

Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie El-Harrach Alger
Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister en
Amélioration des Productions Végétales et Ressources Génétiques
Département : phytotechnie

Aptitude à la panification de quelques variétés de blé dur Algérien

Présentée par :

LADRAA Nawal

Directrice de thèse : Mme. Ounane G. M.C. ENSA.

27-09-2012

Jury Président : Mr. Mekimène L. M.C. ENSA. Examineurs : Mme. Ferhat Z. M.C. NSA Mr. Ounane S.M Pr. ENSA

Table des matières

Dédicace . . .	5
Remerciements . . .	6
Résumé . . .	7
Abstract . . .	8
ص خ لم . . .	9
Liste des abréviations . . .	10
Introduction . . .	12
Synthèse bibliographique . . .	13
I.- Blé dur . . .	13
1.- Généralités . . .	13
2.- Composition histologique, chimique et protéique du grain de blé dur . . .	13
3.- Qualité technologique du blé dur . . .	14
4.- Semoule de blé dur . . .	19
II.- Panification . . .	19
1 - Définition . . .	19
2 - Principe . . .	20
3 - Etapes de la panification . . .	21
4 - Panification du blé dur . . .	23
Etude expérimentale . . .	28
I.- Matériels et méthodes . . .	28
1 - Matériel végétal . . .	28
2.- Transformation des grains de blé dur en semoule (mouture d'essai) . . .	28
3.- Analyse physico-chimiques, technologiques et rhéologiques réalisés sur grain et semoule . . .	29
4 - Panification . . .	35
5 - Analyse statistique . . .	38
II.- Résultats et Discussion . . .	39
1.- Analyse physico-chimiques, technologiques et rhéologiques réalisés sur grain et semoule . . .	39
2 - Essai de panification . . .	70
conclusion . . .	76
Références bibliographiques . . .	78
Annexe . . .	86
Annexe 01 : Poids de mille grains . . .	86
Annexe 2 : Taux de mitadinage . . .	86
Annexe 03 : Taux de moucheture . . .	87
Annexe 04 : Taux d'extraction . . .	88
Annexe 05: Taux d'humidité grain entier . . .	88
Annexe 06: Taux d'humidité semoule . . .	89
Annexe 07: Indice de jaune . . .	90
Annexe 08 : Indice de brun . . .	90

Annexe 09 : Taux de cendre de grain entier . .	91
Annexe 10 : Taux de cendre semoule . .	92
Annexe 11 : Teneur en protéine grain entier . .	92
Annexe 12 : Teneur en protéines semoule . .	93
Annexe 13 : SDS . .	94
Annexe 14 : Gluten humide . .	94
Annexe 15 : Gluten sec . .	95
Annexe 16 : Gluten index . .	96
Annexe 17 : Capacité d'hydratation . .	96
Annexe 18 : Indice de chute . .	97
Annexe 19 : Tolérance au pétrissage . .	98
Annexe 20 : Temps de développement . .	98
Annexe 21 : Masse du pain (g) . .	99
Annexe 22 : Volume du pain . .	100
Annexe 23 : Mixographes des variétés de blé dur . .	100
Annexe 24 : Alvéographes des variétés de blé dur Bousellam . .	101
Annexe 25 : Farinographes des variétés de blés durs Bousellam . .	102

Dédicace

Je dédie ce travail à : Mes très chers parents, auxquels je dois tout mon respect et que je ne remercierais jamais assez pour leurs sacrifices ; Mes sœurs, mes frères et à toute ma famille ; Tous mes amis ; Tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail ; Nawel

Remerciements

Je remercie avant tout, Dieu qui m'a donné la volonté et l'énergie de réaliser ce travail.

Je tiens à remercier toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

J'exprime mes sincères remerciements à Mme. OUNANE G. MC. ENSA, ma directrice de thèse, qui a suivi ce travail avec beaucoup d'intérêt. Qu'elle trouve ici l'expression de ma reconnaissance et mon profond respect pour ses précieux conseils, son aide et sa disponibilité.

Je remercie également Mr. Mekimène L. MC. ENSA, de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury.

Un grand remerciement à Mme. Ferhat Z. MC. ENSA, d'avoir accepté d'examiner notre travail, qu'elle trouve ici l'expression de ma reconnaissance la plus sincère.

Un chaleureux remerciement à Mr. Ounane S.M. Pr. ENSA, de m'avoir honoré de sa présence et d'avoir accepté d'examiner notre modeste travail.

Mes remerciements les plus profonds aussi :

A Mr. Yesli, Mme Mahieddine ingénieur au laboratoire de technologies des céréales de l'OIC, Mme Madani, Amel, Larem et Salim du laboratoire de technologies des céréales de l'ITGC, de nous avoir aidé à la réalisations des analyses.

A tous mes amis (es) pour leur soutien moral tout au long de la réalisation de ce travail spécialement Faiza, Leila, Kahina, Amina, Fatima, Keira, Nouara, Khadija, Mouna, Karima, Chahinez, Amel.

Résumé

En Algérie, Le blé dur est consommé surtout sous forme de couscous mais une part non négligeable est utilisée par les ménages pour la préparation de pain sous forme de galette.

Une augmentation appréciable de la consommation du pain de blé dur est enregistrée.

L'objectif de ce travail est d'étudier l'aptitude à la panification de quelques variétés de blé dur Algérien. Les analyses technologiques montrent que les variétés de blé dur ont une qualité technologique moyenne.

Le test de panification montre que nos variétés ont une bonne aptitude à la panification mis à part la variété Vitron qui a donné un pain applatie. La qualité sensorielle du pain est jugé bonne pour toutes les variétés.

Mots clés : blé dur, qualité technologique, aptitude a la panification, pain.

Abstract

In Algeria, Durum wheat is used mainly to produce couscous but a significant portion is used by households for making bread in traditional way. An appreciable increase in the consumption of the durum wheat bread is recorded. The objective of this work is to study the aptitude of bread-making of some varieties of Algerian durum wheat.

The results of technological analyses show that all durum wheat varieties studied have a good quality. The breadmaking test shows that our varieties have a good aptitude to give good bread except the variety Vitron which that gave flat bread. The sensory quality of bread is good for all varieties.

Keywords: durum wheat, technological quality, aptitud for baking bread.

ص خ لم

في الجزائر، يستخدم القمح الصلب أساساً للكسكسي ولكن يتم استخدام جزء كبير من قبل الأسر لصنع الخبز التقليدي، ان استهلاك خبز القمح الصلب في تزايد مستمر. الهدف من هذه التجربة هو دراسة قدرة القمح الصلب على توفير خبز ذو جودة النتائج التي تم الحصول عليها تظهر ان جميع أصناف القمح الصلب التي درست بشكل عام لديها قدرة جيدة على اعطاء خبز ذو جودة عالية. ما عدا الصنف vitron التي اعطت خبز غير منتفخ. الجودة الحسية للخبز جيدة لجميع الأصناف.

الكلمات الرئيسية : القمح الصلب الجودة التكنولوجية، القدرة على صنع الخبز، الخبز.

Liste des abréviations

- **a.m.** ante meridiem (le matin).
- **CH:** capacité d'hydratation
- **Con:** consistance
- **d:** densité
- **D50** granulométrie médiane
- **D84** granulométrie de dispersion
- **G:** indice de gonflement
- **GI:** gluten index
- **GH:** gluten humide
- **GS:** gluten sec
- **H:** humidité
- **HD** hauteur du pic
- **le:** indice d'élasticité
- **IC:** indice de chute
- **IJ:** indice de jaune
- **IB:** indice de brun
- **P max:** résistance maximale
- **P.F. :** Poids frais
- **P.S. :** Poids sec
- **SDS:** Sodium dodécylsulfate
- **PMG:** poids de mille grains
- **ppds:** plus petite différence significative
- **r:** indice de corrélation
- **Sg :** écart-type géométrique
- **SE :** semoule extra
- **SM :** semoule moyenne
- **SG :** semoule grosse
- **St:** stabilité
- **T:** temps de chute
- **TA:** teneur en azote
- **TD:** temps de développement
- **TE:** taux d'extraction
- **T.Mit:** taux de mitadinage
- **T.Mch:** taux de moucheture
- **T.H.G:** taux d'humidité du grain de blé
- **T.H.S:** taux d'humidité de la semoule
- **T.C.G:** Taux de cendre du grain grain de blé

- **T.C.S:** Taus de cendre de la semoule
- **TPG:** Teneur en protéine du grain de blé
- **TPS:** Teneur en protéine de la semoule
- **TAff:** temps d'affaiblissement
- **UB:** Unité Brabender
- **W:** travail de déformation

Introduction

Dans la plupart des pays d'Afrique du nord et d'Asie de l'ouest, le blé dur occupe une place primordiale dans l'alimentation des populations. Il entre dans la composition d'un grand nombre de plats traditionnels : couscous, pains, galettes, pâtisseries et pâtes alimentaires, baghrir, makrout, burgul. (Zeghouane *et al.*, 2006).

En Algérie, le blé dur est consommé surtout sous forme de pâtes alimentaires et de couscous mais une part non négligeable est utilisée par les ménages pour la préparation de pain sous forme de galette, seul ou en mélange avec le blé tendre (Namoune et kezeih, 2000).

L'utilisation de blé dur dans la production du pain industriel (moderne) ne cesse d'augmenter dans beaucoup de régions méditerranéennes, ceci est due aux habitudes alimentaires de ces régions mais aussi à la bonne qualité du pain de blé dur (Palumbo *et al.*, 2000). Le pain du blé dur se caractérise par une couleur jaune, un goût et une saveur agréables, une structure fine et uniforme et ne rassis pas rapidement en plus, il présente moins de problème de toxicité par le gluten pour les personnes qui ne le tolèrent pas (Sissons, 2008).

En Algérie, la fabrication du pain de blé dur au niveau familial est une tradition notamment en milieu rural et son développement en milieu urbain devrait conduire à fournir un produit de qualité régulière, satisfaisant les consommateurs.

Mais l'évolution de la boulangerie et notamment la mécanisation de plus en plus poussée des techniques de panification nécessite une matière première de force boulangère élevée. Aussi, le choix de la matière première apparaît déterminant pour la fabrication d'un beau et bon pain.

C'est dans ce contexte que s'insère notre travail qui consiste à étudier l'aptitude à la panification de quelques variétés de blé dur cultivées en Algérie. Pour cela, nous nous proposons de :

- Déterminer les caractéristiques physiques des grains de blé dur des différentes variétés (Poids de mille grains, mitadinage, et moucheture) ;
- Réaliser la mouture d'essai et déterminer le taux d'extraction et la granulométrie des semoules produites;
- Déterminer les caractéristiques chimiques (Taux d'humidité, taux de cendre, taux d'azote) des semoules obtenues;
- Déterminer les caractéristiques technologiques (SDS, gluten et indice de chute) des différentes semoules obtenues;
- Déterminer les caractéristiques rhéologiques (Mixographe, Alvéographe et farinographe) ;
- Réaliser un test de panification.

Synthèse bibliographique

I.- Blé dur

1.- Généralités

1.1.- Classification et origine de blé dur

Le blé est une Monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la Famille des *Poaceae*. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) mais il existe de nombreuses autres espèces qui se différencient par leur degré de ploïdie. Le blé dur est une espèce tétraploïde, il ne contient que deux génomes AA et BB et 28 chromosomes (Giuseppe et Lintas, 1988 ; Cook *et al.*, 1993 ; Feillet, 2000).

Le centre d'origine géographique du blé dur est le Moyen-Orient, mais il s'est différencié dans trois centres secondaires : l'ouest du bassin méditerranéen, le sud de la Russie et le Proche-Orient (Grigniac, 1977). Toutefois, l'Algérie a été considérée comme centre de diversification secondaire du blé dur (Erroux, 1974). L'espèce *durum* se subdivise en trois sous espèces qui sont *europeum*, *syriacum* et *méditerranéum* (Grigniac, 1977).

1.2.- Description botanique du blé dur

Le blé dur est une plante annuelle et autogame, constitué d'un appareil végétatif herbacé qui comprend un système racinaire formé de racines séminales produites par la plantule durant la levée et des racines adventives qui se forment plus tard à partir des nœuds à la base de la plante constituant ainsi le système racinaire permanent (ACIA, 2006) et une tige creuse ou chaume dont les entre-nœuds ne se sont allongés qu'à la montaison et portant des feuilles alternes et distiques et composées de quatre parties : gaine, limbe à nervures parallèles, stipules et ligules (Soltner, 2005).

L'inflorescence est un épi composé d'un rachis sur lequel sont insérés les épillets. Chaque épillet est une petite grappe d'une à cinq fleurs dont trois à quatre sont fertiles enveloppées chacune par deux glumelles (supérieure et inférieure) et comportant typiquement trois étamines et un ovaire à un seul carpelle (Boulal *et al.*, 2007).

Le fruit est un caryopse nu ou fruit sec indéhiscent dont les parois sont soudées à celles de la graine (Kent et Evers, 1994 ; Soltner, 2005).

2.- Composition histologique, chimique et protéique du grain de blé dur

2.1.- Composition histologique

Un grain de blé est formé de trois régions (Feillet, 2000) :

L'albumen, (80 à 85% du grain) 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 celluloses sont peu visibles.
- La couche à aleurone.

Les enveloppes de la graine et du fruit (13 à 17%), formées de six tissus différents : épiderme du nucelle, tégument séminal ou testa (enveloppe de la graine), cellules tubulaires, cellules croisées, mésocarpe et péricarpe.

Le germe (3%), composé d'un embryon (lui-même formé du coléoptile, de la gemmule, de la radicule, du coléorizhe et de la coiffe) et du scutellum.

2.2.- Composition chimique

Le grain est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15%, selon les variétés et les conditions de culture) et de pentosanes (8 à 10%) ; les autres constituants, pondéralement mineurs (quelques % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (**tableau 1**) (Feillet, 2000).

Tableau 01: Composition chimique du grain de blé

Nature des composants	Teneur (% MS)
Protéines	10- 15
Amidon	67- 71
Pentosanes	8-10
Celluloses	2- 4
Sucres libres	2- 3
Lipides	2-3
Matières minérales	1,5- 2,5

Feillet, 2000.

2.3.- Composition protéique

Les protéines du blé sont classiquement réparties en quatre classes en fonction de leur solubilité (Feillet, 2000):

Les albumines, solubles dans l'eau.

Les globulines, solubles dans les solutions salines neutres, souvent regroupées sous le terme de protéines solubles, d'albumines-globulines ou de protéines cytoplasmiques ou métaboliques.

Les gliadines, solubles dans les alcools dilués (éthanol 70%).

Les gluténines, protéines résiduelles insolubles dans les solvants précédents, partiellement solubles dans les solutions acides diluées et dans l'urée, et solubilisées en présence de détergeant (Sodium Dodésyl Sulfate) et de réducteurs (mércapto-éthanol).

Les gliadines et les gluténines, principaux constituants du gluten, constituent les protéines de réserve dans lesquelles la jeune plantule puisera les acides aminés dont elle a besoin au moment de la germination du grain.

3.- Qualité technologique du blé dur

On regroupe sous le terme de « qualité » ou de « valeur industrielle », ou encore de « valeur technologique » l'ensemble des caractéristiques du blé dur dont dépendent :

D'une part, le rendement en semoule d'une pureté déterminée, c'est-à-dire le poids de semoules fabriquées rapporté au poids de blé mis en œuvre. On parle alors de valeur semoulière du blé dur.

D'autre part, l'aptitude des semoules à être transformées en pâtes alimentaires dont l'aspect et la qualité culinaire répondent aux désirs des consommateurs. On parle alors de valeur pastière (Abecassis et Chaurand, 1997).

3.1.- Valeur semoulière

Celle-ci dépend en fait de trois groupes de facteurs (Abecassis et Chaurand, 1997, Godon et Loisel, 1997).

- Les facteurs extrinsèques

Ces facteurs sont très liés aux conditions de cultures et de récolte. Leur influence sur la valeur semoulière est évidente et il en est d'ailleurs régulièrement tenu compte dans les transactions commerciales. Entrent dans cette catégorie :

- **La teneur en eau** du grain que l'on souhaite la plus faible possible ; elle est généralement comprise entre 10 et 16%.
- **Le taux d'impuretés**, le plus souvent égal à 2 ou 3% et qui représente la somme des produits étrangers utilisables (ex : graines d'autres céréales), nuisible (ex : ergo) ou inertes (ex : pierres). Les grains de blé tendre sont considérés comme impuretés jusqu'à 4%, au-delà, le lot n'est plus considéré comme un lot de blé dur sain, loyal et marchand.
- **Le taux et la grosseur des grains cassés** qu'il est parfois impossible de séparer d'autres impuretés au cours du nettoyage.
 - Les facteurs intrinsèques

Ce deuxième groupe de facteurs englobe plusieurs caractéristiques qui dépendent exclusivement de la nature du blé mis en œuvre. Ces paramètres conditionnent la valeur des blés nettoyés à leur arrivée sur le premier broyeur et définissent ainsi leur qualité technologique. Dans cette optique la valeur semoulière dépend :

- **Du rapport albumen/enveloppes** que l'on cherche aussi élevé que possible. Ce rapport dépend de l'épaisseur des enveloppes, de la forme du grain et de son degré d'échaudage. D'une manière générale, on considère que la proportion d'enveloppes et d'autant plus grande que le poids du grain est petit. L'accroissement du rendement en sons au détriment de celui de la semoule devient vraiment significatif que lorsque le poids du grain devient très faible, inférieur à 30mg de matière sèche. Au-delà de ce seuil d'autres facteurs deviendraient prépondérants, notamment la densité de l'amande qui dépend des conditions de remplissage et de dessiccation des grains en relation avec leur degré d'échaudage.
- **De la friabilité de l'albumen** qui détermine les rendements relatifs en semoule et farine. Plus l'amande est vitreuse et dure, moins elle aura tendance à se réduire en farine, alors qu'un grain fortement mitadiné dont l'amande est farineuse et friable, aura tendance à se désagréger en produits très fins au détriment du rendement en semoules. L'influence défavorable exercée par le mitadinage sur le rendement en semoule n'est guère discutée, son incidence réelle à néanmoins tendance à

s'estomper avec l'évolution de la semoulerie vers la fabrication de produits de plus en plus fins.

