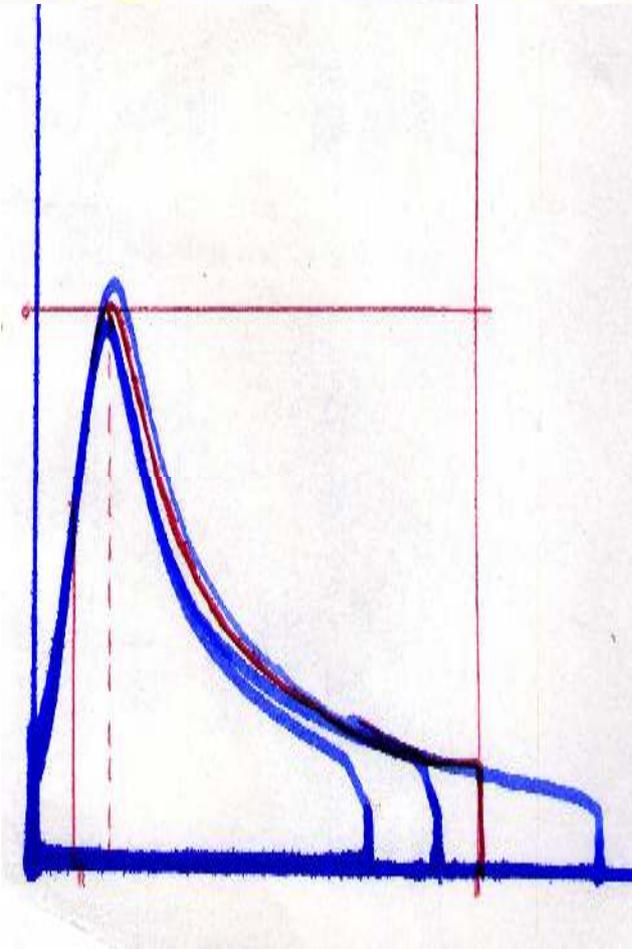
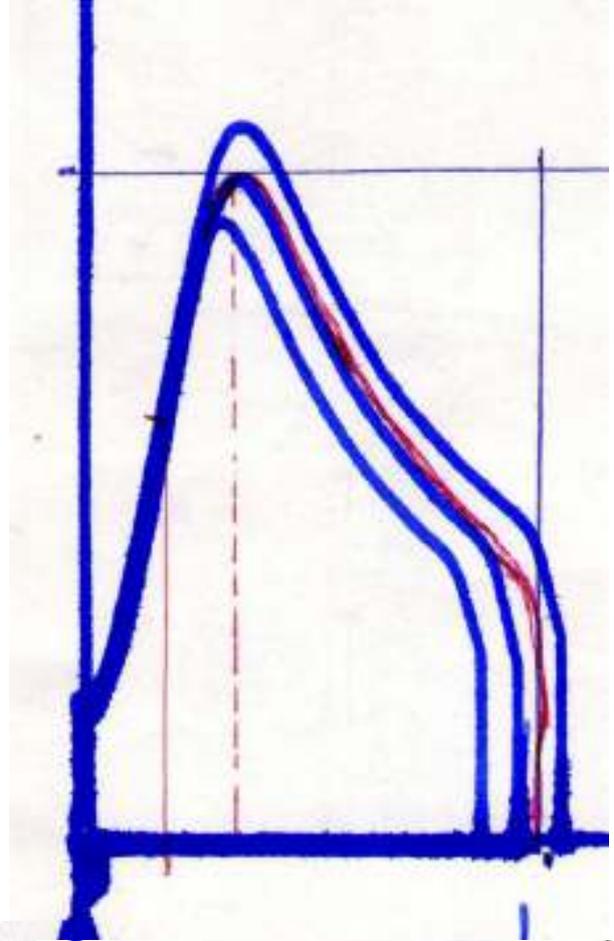
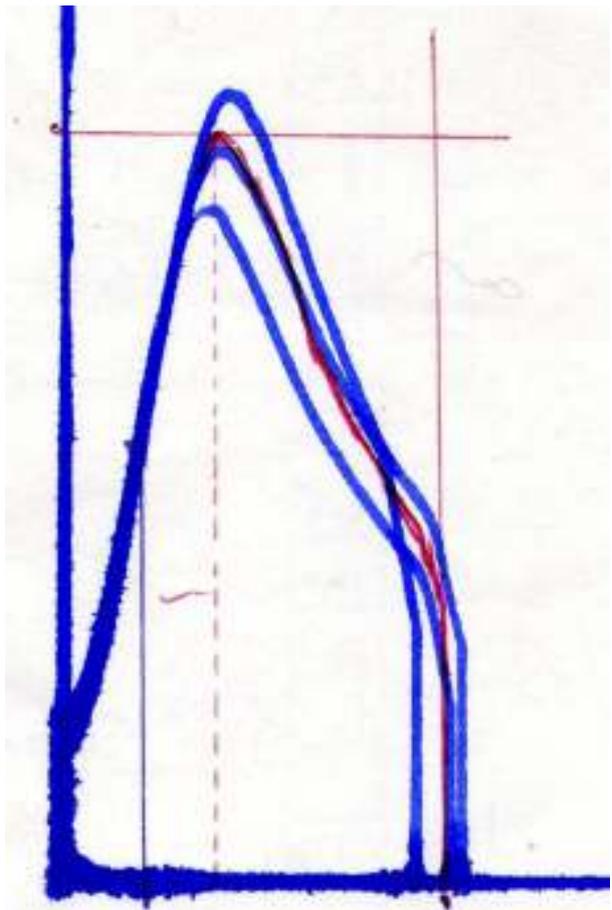
Conclusion générale

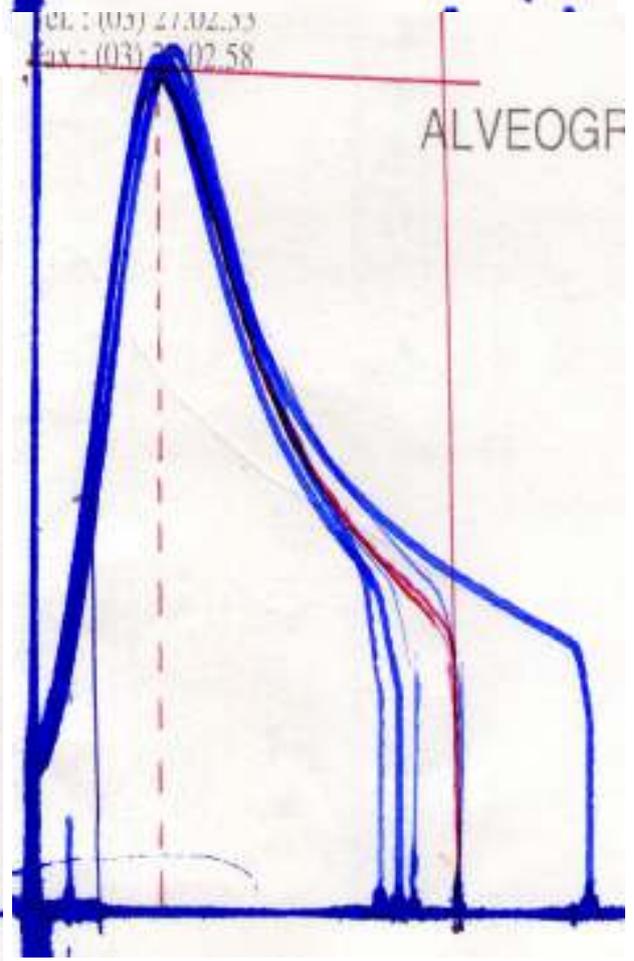
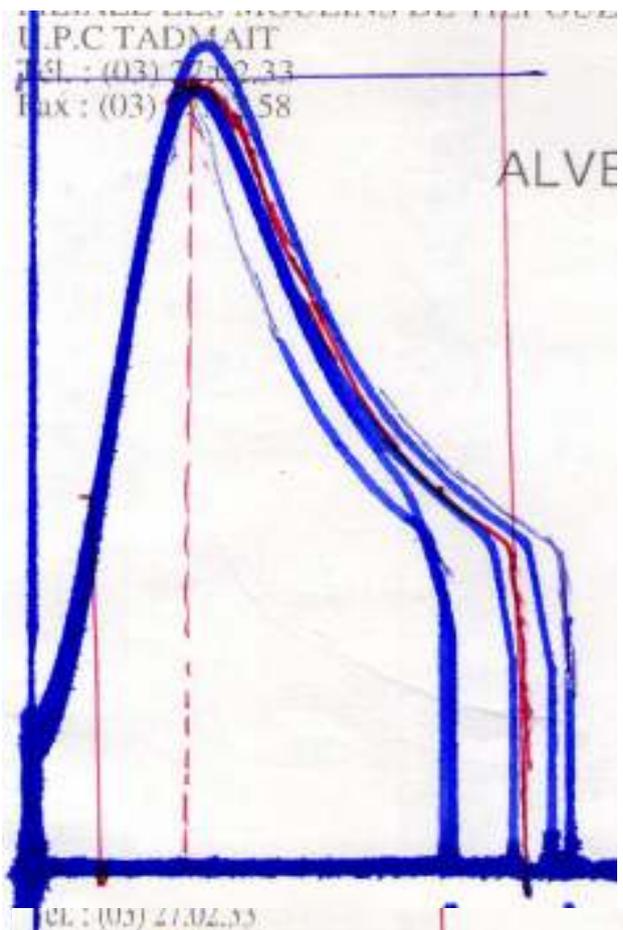
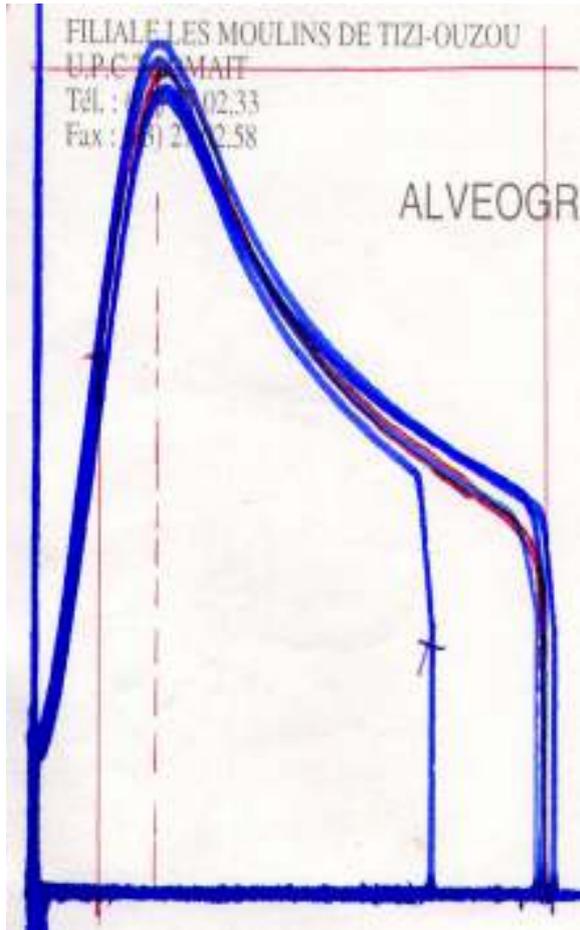
D'après les résultats des tests réalisés et dans les limites de nos conditions expérimentales, nous n'estimons que les 7 lignées issues de la station de Guelma suivantes :