- **De la facilité de séparation de l'albumen et des enveloppes** qui traduit la difficulté rencontrée par le semoulier pour « épuiser » convenablement les sons. Une liaison trop intime entre l'albumen et les couches périphériques du grain aura pour effet de diminuer le rendement semoulier – à qualité de semoule identique– ou d'augmenter la présence de piqûres dans les semoules – à rendement semoulier égal– il s'agit ici d'un grave défaut que seule la mouture d'essai permet d'apprécier.
 - Les facteurs réglementaires

Le dernier facteur de la valeur semoulière est essentiellement réglementaire, il s'agit de la richesse en matière minérales. Compte tenu de ce que l'albumen amylicé est beaucoup moins minéralisé que les enveloppes et la couche à aleurone, il est communément admis qu'il est possible de déterminer la pureté et le taux d'extraction des semoules en mesurant leur teneur en matières minérales.

Plus le taux de cendres d'un produit sera faible et plus ce produit sera considéré comme pur du point de vue réglementaire. Si cette conclusion peut être considérée comme globalement exacte, il n'en demeure pas moins que la seule connaissance du taux de cendres ne permet pas de chiffrer de manière précise la pureté du produit correspondant. Il faudrait, en effet, pour cela que tous les blés aient la même teneur en cendres et que la répartition des matières minérales à l'intérieur des grains soit toujours la même, ce qui est loin d'être le cas. Par ailleurs, comme l'albumen du blé dur contient environ 50% de la totalité des matières minérales du grain alors que celui du blé tendre n'en contient que 25%, le taux de cendres des semoules va dépendre pour une grande part de la teneur en matière minérale du grain (Abecassis et Feillet, 1985).

Ce n'est donc que du point de vue légal que le problème prend de l'importance et il serait évidemment utile de disposer d'une nouvelle méthode de caractérisation de la pureté des produits de mouture.

3.2.- Valeur pastière

Sous le terme de la valeur pastière peuvent être regroupées deux notions très distinctes : d'une part, l'aptitude des semoules à être transformées en pâtes alimentaires (facilité de malaxage, de tréfilage, de séchage) ; d'autre part, la qualité des produits finis. Le premier aspect ne doit pas être mésestimé, mais on manque de données objectives quant à la différence de comportement des blés à ce niveau, nous nous limiterons donc à examiner ici le deuxième point (Abecassis et Chaurand, 1997) qui dépend de :

- **Aspect des pâtes alimentaires à l'état cru** : Directement perceptible qui influence souvent l'achat en dehors des considérations du prix. Il est influencé par les paramètres suivants :
 - Gerçure : constitue un grave accident de fabrication de la pâte, dû à un séchage défectueux.
 - La texture superficielle des pâtes : dépend surtout de la nature des moules utilisés.
 - Les piqûres : proviennent soit de mauvaises conditions d'hydratation de la pâte (piqûres blanches) soit de particules de sons non éliminées au cours de la mouture (piqûre brunes). La moucheture constitue un handicap sérieux qui déprécie fortement l'aspect des produits finis.

- La coloration : une pâte alimentaire doit être claire et de couleur jaune-amburé, la couleur jaune dépend de la teneur en pigments caroténoïdes de la semoule, et des enzymes (lipoxygénase) qui peuvent détruire ces pigments au cours de la pastification.
- La clarté est fonction d'une autre catégorie d'enzymes, les peroxydases et les poluphénol oxydases. La coloration peut être améliorée d'abord par la sélection de nouvelles variétés, et corrigée éventuellement en jouant au niveau de la mouture, ou au niveau du séchage des pâtes.

· **Qualité culinaire des pâtes alimentaires** : Elle se manifeste lors de la cuisson, ces critères sont sous la dépendance de facteurs diverses agronomiques et/ou technologiques. Il s'agit de :

- Temps minimal, optimal et maximal de cuisson, qui correspondent respectivement au temps à partir duquel l'amidon est gélatinisé, au temps nécessaire pour donner à la pâte la texture recherchée et au temps au-delà duquel les produits se désintègrent dans l'eau de cuisson.
- L'absorption d'eau (ou le gonflement) pendant la cuisson, caractéristique aisément mesurée en déterminant le poids des pâtes avant et après cuisson, d'une manière générale 100g de pâtes sèches fixent 160-180g d'eau.
- La texture des produits cuits rend compte de la fermeté et de la masticabilité des pâtes après cuisson, qu'on peut déterminer par des mesures à caractères rhéologiques : fermeté et viscoélasticité.
- L'état de surface ou de désintégration des produits cuits dont dépend le degré d'adhésion des brins entre eux (notion de collant) et l'aspect plus ou moins lisse des produits cuits (notion de délitescence).
- L'arôme et le goût (Abecassis et Chaurand, 1997).

3.3.- Mouture du blé dur

La mouture est l'opération centrale de la transformation des blés en farines et en semoules (Feillet, 2000). Elle a pour objectif d'isoler l'albumen amylicé sans contamination par les parties périphériques du grain (Abecassis, 1991). Elle génère trois grandes classes de produits (Sassi, 2007) :

- Des produits nobles : la semoule de large usage ;
- Des semoules spécifiques : semoules supérieures fines SSSF ou semoules supérieures extra SSSE ;
- Des sous produits : issus et déchets.

Le procédé de mouture de blé dur implique plusieurs opérations qui sont :

- Nettoyage

Les grains de blé doivent être débarrassés de toutes leurs impuretés avant d'être envoyés sur le premier broyeur : graines étrangères, graines d'autres céréales, pailles, pierres, pièces métalliques, déchets d'animaux (rongeurs, insectes). Il est également souhaitable d'éliminer les blés mal venues (grains échaudés, ergotés et fusariés) dont la présence pourrait nuire à la qualité.

La décontamination microbiologique de la surface des grains, y compris celles des enveloppes enfouis au sein du sillon, est un autre objectif parfois recherché. L'ensemble de ces opérations doit éviter de blesser ou de casser les grains. Le nettoyage de blé dur doit être effectué avec un soin tout particulier sous peine de voir apparaître des piqûres colorées dans les semoules, très préjudiciables à la qualité des pâtes alimentaires (Feillet, 2000).

- Conditionnement

Il consiste à apporter la quantité d'eau nécessaire pour atteindre la teneur en eau souhaitée, de brasser énergétiquement le blé et de le laisser au repos le temps voulu pour la migration correcte de l'eau à l'intérieur des grains (Godon et Bérot, 1991). Le conditionnement crée un gradient de teneur en eau entre la périphérie et le centre du grain ce qui permet d'assouplir les enveloppes afin d'éviter leur fragmentation, de faciliter leur séparation, de leur permettre de ne pas être pulvérisées lors des opérations ultérieures de broyage et de réduire la dureté de l'albumen pour favoriser sa réduction en semoule sans endommager les granules d'amidon (Feillet, 2000 ; Abecassis et al, 2010).

La quantité d'eau à ajouter est fonction de l'humidité initiale du blé, de l'humidité finale et de la masse de blé à mouiller (Godon et Bérot, 1991).

En pratique, l'addition de l'eau est réalisée en deux fois, chaque mouillage est suivi d'une période de repos. La teneur en eau des grains au premier broyeur est le plus souvent égale à 17% (Godon et Willm, 1998).

- Broyage

C'est une opération destinée à réduire la dimension des grains par la mise en jeu d'énergie mécanique (Berot et Godon, 1991). Le broyage des grains est conduit de manière progressive, de telle sorte que les enveloppes du grain soient les moins brisées possible (Calvel, 1980).

En général, le broyage comporte quatre à cinq passages entre les cylindres cannelés. La taille des cannelures et le serrage entre les cylindres diminueront du premier broyeur au cinquième broyeur (Feillet, 2000).

- Blutage

Le tamisage ou blutage, permet de séparer les produits en provenance des cylindres lisses et des cylindres cannelés en fonction de leur granulométrie. L'opération est réalisée dans des plansichters, appareils formés d'un assemblage de tamis superposés et soumis à un mouvement rotatif et de va-et-vient permanent sous l'action d'un moteur excentrique (Feillet, 2000).

- Sassage

Le sassage est une opération déterminante de la mouture du blé dur (Godon et Willm, 1998). Il assure la séparation des produits de mouture : les produits sont maintenus en suspension par un courant d'air ascendant au-dessus de tamis dont la largeur de maille diminue au fur et à mesure de la progression des produits, celle-ci étant assurée par l'inclinaison et le mouvement de va-et-vient des tamis. La ségrégation des produits repose sur leurs différences de densité et de propriétés aérodynamiques. Les particules d'albumen amylicé, plus denses ($d=1,4$) que celles des enveloppes ($d=1,2$), retombent plus rapidement sur les tamis et sont extraites en premier.

En semoulerie, la mouture est organisée autour des sasseurs dont sont isolées, in fine, les semoules purifiées. Compte tenu de la granulométrie de ces dernières, il n'est en effet pas possible de les séparer des enveloppes du grain par un simple tamisage (Feillet, 2000).

4.- Semoule de blé dur

La semoule est un produit granulé issu de la mouture industrielle des grains de blé industriellement purs et nettoyés. Elle est constituée par des fragments de l'amande du grain dont la taille granulométrique est supérieure à 150µm (Abecassis et al., 2010).

Les semoules sont de trois types : grosses, moyennes et fines, mais la fourchette granulométrique de chaque classe diffère en fonction des pays et de la destination. Selon Jeantet et al. (2007) les semoules sont classées en fonction de la granulométrie comme suit (**Tableau 02**) .

Tableau 02: Classification des semoules

Classes	Ouverture du tamis (µm)
Grosses semoules	>530
Moyennes semoules	250 à 530
Fines semoules	140 à 250
Farines	<140

Jeantet et al., 2007.

En Algérie, les différentes semoules les plus consommées sont les suivantes (Benbelkacem et al., 1995):

- Semoule SE : appelée aussi semoule extra, ses particules sont fines, elle représente une granulométrie dans le refus au tamis 120 est de 90%. Cette semoule est orientée vers la fabrication des pâtes alimentaires industrielles.
- Semoule SGM : appelée semoule grosse moyenne, elle présente un refus au tamis 100 de 90%. Cette semoule est généralement vendue en l'état pour l'utilisation ménagère (couscous, galette, biscuits, crêpes, etc.) et pour la fabrication du couscous industriel de type moyen.
- Semoule SG : La semoule grosse doit avoir un refus de 50% au tamis 30 et 40. Cette semoule est destinée essentiellement à la fabrication du couscous type gros.

II.- Panification

1 - Définition

La panification est l'ensemble des transformations physiques, de réactions chimiques et d'activités biologiques complexes se produisant au sein d'un mélange de farine, d'eau, de sel, de levure et parfois de quelques autres ingrédients (acide ascorbique, farine de fève, enzyme exogènes, émulsifiants...) sous l'action d'un apport contrôlé d'énergie mécanique et thermique (Feillet, 2000).

La formulation diffère avec les types de pains ; le pain traditionnel est un mélange de quatre ingrédients de base : farine, eau, levure (ou levain) et sel, il est exempt de sucre, de lait et de matière grasses. Le **tableau 03** montre la diversité des pains, sachant que du pain traditionnel au pain brioché toutes les compositions intermédiaires de recettes sont possibles et que, pour une diversification encore plus large, peuvent intervenir les différents modes de fermentation, de façonnage et de cuisson (Guinet et Godon, 1994).

2 - Principe

La panification du blé est unique parmi les céréales du fait que ses protéines ont des propriétés capables de former avec l'eau et d'autres ingrédients essentiels, des pâtes capables de retenir du gaz et acquérir par cuisson au four, une consistance spongieuse à mie bien développée de volume et de bonne qualité sensorielle (Larpent, 1992).

La base de la panification c'est le gluten, qui après hydratation de la farine et ajout des agents de fermentation, forme un réseau viscoélastique qui retient le CO₂ obtenu lors de la fermentation des sucres libres sous l'action des levures (Godon, 1981).

	Pain traditionnel	Pain viennois	Pain au lait	Pain de mie	Pain brioché	Observations
Farine	100	100	100	100	100	Le type de farine est choisi sur des critères de couleur de mie. La force est déterminée selon la richesse de la recette.
Eau	60	50 à 55	-	45 à 50	35 à 45	Selon la force de la farine et le pourcentage d'autres ingrédients
Sel	1,8 à 2,2	1,5 à 1,8	1,8 à 2	1,5 à 2	1,5 à 1,8	Selon la méthode de pétrissage, la quantité d'eau ajoutée et l'influence d'autres ingrédients.
Levure	1 à 2	3 à 5	2 à 5	2 à 6	2 à 6	Varie nécessairement avec la durée de fermentation
Sucre	-	4 à 8	2 à 5	0,5 à 5	5 à 10	Généralement saccharose mais également glucose, malt...
Lait	-					Plus souvent en poudre non grasse. En liquide pour certains produits spécifiques.
Matière grasse	-	5 à 15	5 à 10	0,5 à 10	10 à 20	Graisse végétale dans La plupart des recettes. Quelquefois du beurre. Quantités variable selon destination du pain et conservation (moelleux)
Oeufs (liquides, en poids)	-	-	facultatif	-	10 à 20	Entiers liquides ou reconstitués.
Améliorants	Facultatif	QSP	QSP	QSP	QSP	De plus en plus utilisés dans le pain courant : la liste de produits autorisés est très limitée. Elle est plus large pour les autres types de pains.

Tableau 04 : Différents type de pain (pour 100g de farine).

(Guinet et Godon 1994).

3 - Etapes de la panification

La fabrication du pain dure environ cinq heures (Feillet, 2000). Les étapes de la panification sont constituées d'opérations « actives » (pétrissage, mise en forme), entre-coupées de phases « passives » (repos + fermentation, cuisson, ressuyage) (Guinet et Godon 1994).

3.1.- Pétrissage

C'est la première étape de la fabrication du pain. Il permet le mélange des ingrédients (farine, eau, sel et levure) et assure la confection de la pâte avec laquelle on obtient le pain (Roussel, et Bartolucci., 1997).

Le pétrissage joue un double rôle, la formation d'un produit viscoélastique et l'incorporation au sein de la pâte de microalvéoles d'air dont les parois acquièrent une certaine imperméabilité au gaz (Grandvoinet et Praty, 1994).

Il se forme dans la pâte un réseau de protéines et de glycolipides autour des granules d'amidon dû aux interactions existantes entre les protéines et l'amidon d'une part, ainsi qu'entre les protéines, l'amidon et les lipides d'autres part. Un tel réseau déformable est responsable des principales propriétés physiques de la pâte boulangère : l'extensibilité l'élasticité permettant la rétention du CO₂ et la formation d'une structure spongieuse accompagnée d'une forte rétention d'eau responsable de la tendreté après cuisson.

Le pétrissage s'achève lorsque la pâte se détache des parois de la cuve du pétrin ; elle devient lisse, sèche et élastique (Larpen, 1992).

3.2.- Pointage (fermentation en masse)

C'est la première fermentation qui se situe entre la fin du pétrissage et l'opération de façonnage, elle se déroule à une température de 25°C ; En pratique, la fermentation commence dès que la levure est au contact de la farine et de l'eau et se poursuit jusqu'aux premières minutes de cuisson (Bourgeois et Larpen, 1992).

La fermentation assure deux fonctions principales : la levée de la pâte sous l'effet de la formation du gaz carbonique et la synthèse d'acides organiques et des substances volatiles qui vont participer à l'élaboration du goût et de l'arôme du pain ; elle contribue également à l'achèvement du développement du réseau protéique qui s'est formé au cours du pétrissage (Feillet, 2000).

C'est le glucose, substrat de la fermentation, qui est transformé en éthanol et en gaz carbonique par la levure.

Ce substrat est en majeure partie produit par attaque enzymatique des granules d'amidon endommagés. La production de CO₂ commence lentement puis s'accélère, cette formation graduelle de gaz est souhaitable du moment qu'une augmentation plus rapide de volume de la pâte provoquerait la rupture (Alais et Linden, 1994).

3.3.- Mise en forme

Cette partie de la panification comprend plusieurs opérations qui suivent immédiatement le pétrissage et le pointage. Il s'agit des opérations suivantes :

- Division :

C'est une opération qui consiste à découper la pâte en pâtons appropriés grâce à une diviseuse peseuse dotée d'un dispositif de réglage qui permet d'avoir des pâtons de poids identiques (Calvel, 1994). Cette opération mécanique assez brutale, entraîne une perte de souplesse de la pâte, voir même une dégradation de la structure formée au cours du pétrissage. C'est pourquoi, le divisage est suivi d'un boulage qui permet de reconstituer cette structure (Guinet et Godon, 1994).

- **Boulage :**

Il a pour objet de réorienter la structure du tissu glutineux et de reconstituer une consistance cohérente et souple de la pâte pour faciliter les opérations qui suivent et redonner au pâton la rétention gazeuse affectée durant les opérations précédentes. En effet, le boulage permet de former une pellicule autour du pâton à l'aide d'une bouleuse afin de réduire au maximum la diffusion du gaz. A la fin de cette étape, le pâton aura une forme arrondie qui se prête mieux aux manipulations ultérieures (Feillet, 1994).

- **Détente :**

A la sortie de la bouleuse, la pâte manque de « vie » dans la mesure où sa microstructure affectée par la diviseuse n'a pas été complètement reconstituée. Cette période de repos d'une durée de 8 à 12 minutes est suffisante pour rendre à la pâte sa texture flexible et maniable, nécessaire au façonnage (Guinet et Godon, 1994).

- **Façonnage ou « tourne » :**

Le façonnage est une opération d'allongement du pâton pour arriver à la forme souhaitée, il peut être manuel ou mécanique (Roussel et Bartolucci, 1997). En plus, il permet de corriger certains défauts provenant de perturbations technologiques révélées au cours des opérations précédentes tel que : l'excès ou le manque de force. Il rend également la pâte plus malléable en créant stabilité et élasticité et en diminuant la perte de gaz (Calvel, 1994).

3.4.- Apprêt

après la mise en forme, les pâtons subissent une deuxième fermentation durant laquelle la levure continue à jouer son rôle d'agent de levée de la pâte, en libérant du dioxyde de carbone, de l'alcool et des acides organiques (Grandvoinet et Praty, 1994). Le volume du pain triple pendant cette étape. Le gaz carbonique est emprisonné dans le réseau élastique du gluten.