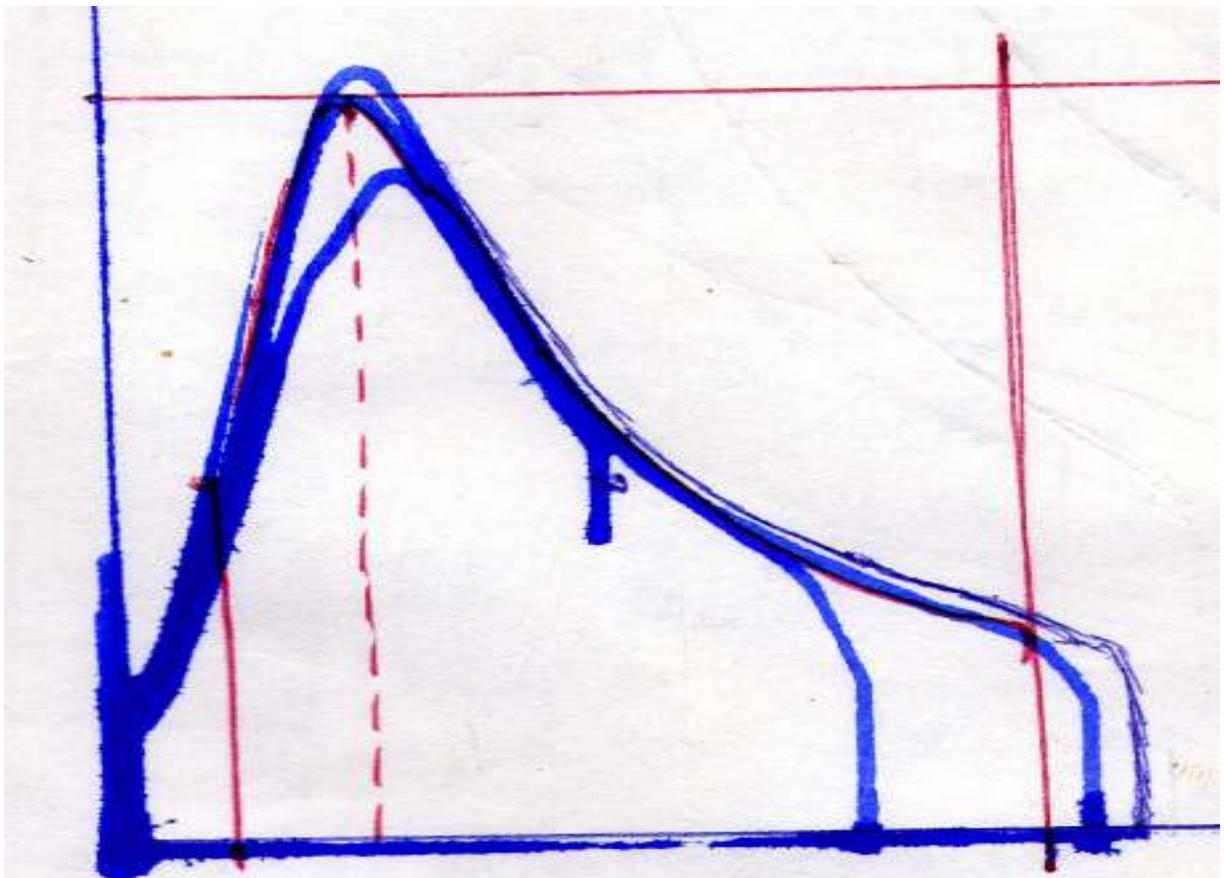
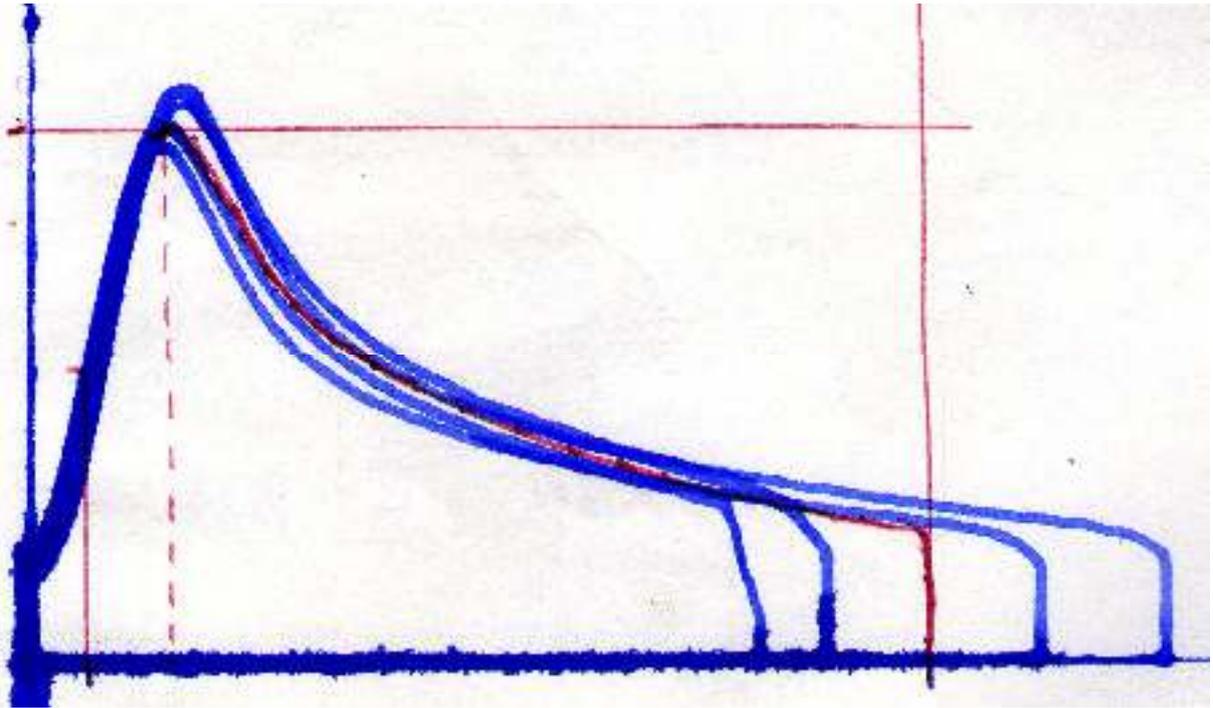
(PASTOR), (TUI), (Irena/Babox//Pastor) et (EKIZ), sont fortement recommandés aux industries de la minoterie qui exigent des blés ayant un rendement élevé en farine.

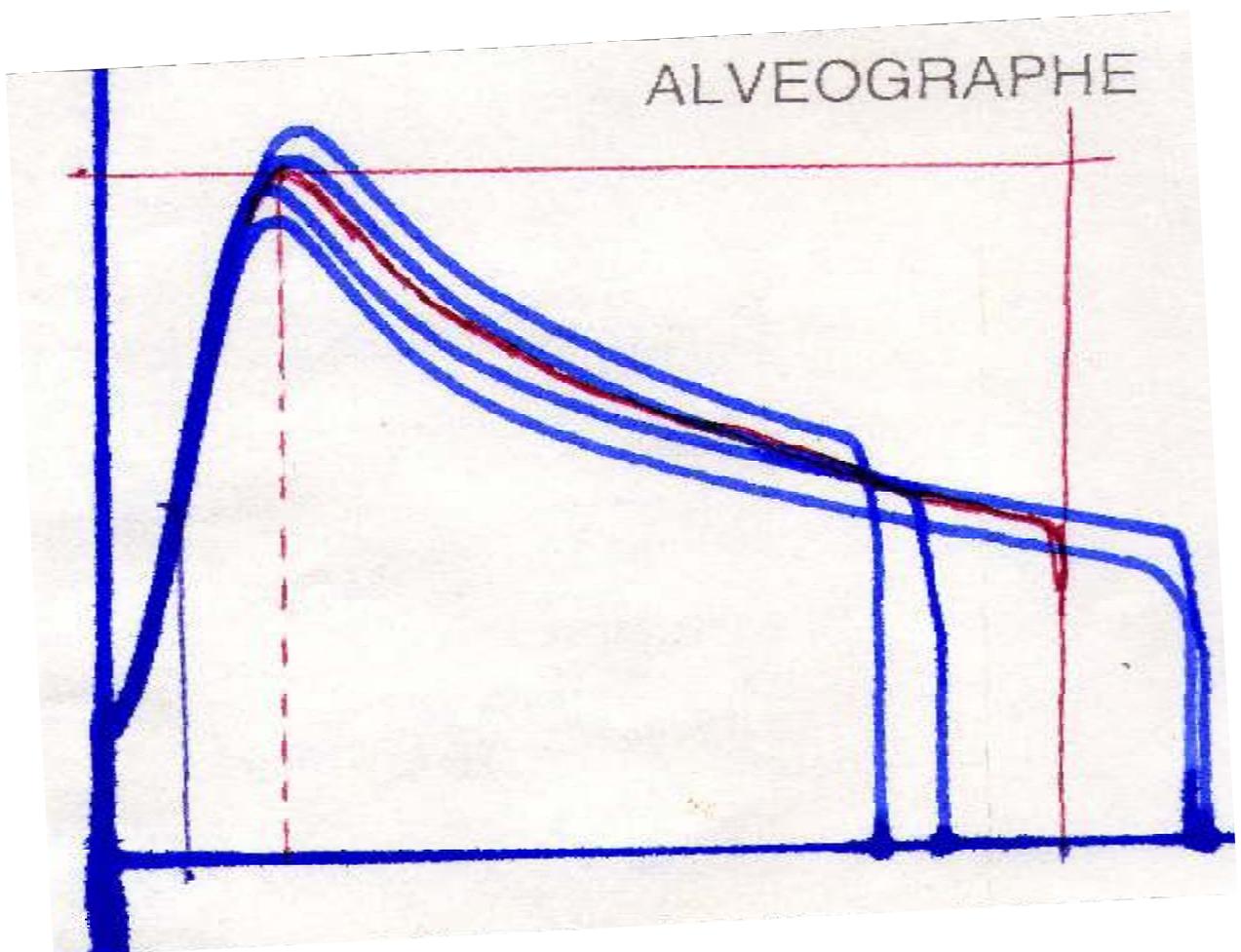
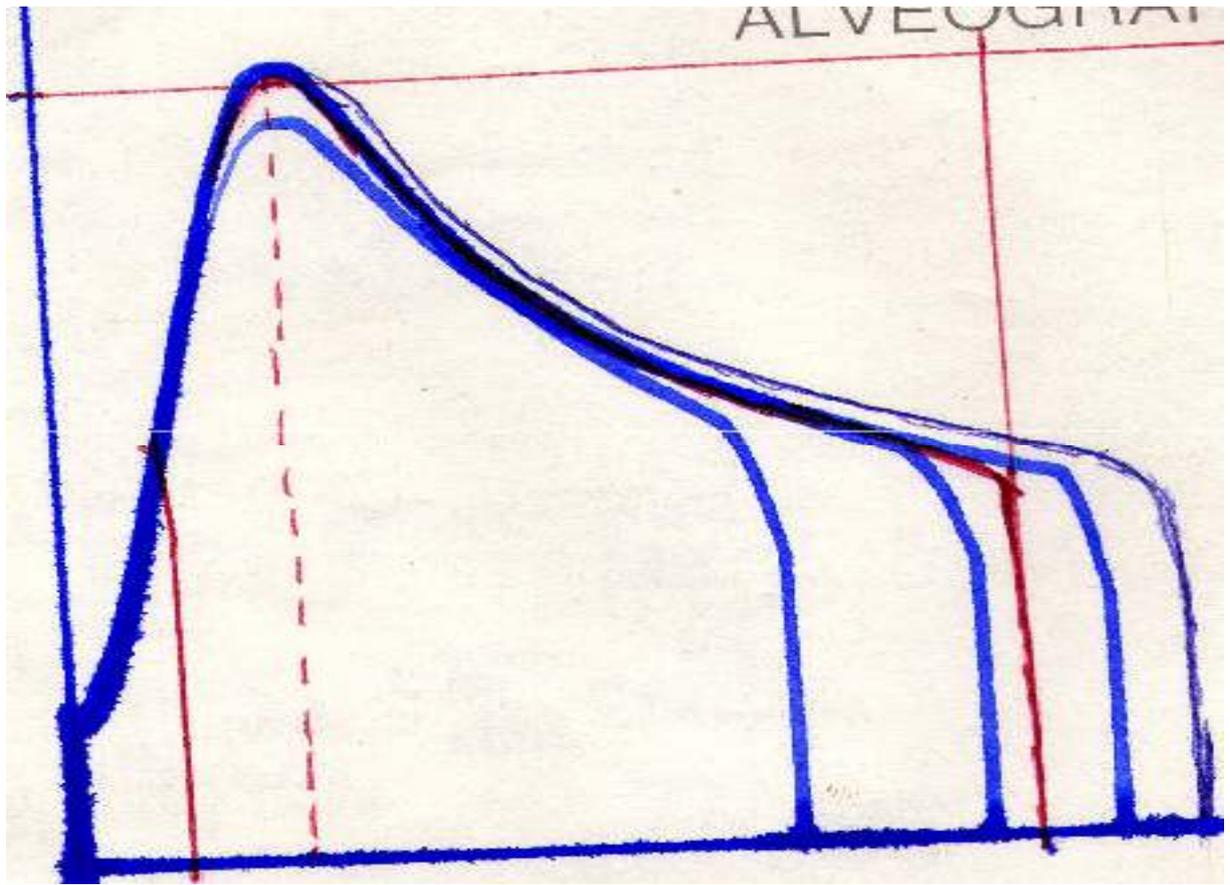
Pour les lignées suivantes : (HXL7579/*2BAU), (K0751b2), (EKIZ), (Vorona//Prl/Vee #9/ 3/Kauz*2/Taco//Kauz) et (F494.16.1111/Bonito) montrent une bonne aptitude biochimique et technologique et sont par conséquent fortement recommandées pour la reconduction de l'essai répété 3^{ème} année .