Il diffuse dans la multitude des niches d'air qui ont été incorporés et dispersés au cours du pétrissage (Roussel et Bartolucci, 1997).

3.5.- Cuisson

la cuisson se fait à une température de 250°C, durant 20 à 30 minutes, dans un four dont l'atmosphère est saturée de vapeur d'eau « buée ». Durant cette étape, il se produit les transformations suivantes :

Avant 60°C, le volume des pâtons fermentés augmente dans le four par action combinée de plusieurs phénomènes :

- Le gaz carbonique se dilate ;
- Une partie de l'eau et de l'alcool (obtenue lors de fermentation) se vaporise à l'intérieur de la pâte ;

- L'activité des levures augmente (production accélérée de CO₂) ;
- Les levures meurent vers 60°C.

A partir de 70°C, les protéines du gluten sont dénaturées et coagulent. Cela fixe la structure spongieuse de la mie (Alais et Linden, 1994).

Vers 90-100°C, il y a formation de la croûte par dessiccation. Il n'y a pas de possibilité de transfert d'eau vers l'extérieur, la mie reste donc hydraté (Bourdeau et Gregoire, 1992).

Lorsque la température de la croûte atteint 170 à 250°C, la réaction de Maillard et la caramélisation ont lieu, ce qui donne la coloration de la croûte accompagnée de la formation de composés odorants (maltol en particulier) (Alais et Linden, 1994).

Au cours de la cuisson, l'amidon se modifie vers 70°C. Sa structure granulaire (semi cristalline) passe à l'état amorphe, il devient plus hydrophile. La beta amylase est inactivée vers 75°C. Cependant, l'alpha amylase est thermorésistante, son activité disparaît vers 85°C (Bourdeau et Gregoire, 1992).

3.6.- Défournement et ressuyage

le ressuyage est la période comprise entre la sortie des pains du four et leur complet refroidissement. Il faut éviter qu'une déshydratation ne se produise lors du refroidissement car elle provoquerait un durcissement de la mie et un ramollissement de la croûte, du fait d'un transfert d'eau de la mie vers la croûte. En moyenne la quantité d'eau perdue par le pain est de l'ordre de 1 à 2 % (3% dans le cas extrême) (Dubois, 1994).

La teneur en eau du pain, généralement comprise entre 25 et 40%, est d'autant plus élevée que le pain est volumineux et en forme de miche, que le rapport croûte/mie est faible (inférieur ou égal à 0,3), que le boulanger utilise une farine de force dont le taux d'extraction est élevé, que la pâte est fortement hydratée, que la cuisson est faite à four doux pendant le minimum de temps et que le ressuyage après cuisson est limité (Feillet, 2000).

3.7.- Rassisement

après le ressuyage, le pain reste frais pendant une période de temps variable, puis vient le rassisement. Ce phénomène est le résultat de modifications physico-chimiques complexes (Dubois, 1994). Généralement, l'amidon cède de l'eau au gluten (quoique dans certains cas, la cession se fait dans l'autre sens).

L'amidon évolue alors de l'état amorphe à un état cristallin. Cette cristallisation de l'amidon est appelée : la rétrogradation, elle est irréversible sauf si le pain rassis est réchauffé au four à une température de 70°C. Cependant, cet attendrissement n'est que temporaire ; le chauffage provoque en effet une déshydratation qui faciliterait la recristallisation de l'amidon (Calvel, 1980).

4 - Panification du blé dur

4.1.- Historique

Dans la région méditerranéenne, le blé dur est principalement utilisé dans la fabrication du pain fait maison. Les femmes au foyer préparent le pain pour leurs familles peu de temps après minuit, elles font un monticule avec de la farine et ajoutent l'eau, la levure, et le sel

au centre. La levure utilisée est une levure traditionnelle faite en gardant une partie de la pâte de la veille.

La pâte est mélangée avec des gestes précis et vigoureux. Quand la pâte est homogène et lisse, elle est couverte de tissu blanc ou de laine mince et laissée pour se reposer quelques heures (3 heures en hiver) pour se lever. Après cela, la pâte est divisée. Le pain est alors mis sur des planches en bois et couvert avec un tissu. Vers 4 ou 6 a.m., selon la saison, le pain est prêt pour le mettre en four.

Le pain de blé dur prend différents noms selon sa forme, le secteur de la production et le type de fabrication du pain (Quaglia, 1988).

4.2 - Caractéristiques de la panification du blé dur

Plusieurs caractéristiques définissent la qualité de la farine pour la fabrication du pain et différencient la farine du blé dur de celle du blé tendre. On a principalement : la dimension des particules et la teneur en amidon endommagé; l'absorption de l'eau; la qualité des protéines et du gluten ; la stabilité de la pâte ; l'activité et le contenu amylolytique et la teneur en maltose (Quaglia, 1988).

4.2.1.- Dimension des particules et teneur en amidon endommagé

La farine de blé dur utilisée dans la fabrication du pain peut être obtenue par la mouture des grains de blé dur ou le broyage de la semoule de blé dur. Le taux de cendre de la farine entière après broyage peut arriver jusqu'à 1,35-1,60%. Après des opérations de purification successives le taux de cendre obtenu est de 0,9-1,2%. Les farines de blé dur avec un rendement de 75% ont une teneur en cendres supérieure à 0.9% (Quaglia, 1988).

La farine entière est souvent utilisée dans la fabrication du pain de blé dur, mais sa teneur élevée en cendres peut poser des problèmes pendant le processus de fabrication. Ces problèmes peuvent être partiellement surmontés en remplaçant 15-20% de la farine de blé dur par celle du blé tendre. Néanmoins, un tel mélange raccourcit la durée de conservation qui caractérise le pain de blé dur (Quaglia, 1988).

La mouture peut augmenter le taux de l'amidon endommagé et affecter de ce fait les caractéristiques de la farine. Bien que des dommages modérés d'amidon puissent être bénéfiques, des dommages excessifs sont indésirables.

La taille des granules de farine peut jouer un rôle dans la qualité du produit fini. Une farine très fine peut contenir plus d'amidon endommagé. L'amidon endommagé absorbe plus d'eau que l'amidon endogène. La granulométrie devrait s'étendre de 120 à 190µm.

L'utilisation de la farine broyée trop finement, avec une grande quantité d'amidon endommagé, peut mener à un volume plus bas du pain, une mie humide et pas assez cuite, et une couleur foncée de la croûte (Quaglia, 1988).

4.2.2.- Absorption de l'eau

L'absorption de l'eau de la farine de blé dur est beaucoup plus élevée que celle de la farine de blé tendre; en outre, la farine de blé dur a une absorption très lente. La quantité d'eau requise pour atteindre la consistance optimale de la pâte ainsi que la vitesse d'absorption, nécessite un temps de pétrissage qui diffère de celle de blé tendre. Ces différentes caractéristiques limitent également la possibilité d'obtenir des pâtes des mélanges de blé dur et de blé tendre parce que la pâte contiendra de la farine pas complètement hydratée et/ou de la farine qui a déjà atteint le stade rhéologique optimal.

Le comportement d'hydratation des farines affecte également le produit fini. La farine de blé dur a une capacité de liaison d'eau plus élevée que celle du blé tendre, ce qui explique une altération plus lente et une durée de conservation par conséquent plus longue du pain de blé dur. La capacité de liaison d'eau est apparemment liée à la teneur en protéines. Ce rapport, cependant, n'est pas linéaire.

La nature des autres composants de la farine, la qualité et la quantité des protéines, et l'amidon endommagé influencent également la capacité de liaisons d'eau. (Luraschi, 1955 *in* Giuseppe et Lintas, 1988).

4.2.3.- Protéines et qualité du gluten

La farine de blé dur est caractérisée en général par une teneur relativement plus élevée en protéines et en gluten que la farine de blé tendre. La qualité de fabrication du pain et la valeur nutritive du produit fini sont habituellement corrélées avec la teneur en protéines. Pour que la farine de blé dur convienne à la fabrication du pain, sa teneur en protéines devrait être plus élevée que 13%.

Les gliadines et les gluténines ont été caractérisées par électrophorèse. En particulier, il y a un rapport entre la qualité de blé dur et certaines bandes électrophorétiques des gliadines. La présence de la bande 42-gliadine indique un gluten de faible qualité.

La qualité du gluten peut être facilement évaluée par la méthode de Berliner basée sur l'activité protéolytique d'une solution standard d'acide lactique sur le gluten pré-extrait.

L'alvéographe Chopin offre une autre méthode pour évaluer la qualité de la farine de blé dur. Les alvéogrammes des farines de blé dur indiquent une ténacité très élevée (ρ) et une élasticité faible (L). En conséquence, le rapport de P/L est plus de 1,5 et le travail correspondant à la déformation de l'échantillon de la pâte (w) est environ 200.

Tous ces résultats analytiques prouvent que le gluten de la farine de blé dur semble être très tenace et pas très élastique (Quaglia, 1988).

4.2.4.- Stabilité de la pâte

La stabilité de la pâte est importante parce que quand la pâte atteint le degré de fermentation optimale, elle peut demeurer sans changement pour un certain temps ou s'effondrer et passer à son état critique de fermentation. En particulier quand des temps de travail importants sont exigés, une farine avec une tolérance élevée de fermentation est préférée.

Le degré de tolérance d'une farine peut être jugé par le degré de se ramollir qui est obtenu à partir de l'analyse farinographique et qui peut être augmenté en mélangeant des farines de blé dur et de blé tendre ou par l'utilisation des améliorants.

En raison de son contenu plus élevé de gluten et de sa ténacité, les farines de blé dur ont une tolérance élevée de fermentation (Quaglia, 1988).

4.2.5.- Activité amylolytique et teneur en maltose

Une étude entreprise sur des farines des variétés de blé dur italien par Boggini (1985) a montré que l'indice de chute s'étend entre 526 et 264 sec. Ce sont des valeurs très élevées typiques des blés cultivés dans des conditions sèches et chaudes qui explique la basse activité amylolytique. Mélanger de telles farines avec des farines d'une activité amylolytique plus élevée ou ajouter le saccharose ou le maltose peut corriger ce problème, mais donnent un pain lourd, peu développé et dur.

4.3.- Couleur du pain de blé dur

Pour le blé dur, la couleur jaune représente, avec le goût et la durée de conservation, l'indice fondamental de la qualité. Une telle couleur est fournie par les pigments caroténoïdes présents dans le blé dur et par conséquent dans sa farine. Ces pigments donnent aux produits finis la couleur jaune préférée par les consommateurs, déterminante pour sa valeur marchande.

Bien que les propriétés rhéologiques de la pâte et les caractéristiques organoleptiques du pain soient indépendantes de la teneur en pigments de la farine, la couleur et la durée de conservation sont les propriétés les plus importantes qui déterminent la valeur marchande du pain de blé dur.

Le degré de la couleur jaune dépend principalement de la teneur en pigment, il est également influencé par le diagramme de mouture, le taux d'extraction, et peut être aussi des colorants dérivés des impuretés du grain de blé dur (Quaglia, 1988).

Le blé dur contient une douzaine de pigments. Le pigment le mieux connu est le carotène, qui représente 1% de la totalité des pigments. La lutéine et ses esters sont les plus abondants: la lutéine libre représente environ 84.8%, la lutéine mono-ester 9.8%, et la lutéine diester 5.3%. Les pigments restants sont très mineurs (Lepage and Sims, 1968 in. Quaglia, 1988).

Les pigments du blé varient avec la variété. Une concentration entre 5,50 et 8.42ppm, du β -carotène, a été obtenue à partir de 10.608 échantillons de blé dur examinés par le laboratoire de recherches de grain dans Winnipeg entre 1972 et 1980 par la Commission Canadienne de Grain. Le blé tendre a une teneur beaucoup plus inférieure en pigments. Les pigments ne sont pas distribués d'une façon homogène au niveau du grain de blé: l'amande contient 1.96 ppm; le son 2,20 ppm; l'embryon 4.13 ppm; et l'endosperme 1.96 ppm. Pendant la mouture, de grandes quantités de pigments caroténoïdes sont perdues et peuvent se retrouver dans les sous-produits de mouture (Quaglia, 1988).

Plusieurs facteurs régissent la concentration des pigments de blé, y compris la variété (caractéristiques variétales héréditaires, principalement le nombre de chromosomes) la composition du sol, le type d'engrais.

Après moisson, la teneur en pigments du blé tend à diminuer et dépend du temps d'entreposage avant la mouture, l'humidité, la température, et la ventilation pendant le stockage. Ce procédé lent de maturation du blé, qui implique également une décoloration causée par oxydation des pigments, est nécessaire pour la farine de blé tendre destinée à la fabrication du pain mais préjudiciable à la farine de blé dur.

La couleur jaune de la farine de blé dur est partiellement perdue pendant le pétrissage de la pâte en raison d'un processus complexe d'oxydation des caroténoïdes. Cette réaction est provoquée en partie par l'action d'une enzyme, lipoxydase ou lipoxygénase, qui décomposent les caroténoïdes (Faubion et Hosney, 1981).

L'activité de l'enzyme est influencée par le pH, la température, l'oxygène, et en particulier l'acide linoléique. L'activité des lipoxygénases est principalement située dans le germe et diminue dans l'ordre suivant: germe, son fin, son et farine.

L'oxydation enzymatique semble être liée à l'existence du système "lipoxydase-linoléate" qui, par la formation des peroxydases intermédiaires, cause l'oxydation du carotène et la formation d'epoxy-B-carotène et de trois cétones de polyène conjuguées.

En plus de la teneur en pigments de la farine, la couleur finale du pain est la résultante d'une série de processus physiques, chimiques, et enzymatiques difficile à comprendre et à contrôler (Quaglia, 1988).

Etude expérimentale

I.- Matériels et méthodes

1 - Matériel végétal

L'étude a été réalisée sur 10 variétés de blé dur : Boussellam, Cannizo, Ciccio, Cirta, Colesseo, Gta Dur, Mohamed Ben Bachir, Simeto, Vitron et Wahbi. Toutes les variétés proviennent de la station expérimentale de l'ITGC d'El Khroub à l'exception de Boussellam et Mohamed Ben Bachir qui proviennent de la station expérimentale de Sétif. Les grains sont issus de la récolte de la campagne 2009-2010.

2.- Transformation des grains de blé dur en semoule (mouture d'essai)

2.1.- Nettoyage

Les grains de blé dur ont été débarrassés de toutes leurs impuretés avant mouture (graines étrangères, graines d'autres céréales, enveloppes, pailles, pierres...).

2.2.- Conditionnement

Après nettoyage, le blé a été conditionné pour faciliter la séparation du son et de l'amande et le broyage de celle-ci. Le conditionnement de blé dur consiste en une hydratation ménagée de 17% et un repos de 24 heures.

2.3.- Mouture

La mouture du blé a été réalisée à l'aide d'un moulin de laboratoire CD2, cet appareil est spécialement conçu pour la mouture du blé dur.

Ce moulin est composé de deux parties:

- Une partie «Broyage du grain » constituée de trois cylindres cannelés dont le rôle est de séparer l'enveloppe de l'amande du grain. Ce passage donne deux types de produit, du son et des semoules grossières.
- Une partie « Réduction des semoules » également équipée de trois cylindres cannelés (Plus fins) dont le rôle est de réduire les semoules grossières produites au broyage en grosses semoules, fines semoules et farine.

La séparation des produits de mouture est assurée pour chaque passage par une bluterie centrifuge.

2.4.- Sassage

Le sassage est une opération qui permet la purification des semoules issues de la mouture du blé dur. Le sasseur utilisé est un sasseur de laboratoire qui est un modèle réduit du sasseur industriel.

A la fin de cette opération de sassage, trois types de produits sont récupérés:

- Un produit d'aspiration composé de fines particules de son ;
- Un refus, qui est principalement composé de semoules vêtues ;
- Les semoules pures.

2.5.- Taux d'extraction

C'est le rendement en semoule d'une pureté déterminée, c'est-à-dire le poids de semoule obtenue, rapporté au poids de blé mis en œuvre.

$$TE = (m1 / m2) \times 100$$

m1= quantité de semoule obtenue (ou farine).

m2= quantité de blé mise en œuvre.

3.- Analyse physico-chimiques, technologiques et rhéologiques réalisés sur grain et semoule

3.1 - Analyses physico-chimiques

3.1.1 - Poids de mille grains

Le poids de mille grains a été effectué conformément à la norme NA.730.1991, ISO 520. C'est la masse de 1000 grains entiers exprimés en grammes. Le comptage des grains a été fait à l'aide d'un compteur électrique Numigral.

3.1.2 - Taux de mitadinage

Le taux de mitadinage a été déterminé selon la méthode normalisée AFNOR V03.705.1981, où l'on sépare les grains visuellement farineux (mitadins) même partiellement après les avoir coupés transversalement, rapidement et d'un seul coup à l'aide du farinotome de Pohl. L'analyse est effectuée sur 300 grains. Les résultats sont exprimés en pourcentage de grains analysés.

3.1.3.- Taux de moucheture

L'appréciation de la moucheture est visuelle. Le poids de grains mouchetés a été déterminé dans 20 g de grains propres. Seuls sont considérés comme mouchetés les grains qui présentent à d'autres endroits que le germe des colorations situées entre le brun et le brunâtre.

$$\text{Taux de moucheture \%} = (MGM/20) \times 100$$

MGM est la masse du grain moucheté.

3.1.4. - Taux d'humidité

Le taux d'humidité a été effectué selon la norme NA 1133/1990, ISO 712 utilisée pour les céréales. Il consiste à un étuvage de 5g de grain broyé pendant 2 heures ou 5g de semoule

pendant 1 heure et demi à une température de 130°C. La perte de masse observée est équivalente à la quantité d'eau présente dans l'échantillon.

Les résultats s'expriment en pourcentage de masse du produit :

$$(m_0 - m_1) \times 100 / m_0$$

m₀ est la masse en gramme de la prise d'essai.

m₁ est la masse en gramme de la prise d'essai après séchage.

3.1.5.- Teneur en cendres ou matières minérales

La teneur en cendre est déterminée conformément la norme NA.733.1991.E, ISO 2171. Le principe repose sur l'incinération du produit à analyser dans une atmosphère oxydante à une température de 900°C±25°C, jusqu'à combustion complète de la matière organique.