Compte tenu de l'importance de la céréaliculture, de son impact politique, économique et social en Algérie et dans le monde, cette étude de sélection, d'identification du comportement et d'adaptation variétale à l'environnement reste parmi les études de recherche les plus prioritaires en Agriculture. Néanmoins cela reste encore un début car il est à souligner qu'une étude scientifique de cette ampleur doit être poursuivie car elle nécessite du temps et de la matière. C'est pour toutes ces raisons qu'une orientation à court et long terme vers un projet de recherche agronomique intégrant la génétique, la biologie et l'environnement serait à recommander.











Mélangeur Chopin



Moulin Chopin-Dubois



Numigral



Moulin Miag



Agitateur de Zeleny



Distillateur Behr



Alvéographe Chopin



Etuve Chopin

Liste des abréviations

°C: Degré Celsius.

Ca²⁺: Calcium.

Cm: Centimetre.

CO₂: dioxyde de carbone.

Cud: Coefficient d'utilisation digestive.

FAO: Food and agriculture Organization.

Fav: Fibre alimentaire végétale.

Fe²⁺ : Fer.

g: Gramme.

G : Gonflement de la pate.

H:Humidité.

ITGC: Institut technique des grandes cultures.

Kg: Kilogramme.

mg: Milligramme.

Mg²⁺ : Magnesium.

min : Minute.

ml: Millilitre.

mm: millimetre.

ms:Matière sèche.

NaCl: Chlorure de sodium.

(NH₄)₂SO₄:Sulfate d'ammonium.

(NH₃) : Ammoniac.

P/L : Ténacité de la pate.

(PHL): Poids hectolitre.

PNAB: Programme nationale d'amélioration des blés.

PMG: Poids de mille grains.

QTL: Quantitative trait locus.

SDS: Sodium-dodécyl sulfate.

SAU: Surface agricole utile.

Vit: Vitamine.

W : Travail de la pâte.

Zn²⁺: Zinc.

Références bibliographique

1. **ABECASSIS J. et FEILLET P.**, « Pureté des semoules de blé dur, taux de cendres et réglementation », Ind. Céréales, 36, 1985, pp: 13-18.
2. **ALTAFA., ATKINS I.M., ROONEY L.W., PORTER K.B., 1969.** Crop Sci. 9 329-330. In Varga B., Svecnjak Z., Jurkovic Z., Kovacevic J. and Jukic Z., 2003. Wheat Grain and Flour Quality as Affected by Cropping Intensity. Food Technol. Biotechnol. 41: 321-329.
2. **ALAIS C., LINDEN G., 1994.** Abrégés de biochimie alimentaire, 3^{ème} édition Nancy : Masson, 244 p.
3. **ANONYME, 1976.** Le blé, céréale d'avenir Fermes modernes, 202 p.
4. **ANONYME, 1995.** ITCF Qualité des blés tendres - Produire pour vendre Perspectives Agricoles, 203, p.1-XLVIII.
5. **ANONYME ,2003.**Donnés statistiques du ministère de l'agriculture et de la pêche .Série B « superficie et production ».
6. **ANONYME ,2006.**Céréale : viser la taille critique : hors série spéciale Algérie : djazagro, MARS 2006, p.19.
7. **ANONYME, 2007.** Méthodes d'appréciation de la qualité des blés (et épeautres) destinés à la panification G. SINNAEVE –CRA-W, Département qualité des productions agricoles Gembloux, le 10 octobre 2007.
8. **ANONYME, 1979.** Le laboratoire de technologie des céréales de l'ITGC. In : Céréaliculture N° 10. pp. 19-24.
9. **ANDAL., ANTONS R., 2004.** Variety and environmental effects on Quality Traits in Latvian- Grown Winter Wheat. New Directions For a Diverse Planet: Proceedings of the 4 th International Crop Science Congress, , 26 Sep-1 Oct 2004, Brisbane, Australia. ISBN 1 920842 20 9.
10. **BAL F, 1997.** Cultiver. La technique sur le terrain Cultivar, 424, p. 17-22.
11. **BARMORE M. A. & BEQUETTE R. K., 1965.** Weight per bushel and flour yield of Pacific Northwest white wheat. *Cereal Sci. Today* **10**, 72-77.
12. **BEAUX Y, 1995.** La qualité du blé pour le marché des farines La France Agricole, 2608, p.43-45.
13. **BENLARIBI M., MONNEVEUX PH et GRIGNAC P., 1990.** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Agronomie* 10: 305-322.