La teneur en cendre est déterminée par la pesé du résidu. Les résultats sont exprimés en pourcentage de masse rapporté à la matière sèche.

$$\text{Teneur en cendre} = [(m_1 \times 100)/m_0] \times 100/(100-H)$$

m₀ est la masse en gramme, de la prise d'essai,

m₁ est la masse en gramme, du résidu,

H est la teneur en eau, exprimée en pourcentage en masse, de l'échantillon pour essai.

3.1.6.- Teneur en protéines totales

La teneur en protéines est déterminée selon la méthode Kjeldhal de dosage de l'azote total dans les conditions décrites par la norme NA 1158-1990, ISO 1871. Elle consiste en une minéralisation de la matière organique du produit à l'aide d'acide sulfurique à 420°C pendant 2 heures sous hotte aspirante, puis l'alcalinisation des produits de la réaction et enfin distillation de l'ammoniac libéré et dosage.

La teneur en azote (**TA**) est exprimée en pourcentage de la matière sèche, est donnée par la formule suivante :

$$TA = (0,0014 \times V \times 100/m) \times (10/100 - H)$$

Où

V= volume en ml, de la solution d'acide, versé pour titrage moins le volume de la solution acide versé pour le témoin;

m= masse en gramme de la prise d'essai ;

H= teneur en eau exprimée en pourcentage en masse de l'échantillon.

La teneur en protéines du produit (**TP**) est déterminée en pourcentage de la matière sèche, elle se calcule en multipliant la teneur en azote par le coefficient 5,7.

$$TP = TA \times 5.7$$

TA : Teneur en azote.

3.1.7.- Granulométrie (taux d'affleurement)

Le taux d'affleurement est la quantité de semoule refusée par des tamis dont l'ouverture de mailles est choisie en fonction de la finesse du produit considéré. Ce test consiste

à introduire 100g de semoule dans un tamiseur de laboratoire type « Rotachoc », muni d'une série de tamis mobiles, empilés les un sur les autres dont l'ouverture de mailles est décroissante.

Les tamis utilisés ont des ouvertures de maille de 500 μ m, 350 μ m, 250 μ m, 212 μ m et 180 μ m, ils sont entraînés par un mouvement circulaire uniforme pendant 5 minutes. On pèse le refus de chaque tamis et on calcule la granulométrie médiane D50 et de dispersion D84, ainsi que l'écart-type géométrique (Sg) représentatif de l'homogénéité des échantillons.

$$Sg = D84/D50$$

Les masses du refus et de l'extraction des tamis, exprimées en pourcentage, représentent les taux d'affleurement.

3.1.8.- Indice de coloration

Les indices de brun et de jaune sont déterminés à l'aide d'un colorimètre « MINOLTA ». Les résultats sont exprimés en fonction du système d'unité de mesure CIE (la Commission Internationale de l'Eclairage) (L*a*b). L'échantillon est placé sous une source lumineuse, dix mesures successives sont effectuées en tournant l'échantillon d'un quart de tour avant chaque lecture de manière à limiter les effets dus à l'hétérogénéité de la réflexion sur une surface non homogène. L'indice **b** est d'autant plus élevé que la semoule est plus jaune, la valeur « **100-L** » augmente avec le brunissement.

Par définition, indice de jaune (**IJ**) = **b**, indice de brun (**IB**) = **100-L**.

3.2 - Analyses technologiques

3.2.1 - Test de sédimentation SDS

Cet indice est déterminé par la méthode (NFV03-704, ISO 5529) décrite par AXFORD et *al.* (1978) modifiée par Preston, 1982. 5g de semoule sont mis en suspension avec 50 ml d'eau distillée dans une éprouvette graduée de 100 ml et bouchée. Le mélange est agité brutalement pendant 15 secondes au temps 0, 4 et 6 minutes, ensuite immédiatement on ajoute 50 ml d'une solution contenant (20g/l de SDS et 20 ml d'acide lactique dilué au 1/8). A partir de cet ajout, on effectue 4 retournements successifs de l'éprouvette aux temps 6, 8, 10 et 12 minutes. L'éprouvette est ensuite laissée au repos pendant 20 minutes. Le volume de sédimentation est lu directement sur l'éprouvette graduée. Les résultats sont exprimés en ml.

3.2.2 - Teneur en gluten

La teneur en gluten est déterminée selon la norme (NA.735.1991, ISO 5531). L'extraction du gluten a été faite manuellement par le lavage avec une solution de chlorure de sodium (20g/l de Na Cl) d'un pâton préparé au moyen de 10 g de semoule et 5.5 ml de la même solution.

Le gluten obtenu est essoré et ensuite centrifugé (6000 tours /min) dans un tamis de 600 μ ; deux fractions sont alors obtenues :

- **P1** c'est la quantité de gluten qui à traversé le tamis ;
- **P2** c'est la quantité de gluten retenu par le tamis.
 - Gluten index

Il est obtenu par la formule suivante :

$$GI = [P2 / (P1+P2)] \times 100$$

- Gluten humide

Le gluten humide (GH) exprimé en pourcentage en masse du produit tel quel, est égal à :

$$GH\% = [(P1+P2) / 10] \times 100$$

- Gluten sec

Le gluten sec (GS) est déterminé après dessiccation du gluten humide au Glutork pendant 4 minutes. Il est obtenu par la formule suivante :

$$GS\% = (GS / 10) \times 100$$

- Capacité d'hydratation

La capacité d'hydratation (CH) nous renseigne sur la capacité du gluten à retenir l'eau. Elle est obtenue par la formule suivante :

$$CH = [(GH - GS) / GH] \times 100$$

3.2.3 - Indice de chute de HAGBERG (IC)

L'indice de chute de HAGBERG mesure indirectement l'activité α -amylasique d'un blé. Selon la norme NA, 1176. 1994, ISO 3093, la détermination de l'activité α -amylasique est basée sur la capacité de gélatinisation rapide d'une suspension aqueuse de farine ou semoule de mouture intégrale dans un bain d'eau bouillante, et sur la mesure de liquéfaction de l'empois d'amidon par l' α -amylase présente dans l'échantillon.

La liquéfaction modifie la viscosité due à la formation de dextrans et affecte donc l'indice ou le temps mis par masse pénétrant dans l'empois pour parcourir une distance donnée.

3.3 - Analyses rhéologiques

3.3.1 - Test au Mixographe

Selon la norme (Norme AACC54-40A), le test au mixographe consiste à hydrater 10 g de semoule en fonction de sa teneur en protéine dans le bol du pétrin du mixographe et de les malaxer pendant 8 minutes.

L'enregistrement se fait à l'aide d'une plume posée à la base de la feuille d'enregistreur qui donne un mixogramme qui permet de mesurer les paramètres suivants :

- Le temps de résistance maximale, dit « temps de développement » T (mixing time) qui caractérise la force de la pâte.
- La hauteur de la courbe au pic de développement dite « hauteur de développement » HD (high of slope) qui correspond à la viscosité de la pâte.

Le calcul des paramètres se fait de la manière indiquée sur la figure suivante :

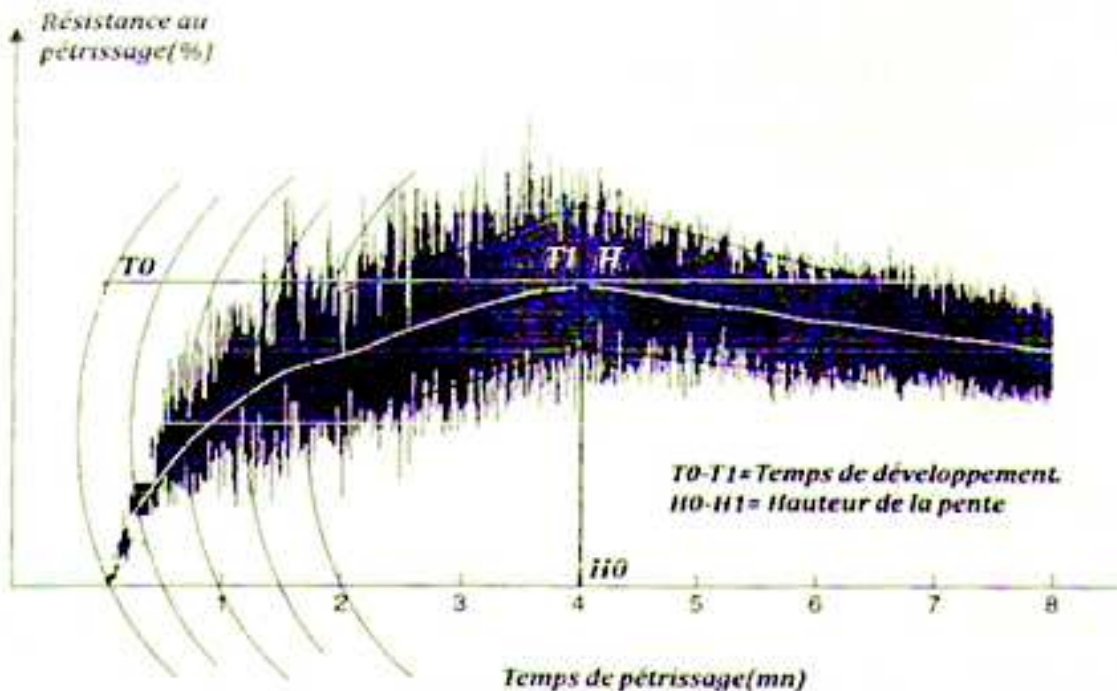


Figure n°1 : Mixogramme type d'un blé à gluten fort

3.3.2 - Test à l'Alvéographe Chopin

L'essai alvéographique de la semoule de blé dur a été réalisé selon le protocole Barilla modifié (CHOPIN, 2007).

Le principe de la mesure repose sur l'étude du comportement d'un échantillon de pâte, formé à partir d'un mélange de 250g de semoule et une quantité d'eau salée, lors de sa déformation sous l'effet d'un déplacement d'air à débit constant. Dans un premier temps le disque de pâte résiste à la pression et ne se déforme pas, puis il gonfle sous forme de bulle plus au moins volumineuse selon son extensibilité et éclate (ITCF, 2001).

L'évolution de la pression dans la bulle est mesurée et reportée sous forme de courbe appelée alvéogramme (figure 2).

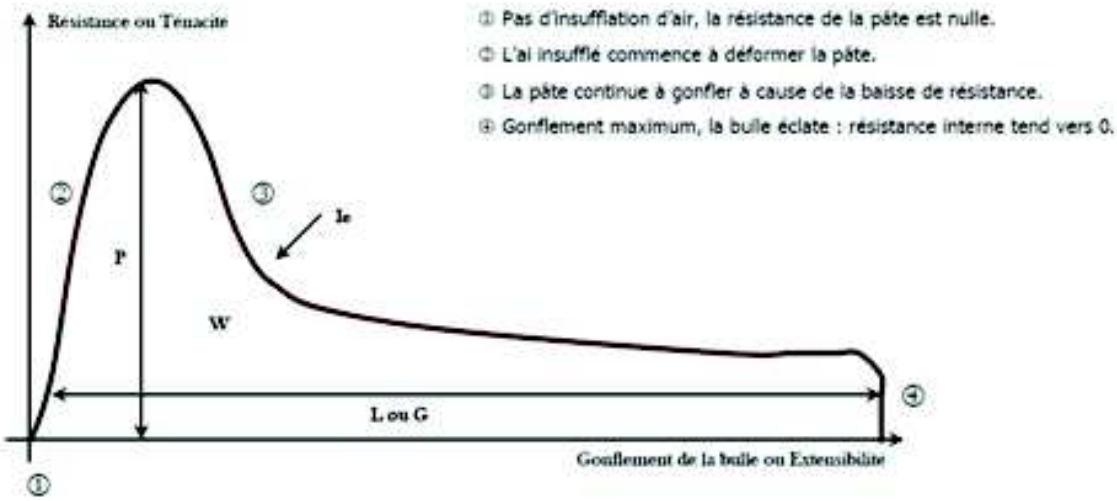


Figure n°2 : Schéma d'un alvéogramme type avec ses paramètres caractéristiques

Les différents paramètres alvéographiques enregistrés sont :

P max : c'est la résistance maximale de la pâte à la déformation, exprimé en millimètres, enregistré avant que le disque ne commence à se gonfler. Il est associé à la ténacité de la pâte.

L ou G : longueur en millimètres ou l'indice de gonflement de la bulle correspond au gonflement maximum de la bulle et en rapport avec l'extensibilité de la pâte.

P/L : donne une indication de l'équilibre entre ténacité et extensibilité de la pâte.

W : représente le travail de déformation de la pâte, il représente l'intégration de la pression jusqu'à la rupture de la membrane de la pâte.

le : indice d'élasticité de la pâte $le = P_{200}/P_{max}$, avec P_{200} la pression mesurée pour un volume de bulle de 200ml, soit $L = 40mm$ et P_{max} la pression maximale.

3.3.3 - Test au Farinographe Brabender

L'hydratation est l'évolution de la consistance de la pâte au cours du pétrissage sont étudiées par l'essai au farinographe. L'hydratation est la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une pâte de consistance arbitraire correspondant à 500 unités farinographe (UF). Elle est exprimée par rapport à une farine à 14% de teneur en eau. La durée écoulée, en minutes, depuis le début de l'addition de l'eau et l'obtention de la consistance de la pâte centrée sur 500 UF, est appelée temps de développement.

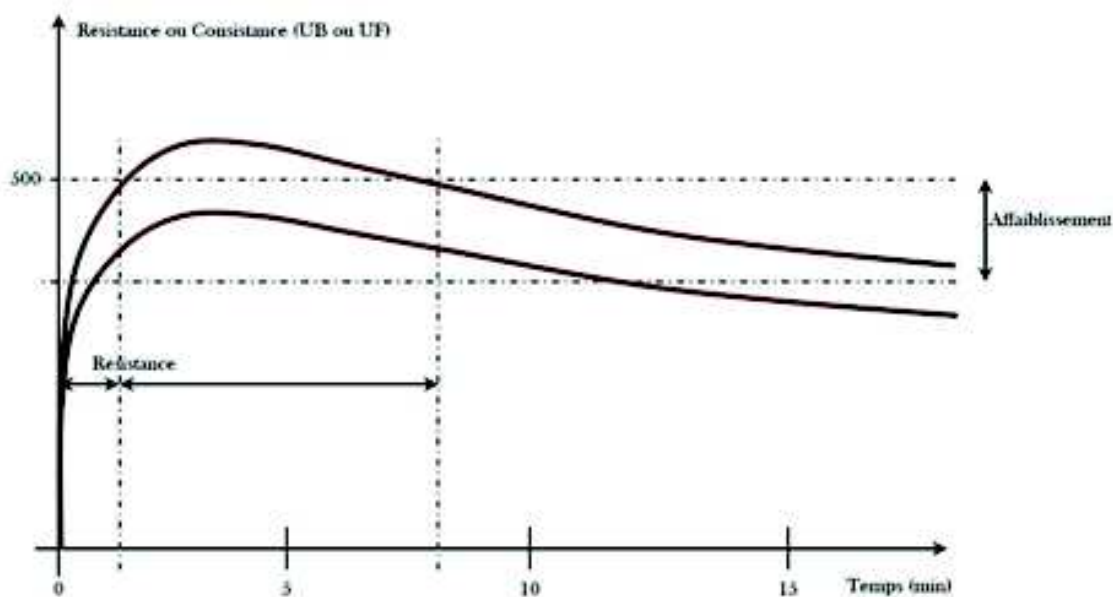


Figure n°3 : Schéma d'un farinogramme type avec ses paramètres caractéristiques

On mesure sur le graphique tracé par l'appareil :

- **La consistance de la pâte (UB)**. A un instant t , mesurée par la valeur de l'ordonnée ;
- **Le temps de développement ou temps de formation de la pâte (t min)** ; correspond au temps nécessaire pour que la courbe atteigne son sommet c'est-à-dire le temps nécessaire pour l'obtention de la consistance maximale 500 UB ;
- **La stabilité ou temps pendant lequel la farine conserve sa consistance initiale (t min)** ; elle correspond à la période écoulée entre le moment où le sommet de la

courbe dépasse la ligne des 500 unités Brabender (temps d'arrivée) et le moment où le sommet de la courbe repasse la ligne (temps de départ).

La stabilité de la pâte égale au temps durant lequel la consistance demeure à son niveau maximale de 500 UB ;

· **Le degré d'affaiblissement ou perte de consistance (UB)** au bout d'un temps donné de pétrissage.

C'est la différence, exprimée en unités Brabender, entre le sommet de la courbe au moment du développement optimal et le sommet de la courbe après que cinq minutes se sont écoulées. Il égal à la perte de consistance 12 minutes après que la valeur maximale ait été atteinte.

N.B. Plus la stabilité est élevée, plus grande est la tolérance de la pâte à un sur-pétrissage, plus l'affaiblissement est marqué, plus la pâte relâche en cours de travail. (Feillet, 2000).

4 - Panification

La méthode de panification utilisée est celle d'AFNOR. La présente norme décrit un essai de panification, applicable aux farines de blé tendre préparées en vue de la panification de type français, afin de vérifier leur aptitude à cette utilisation, de prévoir les qualités des pains obtenus au niveau artisanal ou industriel, et de relever les caractéristiques expérimentales permettant d'adapter le ou les diagrammes de fabrication appropriés à ces farines.

4.1 - Principe

Obtention d'une pâte par pétrissage intensifié de semoule, d'eau, de levure et de sel sans autres ingrédients, suivi d'un pointage de 45 min, d'un façonnage manuel, puis d'un long apprêt sur couches. Incision des pâtons par plusieurs coups de lame, puis mise au four et cuisson à 260°C pendant 25 min.

Réalisation d'un essai témoin simultanément, avec une farine et/ ou semoule témoin, qui sert de référence pour la détermination des temps d'apprêt et de base de comparaison pour l'appréciation des caractéristiques des pâtes et des pains d'essai.

4.2 - Ingrédients utilisés

- Eau potable. Elle sera portée à une température telle qu'en fin du pétrissage, la pâte obtenue soit à une température de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Levure sèche active, préalablement réactivée selon le mode opératoire suivant : Dissoudre $5,0 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ de saccharose (sucre de commerce) dans $95 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ d'eau. Porter cette solution à la température de $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Ajouter 28 g de la levure (*Saccharomyces cerevisiae*). Laisser reposer pendant $10 \text{ min} \pm 1 \text{ min}$, puis agiter jusqu'à obtention d'une suspension homogène. Utiliser cette suspension dans les 10 min suivant sa préparation.

Sel ordinaire (chlorure de sodium).

4.3 - Mode opératoire

4.3.1 - Masse de farine nécessaire à l'essai

Déterminer au préalable la teneur en eau de la farine selon la norme NA 1133-1990, ISO 712.

Calculer, à l'aide du tableau, la masse de farine nécessaire à l'essai, qui correspond à 2000 g à 14 % de teneur en eau.

4.3.2 - Quantité d'eau nécessaire à l'essai

La quantité d'eau nécessaire à l'essai doit permettre la formation d'une pâte malléable. Elle est appréciée manuellement par l'opérateur au cours du pétrissage ou à l'aide d'un appareil permettant de déterminer l'hydratation, tel que le farinographe, pour une consistance de 500U.B.

4.3.3 - Pétrissage

Peser, à 1g près, la masse de farine nécessaire à l'essai déjà calculée et la mettre dans la cuve du pétrin. Verser la quantité d'eau nécessaire à l'essai, puis ajouter la totalité de la suspension de levure sèche réactivée.

Mettre aussitôt le pétrin en marche et déclencher simultanément le minuteur. Le temps de pétrissage est de 21 à 25 min.

Cinq minutes avant la fin de pétrissage, incorporer 44 g de sel. Une fois le temps de pétrissage écoulé, arrêter le pétrin et mettre la pâte dans une cuve de fermentation puis vérifier à l'aide du thermomètre que la température de la pâte est de $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$. Dans le cas contraire, recommencer l'essai.

En fin de pétrissage, procéder à l'appréciation de la pâte en choisissant un des objectifs et un seul pour chacune des cinq caractéristiques figurant ci-après.

Les appréciations sont applicables à la totalité de la pâte et sont estimées par rapport à la pâte de l'essai témoin.

Pâte :

- Sèche / Grasse / Collante ;
- Très extensible/ Extensible / Peu extensible/ tenace/ Cassante ;
- Très élastique/ Élastique/ Peu élastique/ Terreuse ;
- Ne relâchant pas/ relâchant ;
- Bon lissage/ Mauvais lissage.

4.3.4 - Pointage (1^{ère} fermentation)

Placer la cuve contenant la pâte dans la chambre de fermentation pendant 45 min (temps moyen).

En fin de pointage, procéder à l'appréciation du pâton en choisissant un des objectifs et un seul pour la caractéristique ci-après.

Les appréciations sont applicables à la totalité de la pâte et sont estimées par rapport à la pâte de l'essai témoin.

Pâte :

Très rond/ Rond/ Plat non poreux/ Plat poreux.

4.3.5 - Façonnage

Diviser la pâte, à la main, en 8 pâtons de 350 g qui sont pesés, à 1 g près, et déposés immédiatement sur un tapis de feutre.

Après un temps de repos sur le tapis de feutre d'environ 15 min (temps minimal) compté depuis la division du premier pâton, façonner les pâtons de 350 g sous forme de bâtards de 35 cm de long de manière à avoir les même temps de repos pour chaque essai et les déposer sur les plaques.

En fin de façonnage, procéder à l'appréciation de la pâte en choisissant un des objectifs pour chacune des trois caractéristiques figurant ci-après.

Les appréciations sont applicables à la totalité de la pâte ou à la moyenne des pâtons et sont estimées par rapport à la pâte de l'essai témoin.

Pâte :

Raidit/ Reste ferme/ Relâchant.

Très extensible/ Extensible/ Peu extensible / Tenace/ Cassante.

Très élastique/ Élastique / Peu élastique/ Terreuse.

4.3.6 - Apprêt (2^{ème} fermentation)

Introduire les pâtons déposés sur les plaques dans la chambre de fermentation.

En fin d'apprêt, procéder à l'appréciation de la pâte en choisissant un des adjectifs et un seul pour chacune des deux caractéristiques figurant ci-après.

Les appréciations sont applicables à la moyenne des pâtons et sont estimées par rapport à la pâte de l'essai témoin.

Pâton :

Très rond/ Rond/ Plat non poreux/ Plat poreux.

Pâte :

Non déchirée/ Déchirée.

4.3.7 - Scarification et cuisson

Entailler les pâtons de 3 coups de lame puis les enfourner aussitôt dans le four préalablement réglé à 260 °C ± 10 °C et saturé de vapeur d'eau.

Après cuisson complète (25 min environ), retirer les pains.

Procéder à l'appréciation de la pâte en choisissant un des adjectifs et un seul pour chacune des deux caractéristiques figurant ci-après.

Les appréciations sont applicables à la moyenne des pâtons et sont estimées par rapport à la pâte de l'essai témoin.

Pâte :

Normale/ Collante/ Croûtée.

Pâton :

Très rond/ Rond/ Plat.

4.3.8 - Mesure de la masse et du volume des pains

Peser, à 1 g près, les pains obtenus et mesurer leur volume 1 h au moins et 2 h au plus, après leur sortie du four. Les pains sont laissés dans le fournil pendant la période de repos.

4.3.9 - Appréciations des pains

Apprécier les pains immédiatement après le mesurage des volumes en choisissant, comme pour les pâtes un des adjectifs et un seul pour chacune des 14 caractéristiques figurant ci-après.

Aspect extérieur :

Rond/ Normal/ Plat.

Couleur :

Pâle/ Normale/ Rouge.

Brillante/ Terne.

Finesse de la croûte :

Fine/ Normale/ Epaisse.

Molle/ Croustillante/ Dure.

Coups de lame :

Bien jetés/ Peu jetés/ Pas jetés.

Réguliers/ Irréguliers.

Lisses/ Déchirés.

Aspect de la mie

Couleur :

Blanche/ Crème/ Grise

Texture :

Aérée/ Serrée.

Régulière/ Irrégulière.

Non élastique/ Élastique/ Collante.

Parois fines/ Parois épaisses.

Flaveur

Odeur-saveur :

Bonne/ Désagréable.

4.3.10 - Essai témoin

Effectuer l'ensemble des opérations précédentes avec une farine témoin.

5 - Analyse statistique

L'analyse statistique des résultats a été effectuée à l'aide du logiciel statgraphics, version 15.02.05. Elle a porté sur la comparaison des différentes variétés grâce à une analyse de

la variance, suivie par le test de la ppds pour comparer les moyennes deux à deux dans le cas où l'analyse de la variance serait significative.

Les moyennes suivies de la même lettre alphabétique sur les graphiques ne sont pas significativement différentes.

II.- Résultats et Discussion

1.- Analyse physico-chimiques, technologiques et rhéologiques réalisés sur grain et semoule

1.1.- Analyses physico-chimiques

Les résultats sont consignés dans le tableau n°4.

1.1.1 - Poids de mille grains

Le poids de mille grains est un paramètre physique qui renseigne sur la dimension des grains et leurs calibres (Godon, 1991).

Les valeurs de poids de mille grains des variétés de blé dur analysées sont comprises entre 41,10g et 57,37g respectivement pour Boussellam et Simeto avec une moyenne de 50,67g et un écart type de 4,42g (figure 04). L'analyse de la variance pour ce paramètre indique un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 01). La comparaison des moyennes a révélé cinq groupes homogènes (**a** : Simeto, **b** : Cirta, Colesseo, Cannizo et Wahbi, **c** : Ciccio, MBB et Vitron, **d** : GTA Dur, **e** : Boussellam) (annexe 01).

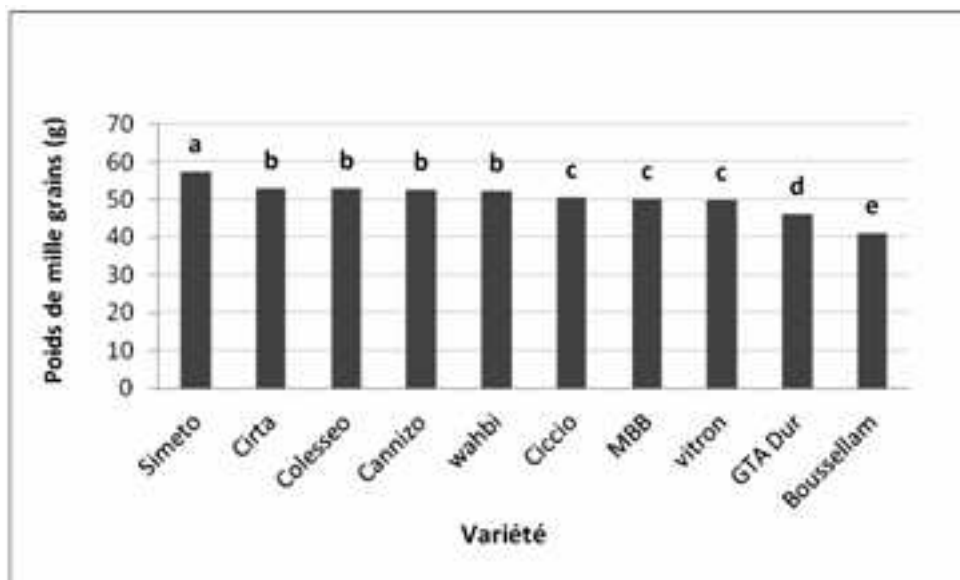


Figure 04 : Poids de mille grains des variétés de blé dur

La masse du grain est une caractéristique variétale en relation directe avec la taille des grains, mais les conditions pédoclimatiques exercent aussi un effet sur le poids de 1000 grains (Dexter et Matsuo., 1980 ; Godon, 1991; Bar, 1995).

La taille des grains est considérée comme un facteur important de la valeur semoulière des blés durs. Les variétés à gros grains sont généralement préférées aux variétés à petits grains parce qu'elles donnent de meilleurs rendements en semoule (Matsuo et Dexter, 1980, Lempereur et *al.*, 1997).

Selon Godon et Willm (1991), un blé ayant un PMG situé entre 24 et 34g est composé de petits grains et entre 35 et 45g, il renferme des grains moyens et entre 46 et 56g présente de gros grains, ceci nous conduit à déduire que nos variétés sont des variétés à gros grains mis à part la variété Boussellam qui est une variété à grains moyens.

1.1.2 Taux de mitadinage

Pour le blé dur, dès qu'une partie du grain montre une zone, même minime, blanche, farineuse, le grain est dit mitadin (Godon, 1991).

Les taux de mitadinage des variétés de blé dur analysées oscillent entre 5,94 et 45,89% pour respectivement Boussellam et Vitron avec une moyenne de 22,08 % et un écart type de 15,73% (figure 05). L'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 02).

La comparaison des moyennes a révélé sept groupes homogènes, dont deux groupes se chevauchent entre eux (**a** : Vitron, **b** : Wahbi c : Colesseo, **d** : GTA Dur **e**: Simeto, **ef** : Ciccio, MBB **f** : Cirta, Cannizo et **g** : Boussellam) (Annexe 02).

Le test de PEARSON, révèle une corrélation négative entre le taux de mitadinage et la teneur en protéine ($r= -0,669$).

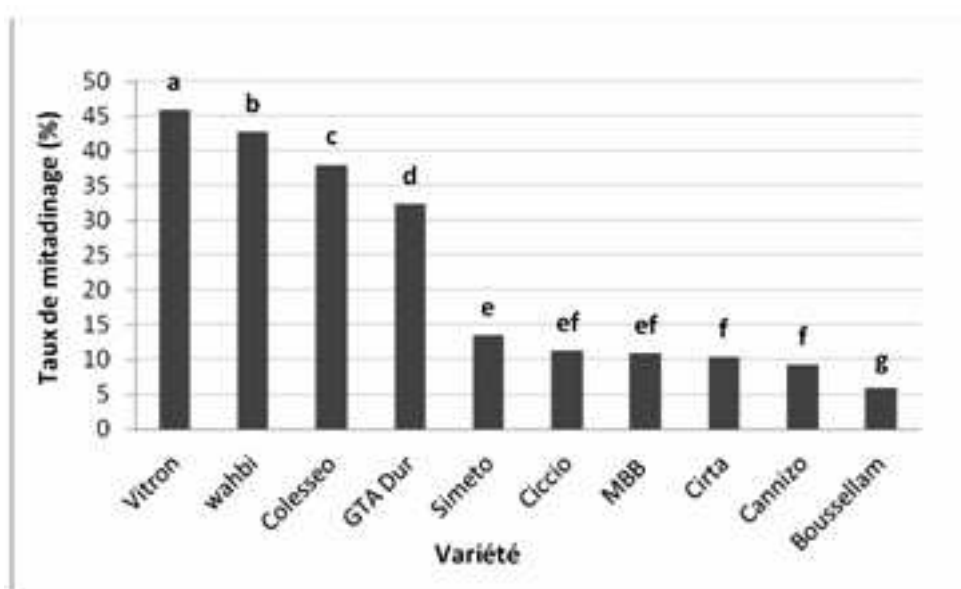


Figure 05 : Taux de mitadinage des variétés de blé dur

Le contrôle du taux de grains mitadinés est très important car il apporte une indication directe sur la valeur semoulière : le taux de mitadinage la pénalise. C'est pour cela que ce dernier entraîne un refus de blé dur dès qu'il a un taux de mitadinage supérieur à 50% (blé non commercialisable). (Godon et Willm., 1991).

Parmi nos variétés, trois dépassent la norme algérienne qui tolère un taux de mitadinage de 35% au maximum et qui sont Vitron, Wahbi et Colesseo.

Le taux de mitadinage dépend à la fois de la quantité d'azote présente dans le grain et des conditions agro-climatiques lors de la maturation et la formation de ce dernier. Une fertilisation azotée insuffisante et le lessivage du sol favorisent son apparition (Mahaut, 1996).

Un déficit en azote au stade plantule entrainerait une grande sensibilité au mitadinage. En effet, au cours du remplissage du grain, si la matière protéique a été produite en quantité suffisante, l'albumen prendra un aspect vitreux.

En revanche, sa carence conduit à la formation de nombreuses vacuoles d'air au sein de l'albumen lui conférant alors une apparence opaque (Lallem, 1979).

On considère que la faible disponibilité en azote constitue le facteur le plus critique dans la présence de grains mitadinés, mais on doit considérer d'autres facteurs environnementaux et génétiques (Gate, 1996).

L'influence défavorable exercée par le mitadinage sur le rendement en semoule n'est guère discutée mais l'évolution de la semoulerie vers la fabrication de produits plus fins réduit son incidence négative.

Cependant, un taux de mitadinage élevé, fortement corrélé à une faible teneur en protéines, exerce un effet défavorable sur la qualité culinaire des produits finis (Feillet, 2000).

1.1.3 - Taux de moucheture

Un blé moucheté c'est un blé présentant des tâches brunes ou noires dans le sillon ou sur le germe. Défaut très préjudiciable pour les blés durs (Feillet, 2000). Ces tâches sont généralement causées par des champignons (Macheix, 1996), ou par les piqûres de trips (Alause et Abecassis, 1979).

Les semoules et les produits dérivés issus des grains mouchetés présentent des points noirs indésirables qui diminuent leur qualité commerciale.

Pour l'ensemble des blés analysés, le taux de moucheture varie entre 0,01% et 1,31% pour respectivement Boussellam et Cannizo avec une moyenne de 0,52% et un écart type de 0,49% (figure 06). L'analyse de la variance indique un effet très hautement significatif de la variété pour ce paramètre ($p=0,0000$; annexe 03).

La comparaison des moyennes a mis en évidence cinq groupes homogènes qui se chevauchent (Annexe 03). Ces résultats sont en accord avec ceux de Feillet et Abecassis (1976), qui ont montré que la moucheture est un facteur étroitement lié à la variété. Mahaut (1996), estime que cette caractéristique purement variétale est favorisée par les conditions climatiques, particulièrement au moment de la floraison.

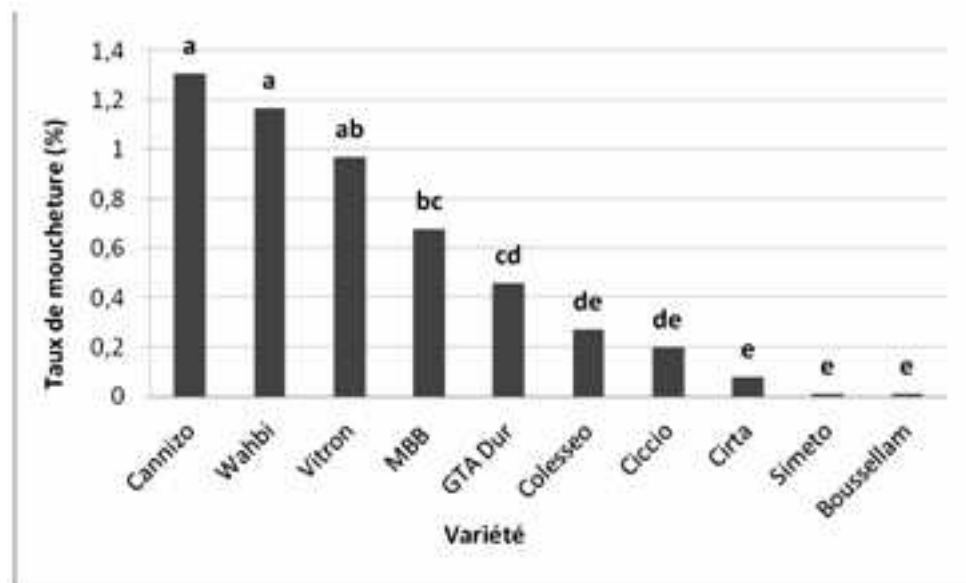


Figure 06 : Taux de moucheture des variétés de blé dur

1.1.4 - Taux d'extraction

La mouture est le processus critique qui affecte les concentrations des éléments inorganiques dans les produits alimentaires dérivés du blé, comme les parties extérieures du grain en particulier, la couche à aleurone et le germe, qui sont plus riches en minéraux par rapport à l'albumen amylicé (Cubadda et al., 2009).

Le taux d'extraction des variétés de blé dur testées varie entre 58,65% et 71,52% pour respectivement Ciccio et Wahbi avec une moyenne de 68,30% et un écart type de 3,86% (figure 07). L'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 04). La comparaison des moyennes a révélé six groupes qui se chevauchent (**a** : Wahbi, Cirta **ab** : MBB, Simeto, Colesseo, **bc** : GTA Dur, **cd** : Cannizo, **de** : Vitron, **e** : Boussellam, **f** : Ciccio, (Annexe 04).