- 14. BETTGE A., RUBENTHALER G.L. & POMERNAZ Y. 1989** - Alveograph Algorithms to Predict Functional Properties of Wheat in Bread and Cookie Baking, *Cereal Chem.*, 66, 2: 81-86.
- 15. BONJEAN A. et PICARD E., 1990.** Les céréales à paille : Origine – Histoire – Economie –Sélection. *Soft word/ITM*. Pp: 14-167.
- 16. BOURDET A., 1976.** L'identification des variétés de blé par électrophorèse. Symposium, INRA .Meunerie européenne. *Tech. Ind céréalières*. 154, pp. 59-65.
- 17. BRINK M., BELAY G., 2006.** Plant resource of tropical africa 1. Cereal and pulses. PROTA fondation wageningen, Netherlands / Bachuys publishers, leiden, Netherlands / CTA.
- 18. BRANLARD G., ATRAN JC., 1986** - L'amélioration génétique de la qualité technologique du blé tendre.135p.
- 19. CAMPBELL K, G.C., BERGMAN C.J., GUALBERTO D.G., ANDERSON J.A., GIROUX M. J., HARELAND G., FULCHER R.G., SORRELLS M.E. & FINNEY P. L. 1999** - Quantitative Trait Loci Associated with Kernel Traits in a Soft X Hard Wheat Cross, *Crop Sci.*, 39:1184–1195.
- 20. CEGLINSKA A. 2003** - Technological Value of a Spelt and Common wheat Hybrid, *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Series Food Science and Technology*, 6, 1: 79-87.
- 21. CARENTINO Sabine 1996.** Pains, brioches et gâteaux *Bio futur*, 160, p.38-40.
- 22. CALVEL R., 1980.** La boulangerie moderne. 9^{ème} édition, Paris, Eyrolles : pp. 11-78.
- 23. CHEHAT F., « Impact des réformes économiques sur la céréaliculture algérienne»**
Options Méditerranéennes, Sér. B / N°8, INA, Algérie, 1994, pp: 105-115.
- 24. ChERDOUH A., KHELIFI D., CARILLO J.M et NIETO-TALADRIZ M.T., « Caractérisation biochimique et génétique des protéines de réserve des blés durs algériens. Relation avec la qualité », Symposium Blé 2000 : enjeux et stratégies / Alger, 7-9 février 2000, pp : 311-314.**
- 25. CHEHAT F, 2007.**Analyse macroéconomique des filières, la filière blés en Algérie. *Projet PAMLIM « Perspectives agricoles et agroalimentaires Maghrébines Libéralisation et Mondialisation »* Alger : 7-9 avril 2007.
- 26. CROSSA, J., 1990.**Statistical analyses of multilocation trials. *Advances in Agronomy* 44: 55-85.
- 27. CUNIBERTI M.B., ROTH M.R., and McRITCHIE F., 2003.** Protein Composition-Functionality Relationships for a Set of Argentinean Wheat, *Cereal Chem*. Vol. 80(2): 132-134.

- 28. DACHKEVITCH., and AUSTRAN J.C.,** Predicting of baking quality of bread wheats in breeding programs by size – exclusion high-performance liquid chromatography, *Cereal Chem.*, 66: 448-456. In El haddad L., Aussenac T., Fabre J.L., and Sarrafi A., 1995. Relationships Between Polymeric Glutenin and the Quality Characteristics for Seven Common Wheats (*Triticum aestivum*) Grown in the Field and Greenhouse, *Cereal Chem.*, 72 (6): 598-601.
- 29. DELOURME D.,** « Génétique », ed. Dunod, Paris, ISBN 2100047523, 1999, 63 p.
- 30. DEXTER J.E., MATSUO R.R., KOSMOLAK F.G., LEISLE D., MARCHYLO B.A.,** « The suitability of SDS sedimentation test for assessing gluten strength in durum wheat », *Can. J. Plant Sci.*, 60, 1980, pp: 25-29.
- 31. EL HADDAD L., AUSSENAC T., FABRE J.L. & SARRAFI A. 1995 -** Relationships Between Polymeric Glutenin and the Quality Characteristics for Seven Common Wheat (*Triticum aestivum*) Grown in the Field and Greenhouse, *Cereal Chem.*, 72 ,6: 598-601.
- 32. FEILLET P., 2000.** Le grain de blé. Paris, INRA, pp.17-43.
- 33. FOULD-SPRINGER, 1996.** Lewe et panification - Mémento des technologies agro-alimentaires Paris : Lesaffre/Techno-Nathan, 75 p.
- 34. FREDOT EMILIE, 2005.** Connaissance des aliments ; bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. Paris, pp 159,160, 161, 162, 163, 165.
- 35. GALLAIS A.,** « Théorie de la sélection en amélioration des plantes », Massou, Paris, 1990, pp: 45-382.
- 36. GALLAIS A.,** « Bases génétiques et stratégie de sélection de l'adaptation générale », *Sel Fr.*, 42, 1992, pp: 59-78.
- 37. GALLAIS A., BANNEROT H., 1992 -** Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de sélection. Ed : INRA, 768p.
- 38. GODON B., WILLM C, 1991.** Les industries de 1^{ère} Transformation des céréales Paris : Tec & Doc - Lavoisier, 110, 679, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 561, 562 p.
- 39. GODON B., LOISEL W, 1984.** Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales.
- 40. GODON B. et LOIZEL W.,** « Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales », 2^{ème} édition. Tec & Doc. Lavoisier, 1997, 198 p.
- 41. GODON B.,** « Matières minérales du grain de blé et de la farine », *Bull. Anciens Elèves Ec. Fr.*, Meunerie, 283, janvier- février 1978, pp: 33-46.
- 42. GHADERI A., EVERSON E. H. & YAMAZAKI W. T., 1971.** Test weight in relation to the physical and quality characteristics of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L. em Thell). *Crop Sci.* 11, 515-518.