La différence entre les taux d'extraction pourrait s'expliquer par une adhésion excessive entre les téguments et l'endosperme rendant difficile la séparation de manière satisfaisante du son au cours des stades de broyage, entraînant une diminution du rendement en semoule (Cubadda, 1988).

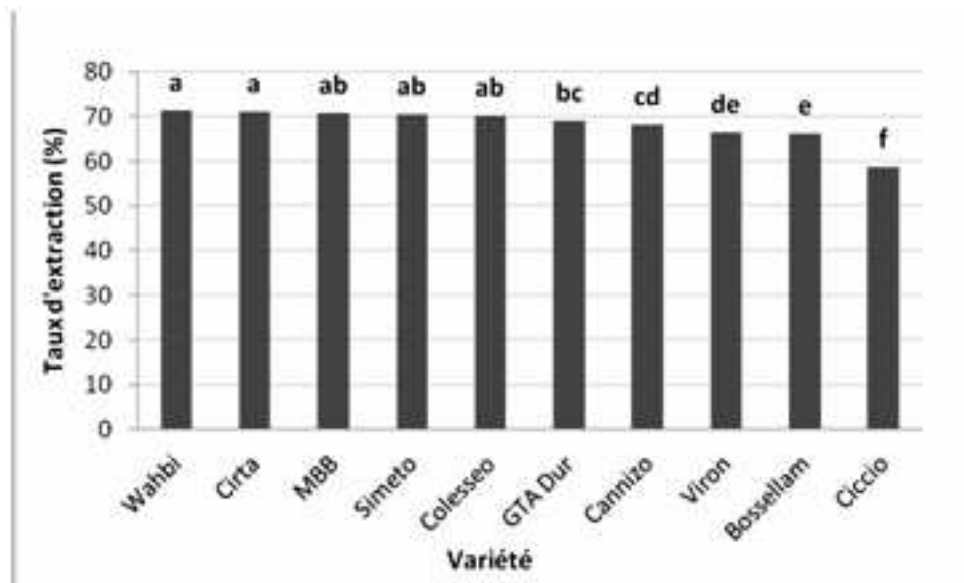


Figure 07: Taux d'extraction (%) des variétés de blé dur

Le test PEARSON (tableau 08) révèle une corrélation positive entre le taux d'extraction et l'indice de jaune ($r=0,207$).

Plus le taux d'extraction d'une semoule est important, plus la quantité de pigments jaunes extractibles est élevée. L'évaluation de la couleur de la semoule repose essentiellement sur l'extraction de pigments effectuée directement à partir du grain (Trentesaux, 1992).

1.1.5 - Granulométrie (taux d'affleurement)

Les semoules sont constituées par un ensemble de particules hétérogènes en granulométrie et en composition biochimique (Hebrard et al., 2001), ce paramètre nous renseigne sur la finesse de la mouture des grains et sur la composition en grosseur des particules de semoules.

Les valeurs de la granulométrie médiane (D50) varient entre 240 et 370 μm pour respectivement Ciccio et Cannizo, avec une moyenne de 338 μm et un écart type de 38,46 μm (figure 08). Ces différences peuvent être expliquées par le fait que, le taux d'affleurement dépend beaucoup des paramètres technologiques à savoir le conditionnement (Colas et Petel, 1984), et plus la dureté du grain est grande, plus la granulométrie de la semoule sera élevée (Abecassis, 1987).

La variation géométrique des semoules mesurée par le diamètre de position (S_g) varie de 0,55 à 0,60 pour respectivement Cannizo et Simeto, avec une moyenne de 0,59 et un écart type de 0,01 (figure 09). Plus l'écart géométrique est faible, plus la granulométrie de la semoule est homogène (Tigroudja et Bendjoudiouda, 1999).

Selon Senator (1983), la granulométrie des semoules influe également sur la qualité de nombreux dosages ainsi que sur la qualité et la vitesse d'absorption de l'eau, qui est fonction de la surface réactive et qui croît avec la finesse des particules.

Une granulométrie trop fine entraîne une dégradation mécanique des constituants biochimiques de la semoule, principalement l'endommagement de l'amidon.

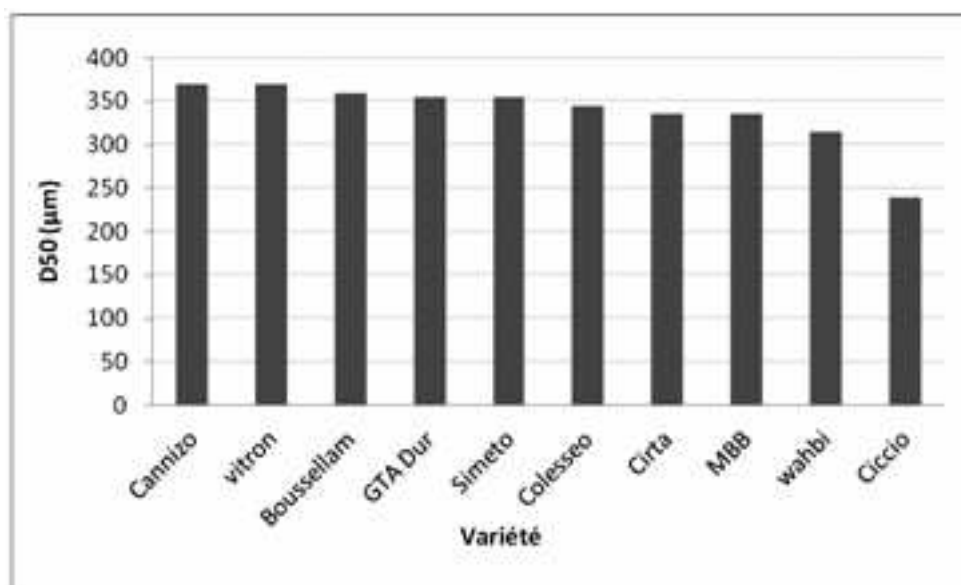


Figure 08 : Granulométrie médiane D50

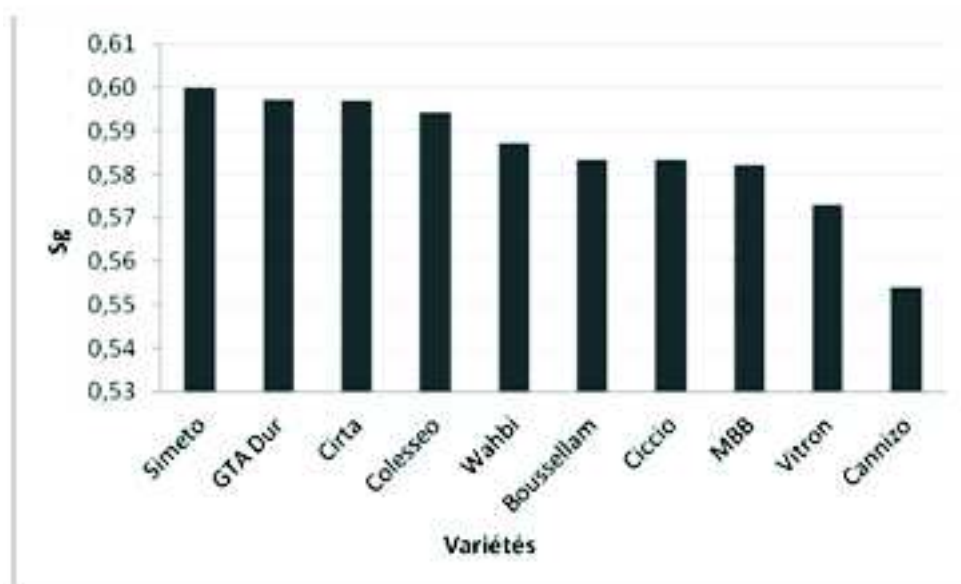


Figure 09 : Variation géométrique Sg (Taux d'affleurement)

1.1.6 - Teneur en eau

La détermination de la teneur en eau des céréales et des produits dérivés est une opération capitale qui présente un triple intérêt : technologique, analytique et commercial.

· Grain entier

L'humidité des grains nous permet de déterminer la quantité d'eau à ajouter lors du conditionnement pour ramener celle-ci à 16,5% dans le but de conférer aux blés une humidité optimale ; et faciliter la séparation entre l'amande et les enveloppes afin d'obtenir un bon taux d'extraction (NFISO 712-1989).

La teneur en eau des grains des variétés de blé dur étudiées varie entre 11,44 et 11,95% respectivement pour Cannizo et MBB avec une moyenne de 11,73% et un écart type de 0,19 (figure 10). L'analyse de la variance pour ce paramètre indique un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 06). La comparaison des moyennes a révélé cinq groupes homogènes (**a** : Simeto, **b** : Cirta, Colesseo, Cannizo et Wahbi **c** : Ciccio, MBB et Vitron, **d** : GTA Dur) (annexe 06).

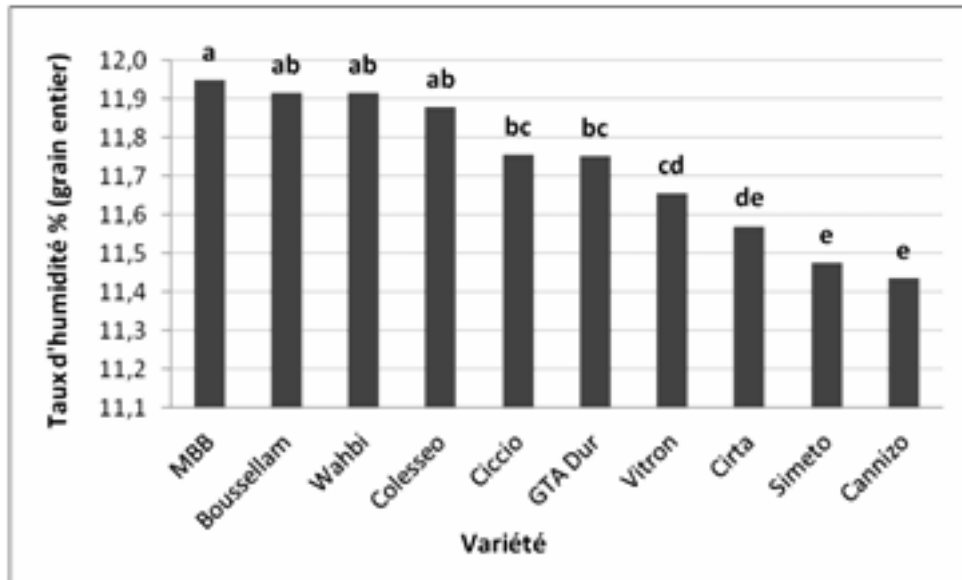


Figure 10: Teneur en eau du grain de blé dur

Selon Dubois (1994), l'humidité des grains est généralement comprise entre 12 et 14% si ces derniers ont été cultivés dans de bonnes conditions agro-climatiques avant leur stockage en silo.

Pour Lacen (1990), la différence d'humidité d'un échantillon à un autre peut être attribuée aux conditions climatiques, à la région de culture, et aux conditions de stockage.

Semoule

La teneur en eau des semoules est un critère essentiel de sa conservation et la détermination de cette teneur trouve son importance dans la précision des divers résultats analytiques qui sont rapportés à la matière sèche (Multon et Martin, 1984).

La teneur en eau de la semoule issue de la mouture des variétés de blé dur analysée varie entre 12,24 et 13,36 % respectivement pour Cannizo et MBB avec une moyenne de 12,67 % et un écart type de 0,36 (figure 11). L'analyse de la variance pour ce paramètre indique un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 07). La comparaison des moyennes a révélé sept groupes homogènes (**a** : MBB, **b** : Wahbi, **c** : Boussellam, **d** : Vitron, Colesseo, Cirta **e** : Simeto, **f** : GTA Dur, Ciccio, **g** : Cannizo) (annexe 07). Ces valeurs sont inférieures à la valeur maximale admise qui est de 14,5%, d'après la norme CODEX STAN 178- et le Journal officiel (2007).

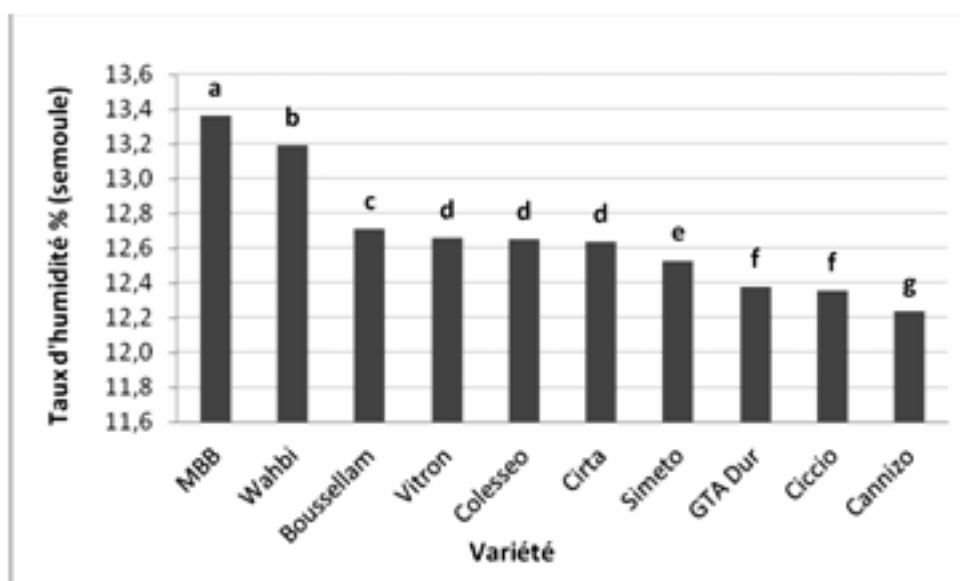


Figure 11 : Teneur en eau de la semoule de blé dur (%)

Les faibles teneurs en eau de nos échantillons peuvent être expliquées selon Feillet (2000) par le fait qu'en semoulerie, lors du conditionnement, les blés durs nécessitent la conservation d'une certaine dureté de l'amande. Cette pratique est obtenue par la création d'un gradient d'eau assez important entre les enveloppes et l'amande pour une meilleure séparation, d'où la réduction de la teneur en eau des produits de mouture.

D'après Grandvionnet et Praty (1994), plus la teneur en eau est faible ($H < 15,5\%$), plus il est possible d'ajouter de l'eau au cours du pétrissage pour arriver à une consistance optimum de la pâte.

1.1.7 - Indice de coloration

La coloration de la semoule de blé dur est un facteur déterminant dans la qualité organoleptique des semoules et des pâtes alimentaires. C'est l'une des caractéristiques à laquelle le consommateur semble attacher beaucoup d'importance.

1.1.7.1 Indice de jaune

La couleur jaune de la semoule est due à la fois, à la présence dans le blé des pigments caroténoïdes et aux faibles réactions de brunissement enzymatiques et non enzymatiques (Demarchi, 1994).

Les valeurs de l'indice de jaune des variétés de blé dur étudiées varient entre 18,58 et 23,55 respectivement pour la variété Vitron et Cannizo, avec une moyenne de 21,15 et un écart type de 1,73 (figure 12).

L'analyse de la variance pour ce paramètre indique un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 08). La comparaison des moyennes indique sept groupes homogènes (a : Cannizo, MBB, b : Wahbi, c : Boussellam, d : GTA Dur, Cirta Ciccio, e : Simeto, f : Colesseo, g : Vitron). (Annexe 08).

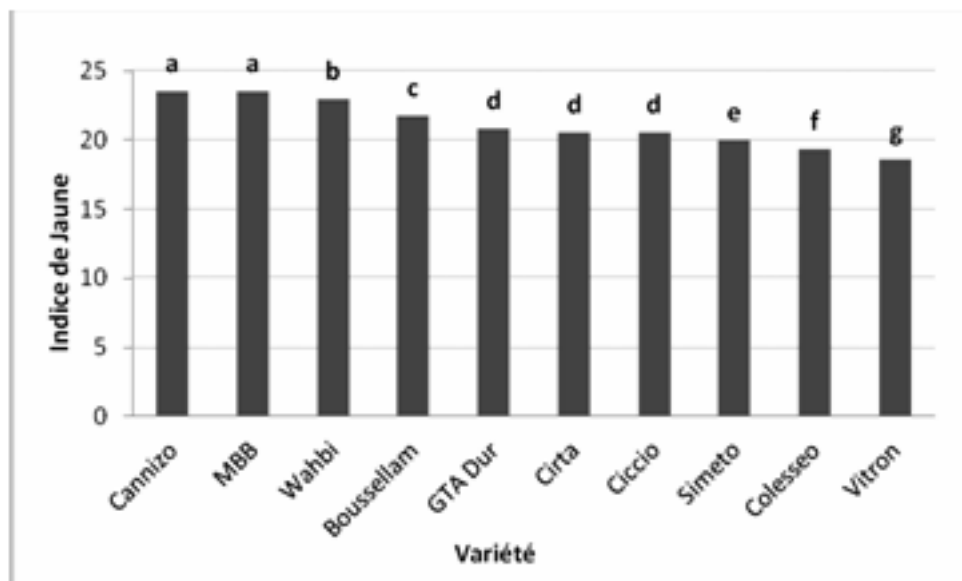


Figure 12 : Indice de Jaune des variétés de blé dur

Bien que plusieurs facteurs environnementaux influent sur la teneur en pigments jaunes (Borrelli et al., 1999), cette qualité peut être considérée comme hautement héréditaire (Parker et al., 1998). Ravindra et al. (2007) trouvent que l'indice de jaune est expliqué à 55% par le génotype.

Plus un blé (semoule ou pâte) contient de protéines, pour une variété considérée, plus la quantité de pigments jaunes ou l'indice b est élevée. La quantité de pigments jaunes est une caractéristique variétale importante (Trentesaux, 1992).

Les indices de jaunes obtenus pour l'ensemble des semoules des blés durs sont inférieurs à la valeur optimale recherchée qui est de 25. Cette faible valeur pourrait être due à une déficience en pigments caroténoïdes assortie à une destruction enzymatique. En effet, la teneur en pigments caroténoïdes est associée à l'activité de la lipoxigénase, qui est responsable de la dégradation oxydative des pigments caroténoïdes au cours du stockage des grains, puis s'accélère après la transformation du blé en semoule et aussi lors de la transformation des pâtes (Borrelli et al., 2003).