- 43. GODON B., 1975.** Détermination aux derniers stades de la sélection de la valeur d'utilisation des blés tendres dans les industries de cuissons. *Ann. Amélior. Plantes*, 25(4) : pp. 411-428.
- 44. HAZMOUNE T., 2006** – Le semis profond comme palliatif à la sécheresse. Rôle de la coléoptile dans la levée et conséquences sur les composantes du rendement. Thèse docteur d'état. Univ Constantine ; 168p.
- 45. HOSENEY R.C., FINNEY K.F., 1971.** Functional (bread making) and biochemical properties of wheat flour components VIII-starch. *Cereal. Chem.* 47 : pp. 135-140.
- 46. HOSHINO T., ITO S., TANIGUSHI Y., and SATO A., 1994.** *Jap. J. Crop Sci.* 63: 21-25 In Varga B., Svecnjak Z., Jurkovic Z., Kovacevic J. and Jukic Z., 2003. Wheat Grain and Flour Quality as Affected by Cropping Intensity. *Food Technol. Biotechnol.* 41: 321-329.
- 47. HOOK S. C. W., 1984.** Specific weight and wheat quality. *Journal of Sci. Food and Agric.* 35, 1136-1141.
- 48. HSSISSOU D.,** « Sélection in vitro et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse », Thèse de Doctorat, faculté des sciences, Univ. catholique de Louvain, 1994.
- 49. KRUGER J.E., ANDERSON M.H., and DEXTER J.E., 1994.** Effect of flour refinement on raw cantonese noodle colour , *Cereal Chem.*, 71: 177-182. In Davies J. and Berwonsky W.A, 2003. Evaluation of Spring Wheat Quality Traits and Genotypes for Production of Cantones Asian Noodles. *Crop Sc.* 43: 1313-1319.
- 50. Hruskova M. & Famera O. 2003** - Prediction of Wheat and Flour Zeleny Sedimentation Value Using NIR Technic, *Czech J. Food Sci.*, 2,13: 91–96.
- 51. LAZTITY R., 1984.** The chemistry of cereal prteins CRC Aress ; Inc ; Boca Roton, New York, London, Tokyo.
- 52. LENAOUR. A, LEQUENTREC. B, ROELOFS. C, LAKHDARI. W, MORICEAU. S, PEYRON. C, MEUNIER. M, PFIRSCH. N; 1998.** La filière pain p. 25, 26, 38.
- 53. LEFEBVRE V., PFLIEGER S.,** « L'approche gène candidat pour la caractérisation moléculaire et fonctionnelle de locus de résistance aux parasites chez les plantes », *Sel Fr.*, 51, 2000, pp: 31-45.
- 54. MAC RITCHIE F., KASARDA D. D., KUZIMICKY D. D., 1990.** Characterisation of wheat cultivars by reserved phaz hight performance liquide. *Ceral. Chem.* (2) : pp. 122-130.
- 55. MACKENZIE A., BALL A.S. et VIRDEE S.R.,** « L'essentiel en écologie » BENTI, Paris, 2000, 363 p.

56. MANGELS C. E. & SANDERSON I., 1925. Correlation of test weight per bushel of hard spring wheat with flour yield and other factors of quality. *Cereal Chem.* **2**, 365-369.

57. MONNEVEUX P. et THIS D., « La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : espoirs et difficultés », Synthèse, ed. INRA, Paris, 1997, pp : 29-36.

58. MAUZE C., RICHARD M., SCOTTI G., 1972. Guide pratique du contrôle de la qualité des blés. Institut technique des céréales et des fourrages.

Janvier 1972, p. 176.

59. METAKOVSKY E.V. 1991 - Gliadin Allele Identification in Common Wheat. II. Catalogue of Gliadin Alleles in Common Wheat, *Genet J. Breeding*, **45**, 325-344.

60. MURPHY C.F., 1967. The registration of Blue boy wheat. *Crop Sci.* **7**, 82.

61. NORMME ALGERIENNE NA 1613.1990. Détermination du poids à l'hectolitre.

62. NORMME ALGERIENNE NA 730.1991. Détermination de la masse de 1000 grains IDT ISO 520.

63. NORMME ALGERIENNE NA 1132.1990. Détermination de la teneur en eau.

64. NORMME ALGERIENNE NA 1158.1990. Détermination de l'azote total avec minéralisation selon la méthode kjeldhal IDT ISO 1871.

65. NORMME ALGERIENNE NA 1184.1994. Détermination de Sédimentation ZELENY IDT ISO 5529.

66. NORMME ALGERIENNE NA 733.1991. Détermination du taux de cendre brute IDT ISO 2171.

67. OLIVEIRA J.A., 2000. North Spanish Emmer and Spelt Wheat Landraces: Agronomical and Grain Quality Characteristic Evaluation, *125*: 16-20.

68. PETREQUIN P. et BAUDAIN D., 1997- Les sites littoraux néolithiques de Clairvaux-les-lacs (Jura). I problématiques générales. L'exemple de la station III. Edition de la maison des sciences de l'homme Paris. 508p.

69. PEREGO P., SORDI A., GRIVON D., CONVERTI A., DOVI V., 2002. Rheological Study in the Pasta Industry by Alveographic Analysis. *Cienc. Tecnol. Aliment.* **3** (4): 202-206.

70. POMERANZ Y. 1971 - Composition and Functionality of Wheat Flour Components, pp. 585-674, In *Wheat Chemistry and Technology*, Pomeranz Y., ed. Am. Assoc. Cereal Chem., St.

71. POMERANZ Y., 1982. Flour component and baking behavior. *Getreid. Mehl. Brol* ; **36** : pp. 264-272.

72. PETERSON C.J., JOHSON V.A., and MATTERN P.G., 1986. influence of cultivar and environment on mineral and protein concentrations of wheat, *Cereal Chem.*, **63**: 183-186.

In Davies J. and Berwonsky W.A, 2003. Evaluation of Spring Wheat Quality Traits and Genotypes for Production of Cantones Asian Noodles. *Crop Sc.* 43: 1313-1319.

73. REGNIER S., HOLCOMB R. & RAYAS-DUARTE P. 2004 - Relating Wheat Quality to End-Product Quality, Food Technology Fact Sheet, Oklahoma State University, FAPC 129.1-129.3.

74. ROUSSET M, 1976. Amélioration du blé tendre pour sa valeur d'utilisation. *Annales de l'INRA*, pp 1-18.

75. ROUSSEL P., LOISEL W., 1984. Tes de laboratoire In : guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Paris: Ed. Lavoisier, p.479.

76. ROUSSET M., « Amélioration des plantes autogames », *Agronomie N°9*, 1986, pp: 616-619.

77. ROBERTS H. F., 1910. Breeding for type of kernel in wheat, and its relation to the grading and milling of the grain. *Kansas State Agricultural College Experiment Station Bulletin* 170, 98-138.

78. ROUSSET M., 1981. Les nouvelles variétés de blés, Qu'en est-il des variétés impanifiables-perspectives d'avenir.

Exposé au C.P.C.I.A, session «< qualité des blés et farines >> Rungis 29 septembre/ 1^{er} octobre.

79. RUEGGER A. and WINZELER H. (1993). Performance of spelt (*Triticum spelt L*) and wheat (*Triticum aestivum L.*) at two contrastig environmental conditions. *J. Agron. Crop Science* 170: 289-295. In Oliveira J.A., 2000. North Spanish Emmer and Spelt Wheatland races: Agronomical and Grain Quality Characteristic Evaluation, 125: 16-20.

80.SAPIRSTEIN H.D., FU B.X., 1998. Intercultivar variation in the quality of monomeric proteines, soluble and insoluble glutenin, and residue protein in wheat flour and relationship to bread making quality. *Cereal. Chem.*, 75 (4) : pp. 500-507.

81. SCHNYDER H., 1904. Glutenous and starchy wheat. *Minnesota Agric. Exp. Sta. Bull.* 85, 179-188.

82. SCHULER S. F., BACON R. K., FINNEY P. L. & GBUR E. E., 1995. Relationship of test weight and kernel properties to milling and baking quality in soft red winter wheat. *Crop Sci.* 35, 949-953.

83. SCHULER S.F., BACON R.K., FINNEY P.L. & GBUR E.E. 1995 - Relationship of Test Weight and Kernel Properties to Milling and Baking Quality in Soft Red Winter Wheat, *Crop Sci.*, 35: 949-953.

84. SHEWRY P.R., TATHAM AS., LAZZERI P., 1997. Biotechnology of wheat quality. *J. Sci. food Agri.*, 73: pp. 397-406.

- 85. SHUEY W. C., 1960.** A wheat sizing technique for predicting flour milling yield. *Cereal Sci. Today* **5**, 71-72.
- 86. SHOLLENBERGER J. H. & COLEMAN D. A., 1926.** Relation of kernel texture to physical characteristics, milling and baking qualities and chemical composition of wheat. *U.S. Dep. of Agric. Bull.* **1420**.
- 87. SIMMONS S.R., CROOKSTON R.K.,** « Rate and duration of growth of kernels formed specific florets in spikiest of spring wheat », *Crop science*, 19, 1979, pp: 690-693.
- 88. SINGH N.K., DONOVAN R., MAC RITCHIE F., 1990.** Use of sonication and size exclusion high performance liquid chromatography in the study of wheat flour protein II relation quality of glutenin as a measure bread making quality. *Cereal Chem.* **67**: p. 161.
- 89. SIMIC G., HORVAT D., JURKOVIC Z., DREZNER G., NOVOSELOVIC D., DVOJKOVIC K., 2006.** The Genotype Effect on the Ratio of Wet Gluten Content to Total Wheat Grain Protein. *Central European Agriculture Journal*, Vol. 7(1): 13-18.
- 90. SOFIELD T., EVANS J., COOK M.G et WARDLEY I.F.,** « Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat », *Aust. J.Plant Physiol.*, 4, 1977, pp: 785-797
- 91. SOLTNER D., 1990.** *Phytotechnie spéciale, Les grandes productions végétales. Céréales, plantes sarclées, prairies. Sciences et Technique Agricoles éd.*
- 92.SOLTNER D., 2005** - Les grandes productions végétales. 20^{ème} Edition. Collection science et techniques agricoles. 472p.
- 93. TRIBOI E.,** « Modèle d'élaboration du poids du grain chez le blé tendre (*Triticum aestivum* en tell) », *Agronomie*, 10, 1990, pp: 191-200.
- 94. VARGA B., SVECNJAK Z., JURKOVIC Z., KOVACEVIC J. and JUKIC Z., 2003.** Wheat Grain and Flour Quality as Affected by Cropping Intensity. *Food Technol. Biotechnol.* **41**: 321-329.
- 95. VERRIER E., BRABANT PH., GALLAIS A.,** « Faits et concepts de base en Génétique quantitative. Hérité et milieu », II. INA Paris- Grignon, 2001, 133p.
- 96. VESPA R.,** « Semences des céréales à paille », *D. Agro*, N°1, Paris, 1984, pp: 14-94.
- Wheat Grain and Flour Quality as Affected by Cropping Intensity. *Food Technol. Biotechnol.* **41**: 321-329.
- 97. WHAN R.B., CARLTON G.P. et ANDERSON W.K.,** « Potentiel for increasing rate of grain growth in spring wheat. I. Identification of genetic improvement », *Aust. J. Agri. Res.*, **47**, 1996, pp: 17-31
- 98. WILLM C., 1972.** Moutures d'essais. In : GODON B., LOISEL W., 1997. Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. Pp. 554-573.
- 99. WILLIAMS P. 1998** - Variety Development and Quality Control of Wheat in Canada, Canadian Grain Commission 1998, p. 45.

100. WILLIAMS P., EL HARAMEIN FJ., NAKKOU H, RIHAVIS,,1988». Crop quality evaluation methods and guidelines. Aleppo: International centre for agricultural research in the dry areas (ICARDA).

101. ZELENY L. 1947 - A Simple Sedimentation Test for Estimating Bread Baking and Gluten Qualities of Wheat Flour, *Cereal Chem.*, 24: 465-475. In: De Andrade,1R., Riede, C.R., Scholz, D.S. M.B., Destro, D. & Fonseca, I.C.B. (2001) Selection for Grain Yield and Quality in Segregating Generations of Wheat, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 44, 2: 173 –178.

102. ZHU., KHAN., 2001. Separation and quantification ofHMW glutenin subunits by capillary electrophoresis. *Cereal. Chem.* 78(6): pp. 737-742.