Lors de la mouture, une grande quantité de pigments caroténoïdes et de lipoxigénase peut être détruite progressivement en fonction du taux d'extraction, les pigments sont distribués différemment dans le grain : les carotènes α et β sont principalement situés dans le germe tandis que la lutéine, le pigment le plus abondant, est également répartie dans le grain (Borrelli et al., 2003).

1.1.7.2 -Indice de brun

Les valeurs de l'indice de brun de blé dur varient entre 10,29 et 13,99 % respectivement pour la variété Ciccio et Cannizo, avec une moyenne de 12,12 et un écart type de 0,97 (figure 13). L'analyse de la variance pour ce paramètre montre un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 09). La comparaison des moyennes indique cinq groupes qui se chevauchent (**a** : Cannizo, **b** : Simeto, MBB, Vitron, Boussellam, **bc** : GTA Dur, **cd** : Cirta **d** : Wahbi, **d** : Colesseo, **e** : Ciccio). (annexe 09).

L'analyse de PEARSON indique une corrélation positive entre l'indice de brun et la teneur en cendre ($r= 0,354$).

La moyenne des indices de brun des variétés de blé dur est proche de la valeur standard qui est de 12. Les activités de la peroxydase (POD) et de la polyphénoloxydase (PPO), associées à la teneur en cendre, sont les facteurs principaux contribuant à la couleur brune de la semoule (Kobrehel et *al.*, 1974 ; Taha et Sagi, 1987).

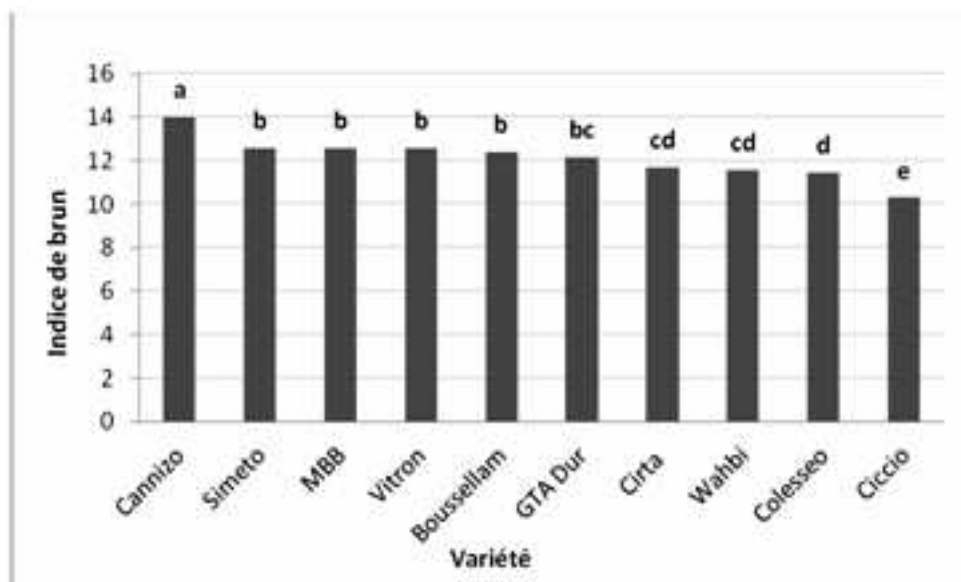


Figure 13 : Indice de brun des variétés de blé dur

1.1.8 - Taux de cendres ou matières minérales

1.1.8.1 - Taux de cendre du grain entier

La mesure du taux de cendre a un intérêt purement réglementaire. Il représente la richesse du grain en matières minérales.

Le taux de cendre des grains de blé dur varie entre 1,51 % et 1,92 % respectivement pour la variété Simeto et Cannizo avec une moyenne de 1,68% et un écart type de 0,13% (figure 14). L'analyse de la variance pour ce paramètre indique un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 10).

La comparaison des moyennes révèle sept groupes qui se chevauchent (**a** : Cannizo, **b** : Wahbi, **bc** : Vitron, **cd** : Colesseo, **de** : Cirta, **ef** : MBB, **f** : GTA Dur, Ciccio, **g** : Boussellam, Simeto) (annexe 10).

Tableau 4 : Résultats des analyses physique des variétés de blé dur

variétés	Poids de mille grains (g)	Taux de mitadinage (%)	Taux de moucheture (%)	Taux d'extraction (%)	Granulométrie (µm)	Taus d'affleurement Sg
Boussellam	41,10	5,94	0,01	66,23	360	0,58
Cannizo	52,55	9,34	1,31	68,18	370	0,55
Ciccio	50,49	11,39	0,2	58,65	240	0,58
Cirta	53,14	10,42	0,08	71,20	335	0,60
Colesseo	53,14	38,08	0,27	70,06	345	0,59
GTA Dur	46,20	32,42	0,46	69,23	355	0,60
MBB	50,28	10,94	0,68	70,74	335	0,58
Simeto	57,37	13,61	0,01	70,52	355	0,60
vitron	50,04	45,89	0,97	66,63	370	0,57
wahbi	52,41	42,78	1,17	71,52	315	0,59
Moy	50,67	22,08	0,52	68,30	338	0,59
Ecart-type	4,42	15,73	0,49	3,86	38,46	0,01
CV%	8,73	71,24	94,87	5,65	11,38	2,37

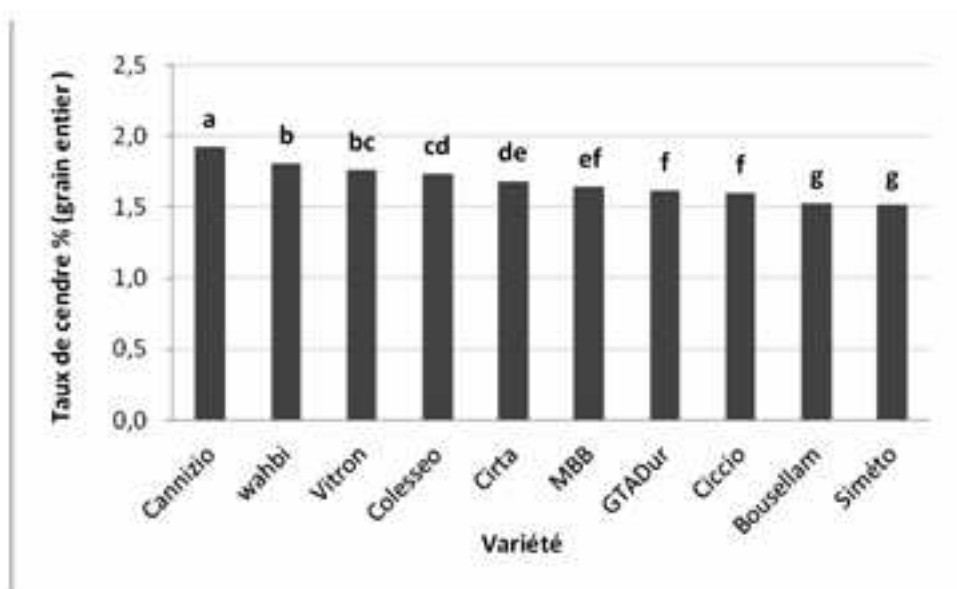


Figure 14 : Taux de cendre des grains de blé dur

Ces résultats concordent avec ceux de Lintas (1988), qui a constaté l'influence de la variété sur la teneur en cendres des blés. En effet, tous les blés non pas la même teneur en cendre ni la même répartition des matières minérales à l'intérieur du grain (Abecassis, 1996).

Lempereur et *al.*, (1997) ; Oury et *al.*, (2006) ont aussi montré que le lieu de culture est la principale source de variation de la teneur en cendres des grains de blé dur.

Les teneurs en cendre des variétés analysées sont inférieures à la valeur maximale indiquée dans le Codex Standard 178-1991 qui est de 2,1%.

1.1.8.2 - Taux de cendre de la semoule

Les taux de cendre de la semoule des différentes variétés de blé dur analysées varient entre 0,78% et 1% respectivement pour la variété Simeto et Vitron avec une moyenne de 0,92% et un écart type de 0,08% (figure 15).

L'analyse de la variance pour ce paramètre indique un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 11). La comparaison des moyennes indique trois groupes qui se chevauchent (**a** : Vitron, MBB, Cannizzo, Bousellam, **ab** : Colesseo, Wahbi, **bc** : Ciccio, **c** : Cirta, **cd** : GTA Dur, **d** : Simeto). (annexe 11).

Le test PEARSON (tableau 08) révèle une corrélation positive entre le taux de cendre et l'indice de brun ($r= 0,354$).

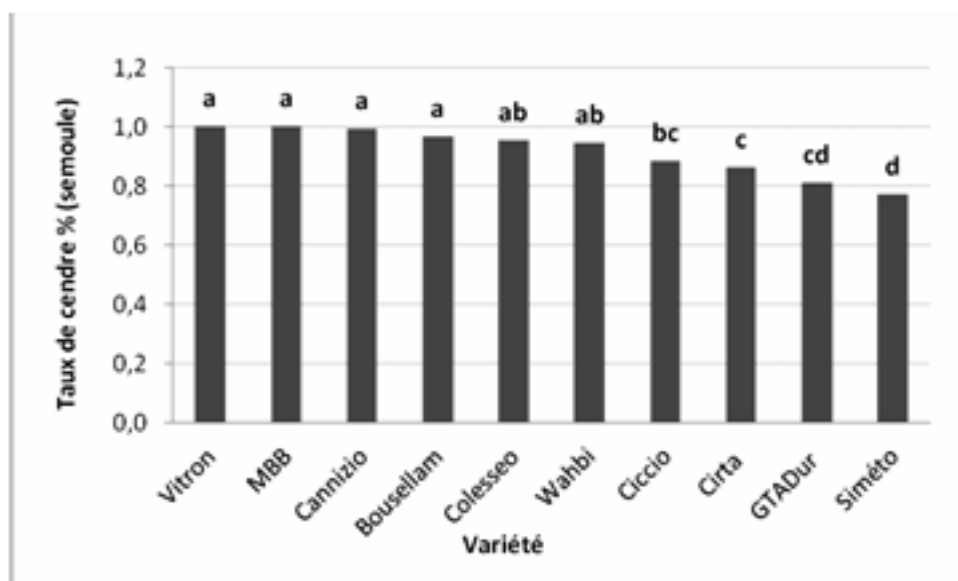


Figure 15: Taux de cendre de la semoule de blé dur

Le taux de cendre est un critère retenu par la réglementation pour contrôler la pureté des produits de mouture. Cette teneur est fonction du taux d'extraction, mais également de la minéralisation des blés (Abecassis et *al.*, 1996).

Notons également que la pureté des produits de mouture du blé dur a fait l'objet de plusieurs travaux dont les auteurs s'accordent à penser que le taux de cendre ne constitue pas un marqueur absolu de pureté des produits de mouture (Abecassis et Chaurand, 1997).

D'après la norme CODEX STAN 178-1991, la teneur en cendres maximum de la semoule de blé dur est de 1,3%. L'entreprise ERIAD (Sétif), préconise un taux de cendre inférieur à 0,92%.

En comparaison avec la teneur en cendre des grains et des semoules, celles des grains sont plus élevées en raison de l'élimination au cours de la mouture des enveloppes connues pour leur richesse en matières minérales.

Les facteurs liés aux variations du taux de cendre sont entre autre : les facteurs génétiques notamment la dureté, la taille et la teneur en enveloppes de grains, les facteurs pédologiques tels que la nature du sol, la disponibilité des minéraux du sol, etc.... (Godon, 1978).

Le taux de cendre est corrélé positivement avec l'indice de brun, ce qui est confirmé par Borrelli et *al.* (2003), les peroxydases et la teneur en cendres affectent le brunissement des produits finis.

Le taux de cendre n'a pas d'effet direct sur la perte des pigments (Borrelli et *al.*, 1999), mais une teneur plus élevée de cette composante dans la semoule conduit à une augmentation du brunissement (Borrelli et *al.*, 2003).

1.1.9 - Teneur en protéines totales

Teneur en protéines totales des grains de blé dur

La teneur en protéines totales des grains des variétés de blé dur analysés oscille entre 10,64% et 14,18% pour respectivement GTA Dur et Simeto, avec une moyenne de 12,13% et un écart type de 1,16 (figure 16).

L'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 12). La comparaison des moyennes montre quatre groupes homogènes (**a** : Simeto, Cirta, **b** : MBB, Cannizo **c** : Boussellam, Colesseo, Ciccio, Vitron, **d** : Wahbi, GTA Dur). (Annexe 12).

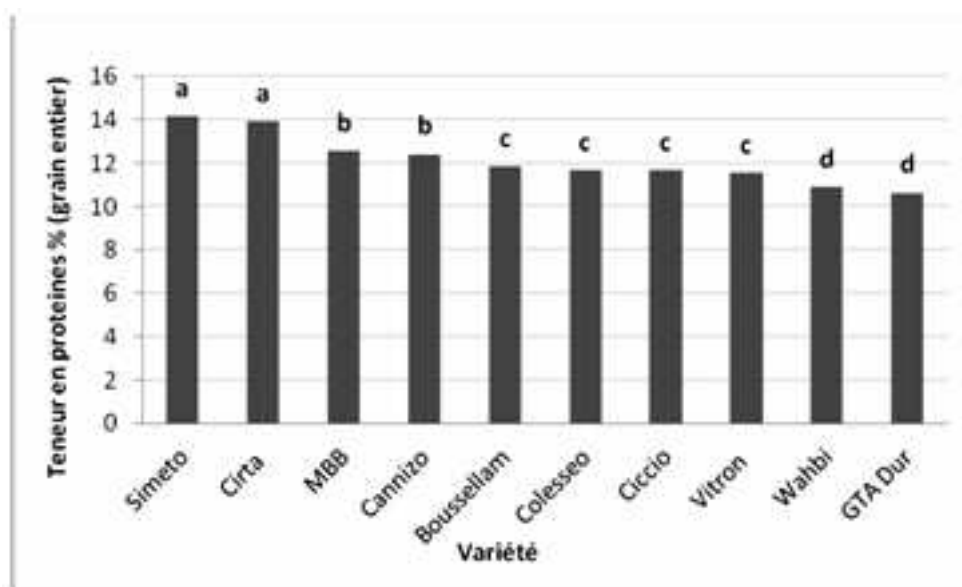


Figure 16: Teneur en protéines totales des grains de blé dur

La teneur en protéines des grains qui est l'un des critères les plus importants dans l'appréciation de la qualité est influencée par les conditions culturales et plus particulièrement le lieu de culture (Wesley et *al.*, 1999 ; Guttieri et *al.*, 2002).

L'effet du génotype a aussi été démontré par Fenn et *al.* (1994), Hazen et Ward. (1997), Zhang et *al.*, (2004) et Souza et *al.*, (2004). De même, les travaux de Amir et *al.* (2004), ont montré que les teneurs en protéines sont d'abord influencées par la variété, puis par le lieu de culture. Il est également important de souligner que pour une même variété, la teneur en protéines est susceptible de changer d'une récolte à une autre et d'un lieu à un autre à causes des conditions différentes de nutrition et de maturation du grain (Kaid, 1998).

Le taux de protéines de blé dur peut varier dans de très larges limites (9 à 18%) (Feillet, 2000). Actuellement, la teneur en protéine du grain est prise en considération dans les transactions commerciales en raison de ses applications dans l'aptitude des semoules à donner des produits finis répondants aux attentes des consommateurs.

Teneur en protéines totales de la Semoule de blé dur

La richesse de la semoule en protéines est fortement dépendante de la teneur en protéine du grain mis en œuvre. La teneur en protéines de l'albumen amylicé est inférieure d'environ 1 point à celle du grain (Feillet, 2000).

La teneur en protéines totales de la semoule issue de la mouture des grains de blé dur analysés varie entre 10,17% et 12,70 % pour respectivement Wahbi et Simeto, avec une moyenne de 11,38% et un écart type de 0,78 (figure 17). L'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 13). La comparaison des moyennes montre quatre groupes homogènes (**a** : Simeto, **b** : Cirta, **c** : Ciccio, MBB, **cd** : GTA Dur, **de** : Boussellam, **ef** : Cannizo, **f** : Colesseo, Vitron, **g** : Wahbi,). (Annexe 13).

Les protéines des semoules ont un rôle technologique plutôt que nutritionnel, en dépit de cela, elles jouent un rôle important dans la qualité des pâtes alimentaires à la fois par leur teneur et par leurs propriétés fonctionnelles (Dick et Matsuo., 1988). Selon Autran (1996), 11 à 13% MS de protéines dans la semoule sont nécessaires à la fabrication de pâtes alimentaires de qualité requise. De ce fait, il nous est possible de dire que les variétés étudiées pourraient plus au moins répondre à une bonne qualité pastière.

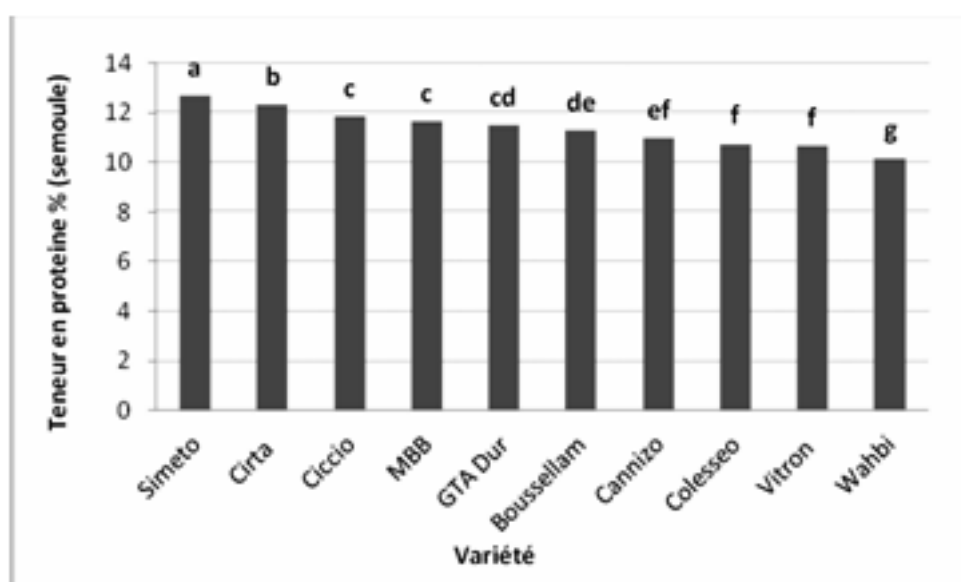


Figure 17: Teneur en protéines totales de semoules blé dur

Variétés	Taux d'humidité des grains (%)	Taux d'humidité de la semoule (%)	Taux de cendre des grains (%)	Taux de cendre de la semoule (%)	Taux de protéines des grains (%)	Taux de protéines de la semoule (%)
Boussellam	11,92	12,71	1,5298	0,9681	11,84	11,26
Cannizo	11,44	12,24	1,9223	0,9942	12,42	10,95
Ciccio	11,76	12,35	1,5978	0,8871	11,65	11,87
Cirta	11,57	12,64	1,6850	0,8642	13,92	12,30
Colesseo	11,88	12,65	1,7306	0,9559	11,66	10,74
GTA Dur	11,75	12,38	1,6176	0,8132	10,64	11,51
MBB	11,95	13,36	1,6412	1,0042	12,55	11,66
Simeto	11,48	12,53	1,5165	0,7746	14,18	12,70
Vitron	11,66	12,66	1,7658	1,0047	11,55	10,66
Wahbi	11,92	13,20	1,8108	0,9475	10,92	10,17
Moy	11,73	12,67	1,6817	0,9214	12,13	11,38
Ecart-type	0,19	0,36	0,1279	0,0822	1,16	0,78

Tableau 05: Résultats des analyses chimiques des variétés de blé dur

1.2 - Analyses technologiques

Les résultats des analyses technologiques sont configurés dans le tableau n°6.

1.2.1 - Test de sédimentation SDS

L'indice de sédimentation en SDS, exprimé en ml, donne une indication globale sur la qualité du gluten de blé dur (Dick et Quick, 1983). Il caractérise la qualité et le pouvoir gonflant des protéines et permet d'apprécier la qualité boulangère d'une farine et ses aptitudes à la panification (Godon et Willm, 1998).

Le volume de sédimentation dans la solution SDS des variétés de blé dur analysées varie entre 14ml et 20,5ml respectivement pour la variété Vitron et Ciccio, avec une moyenne de 16,70ml et un écart type de 2,16ml (figure 18).

L'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 14). La comparaison des moyennes indique quatre groupes qui se chevauchent (**a** : Ciccio, Simeto, **b** : Cannizo, Colesseo, Wahbi, **c** : Boussellam, **cd** : Cirta, GTA Dur, MBB, **d** : Vitron). (annexe 14).

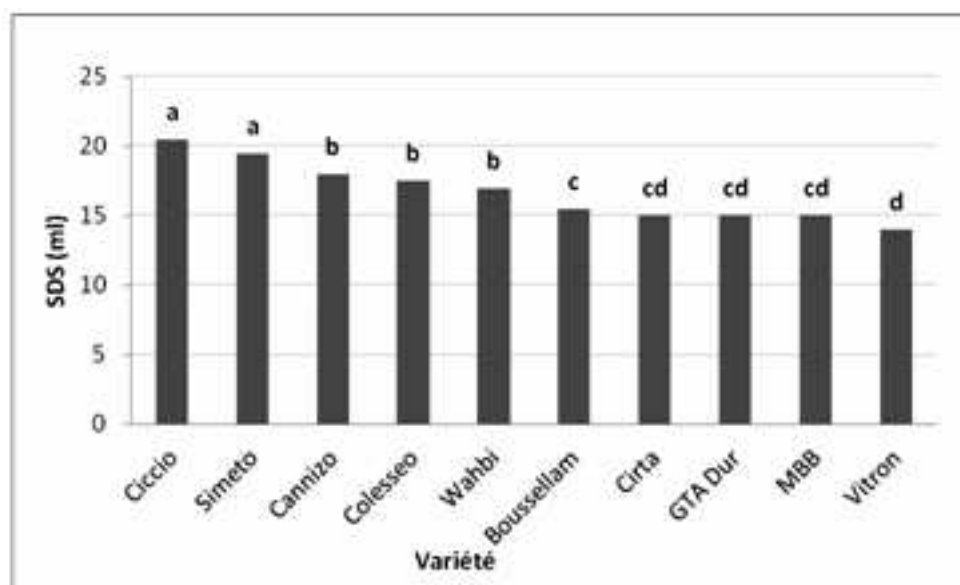


Figure 18 : test de sédimentation SDS des variétés de blé dur

Royo et al., (2009), ont classé les variétés de blé dur en fonction des valeurs de volume de sédimentation SDS, en effet, une valeur de 30 ml indique un gluten faible et une valeur \geq 35 ml indique un gluten fort. Les faibles valeurs de SDS seraient dues à la faible quantité de la fraction gluténine. Selon Nakkoul et Rihawi (1988), les blés durs contrairement aux blés tendres, ont des indices de sédimentation qui dépassent rarement les 35 ml.

Il ressort que la qualité des protéines en particulier la composition en gliadines et gluténines serait responsable des propriétés rhéologiques des pâtes (Dexter et Matsuo, 1980).

Pour Dacosta (1986), les farines qui montrent des valeurs élevées au test SDS montrent plus d'élasticité et d'extensibilité et donnent des pains de volume élevé.

D'après Jeantet et al. (2007), la hauteur du sédiment dépend de la quantité d'eau absorbée et du gonflement des protéines, elle est fonction de la quantité et de la qualité du gluten. En effet, les gluténines de haut poids moléculaire sont les fractions impliquées dans le gonflement des protéines en présence du SDS et non pas les gliadines (Payne et al., 1984).

1.2.2 - Teneur en gluten

1.2.2.1 - Gluten humide

Le gluten, constitué essentiellement par la fraction insoluble des protéines, présente la caractéristique de pouvoir former un réseau viscoélastique dont les propriétés d'extensibilité, d'élasticité et de ténacité ont une influence sur le comportement des pâtes en cours de fabrication et sur la qualité du produit fini (pain, biscuit, pâte...) (ITFC, 2001).

La teneur en gluten humide des blés durs testés varie entre 15,70% et 25,95% respectivement pour Vitron et Simeto avec une moyenne de 20,70% et un écart type de 2,89% (figure 19). L'analyse de la variance pour ce paramètre indique un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 15). La comparaison des moyennes a révélé sept groupes qui se chevauchent (**a** : Simeto, **b** : Cannizo, MBB et **c** : Ciccio, et, **cd** : GTA Dur, **de** : Colesseo, **ef** : Wahbi, **f** : Boussellam, Cirta, **g** : Vitron) (annexe 15).

Le test de PEARSON indique une corrélation positive entre le gluten humide, le taux de protéines ($r= 0,513$), le gluten sec ($r= 0,970$) et le gluten index ($r= 0,681$).

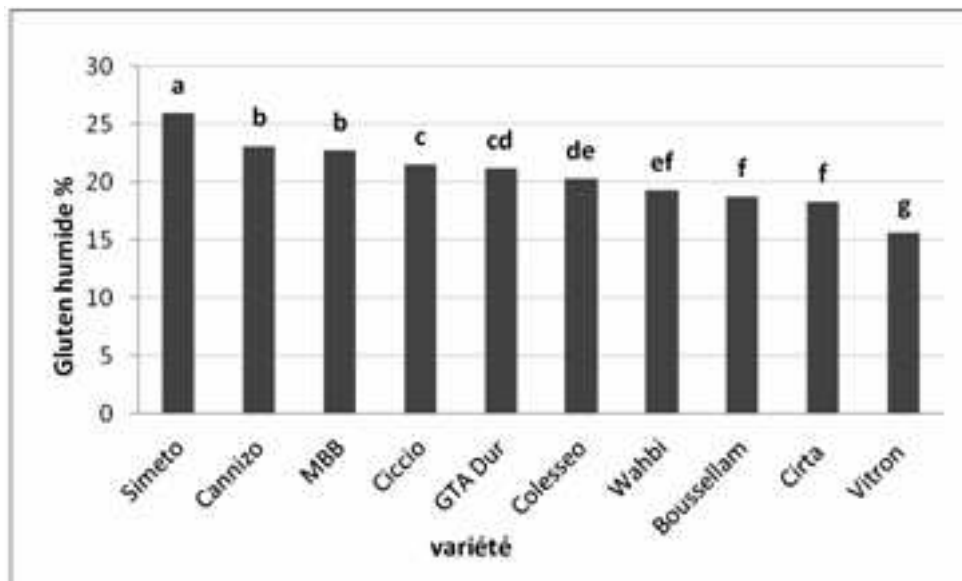


Figure 19 : Teneur en gluten humide des variétés de blé dur

Nos résultats montrent qu'il y a un effet très hautement significatif de la variété sur le gluten humide. Ces résultats corroborent ceux de Feillet (1988) qui a montré une variation de la quantité de gluten humide entre différentes variétés.

Quaglia (1988) a expliqué les teneurs élevées en gluten (humide et sec) chez les semoules de blé dur par la forte corrélation significative entre la teneur en protéines et la teneur en gluten.

Le gluten de blé dur et l'amidon, ainsi que les conditions de traitement déterminent la qualité de cuisson des pâtes (Bruneel et *al.*, 2010). Plus les quantités de gluten extraites sont élevées, meilleure est la qualité de l'échantillon (Motquin et *al.*, 2007).

Le gluten joue un rôle crucial en panification surtout lors de la phase de pétrissage durant laquelle le réseau glutineux s'édifie. La réussite d'une panification dépend pour une grande part de la qualité des protéines de la farine. En effet, selon Roussel et Chiron (2005), la qualité du gluten agit sur la fixation de l'eau, la tenue, la résistance et la tenue de la pâte, la rétention gazeuse, la croûte de pain qui sont tous des paramètres déterminants dans la panification.

1.2.2.2 - Gluten sec

La détermination de la quantité de gluten existant dans une farine doit permettre de reconnaître si cette farine est bonne ou mauvaise, il fournit une première indication qui sert de point de départ à des recherches approfondies s'il y a lieu (Feillet, 2000).

La teneur en gluten sec des grains de blé dur testés varie entre 5,95% et 9,59% respectivement pour Vitron et Simeto avec une moyenne de 7,73% et un écart type de 0,99% (figure 20). L'analyse de la variance pour ce paramètre indique un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 16). La comparaison des moyennes a révélé sept groupes qui se chevauchent (**a** : Simeto, **b** : MBB, Cannizo, GTA Dur, Ciccio, **b c** : Colesseo, **cd** : Wahbi, Cirta, **d** : Boussellam, **e** : Vitron) (annexe 16).

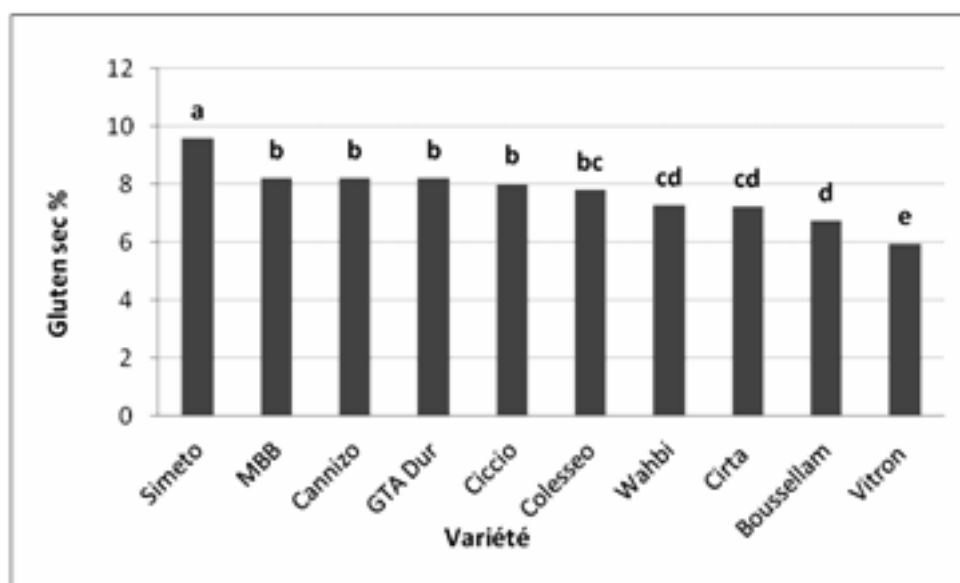


Figure 20 : Teneur en gluten sec des variétés de blé dur

A la lumière des résultats obtenus, les teneurs en gluten de nos variétés se rapprochent des normes citées par Calvel (1980), qui signale qu'une farine panifiable doit posséder une teneur en gluten supérieure à 8%ms. Dubois (1996), préconise une valeur de 8 à 13%ms. La réglementation Algérienne exige une teneur minimale en gluten sec de 9% en boulangerie.

Selon D'Egidio et *al.* (1979), les semoules ayant des teneurs en gluten sec supérieures à 13% peuvent fournir un excellent produit fini, tandis que pour celles dont les valeurs sont inférieures à 11% sont de qualité insuffisante.

Selon Grosch (1986), la composition du gluten est un facteur déterminant de la force de la pâte et l'analyse quantitative et qualitative de ses principaux constituants : gliadines et gluténines est très importante. En effet, Multon (1982), a rapporté que la force de la pâte est reliée à la teneur totale en gluténines de haut poids moléculaires. D'après Linden et Alais (1997), les gliadines jouent un rôle dans l'extensibilité et les gluténines dans l'élasticité de la pâte.

D'après Godon et Willm (1991), après oxydation des acides gras polyinsaturés de la farine, il se forme des composés instables qui seront responsables de l'oxydation des groupements thiols des protéines, le réseau du gluten est ainsi renforcé.

D'après Nicolas et Potus (1994) ce phénomène entraîne une amélioration des propriétés rhéologiques des pâtes, se traduisant par une augmentation de leur tolérance au pétrissage et le volume des pains.

1.2.2.3 - Gluten index

La teneur en gluten index des grains de blé dur testés varie entre 25,46% et 95,58% respectivement pour GTA Dur et Simeto avec une moyenne de 61,81% et un écart type de 25,56 (figure 21). L'analyse de la variance pour ce paramètre indique un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0000$; annexe 17). La comparaison des moyennes révèle quatre groupes homogènes (**a** : Simeto, Ciccio, Colesseo, **b** : Cannizo, MBB, **c** : Wahbi, Cirta, Boussellam, Vitron, **d** : GTA Dur) (annexe 17).

Le test de PEARSON révèle une corrélation positive entre le gluten index et le taux des protéines ($r=0,420$) (tableau 09).

Les travaux de Perten (1990), ont permis de mettre en évidence trois classes de gluten en fonction du gluten index :

- Gluten index compris entre 0 et 60% ms : gluten mou, extensible, peu élastique, valeur technologique faible. Les variétés de blé dur étudiées qui appartiennent à cette classe sont Boussellam, Cirta, GTA Dur, Vitron et Wahbi.
- Gluten index compris entre 60 et 90% ms : gluten équilibré, bonne valeur technologique. Les variétés de blé dur étudiées qui appartiennent à cette classe sont Cannizo, Colesseo, MBB.
- Gluten index compris entre 90 et 100% ms : gluten résistant et élastique. Les variétés de blé dur étudiées qui appartiennent à cette classe sont Ciccio, Simeto.

D'après Cubadda *et al.* (1992) et Yiu Hui (2006), un gluten de force doit avoir un gluten index compris entre 66 et 85. Selon Perten (1990), plus le taux de gluten augmente, plus les pâtes montrent une élasticité élevée.

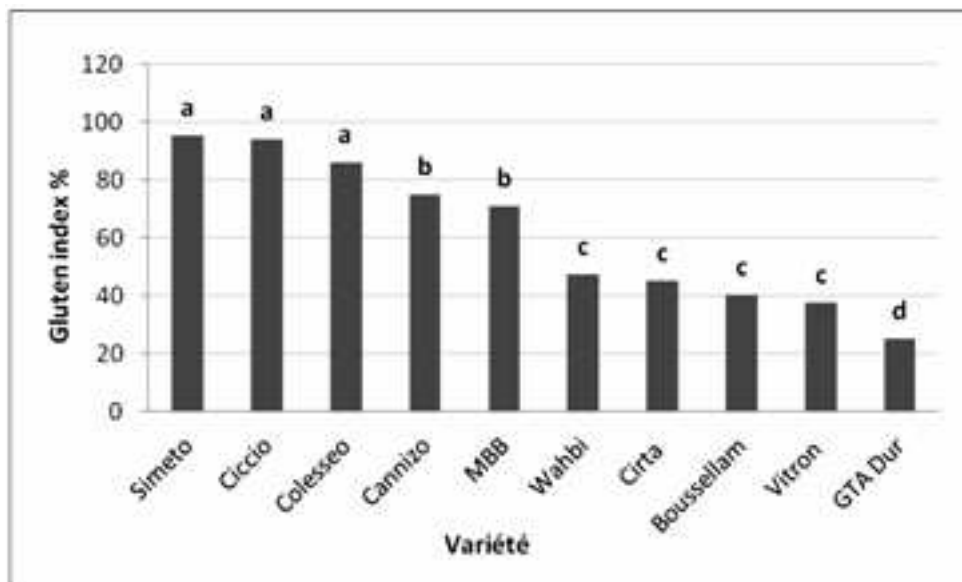


Figure 21 : Gluten index des variétés de blé dur

1.2.2.4 - Capacité d'hydratation

La capacité d'hydratation des semoules des variétés de blé dur analysées oscille entre 60,47% et 64,54 % pour respectivement Cirta et Cannizo, avec une moyenne de 62,59% et un écart type de 1,32 (figure 22).

L'analyse de la variance ne montre aucun effet significatif de la variété ($p=0,3037$; annexe 18). La comparaison des moyennes montre deux groupes homogènes qui se chevauchent (**a** : Cannizo, **ab** : Boussellam, MBB, Simeto, Ciccio, Wahbi; Vitron, Colesseo, GTA Dur, **b** : Cirta). (Annexe 18).

Ces résultats sont légèrement inférieurs à la norme (68%) rapporté pour le blé tendre par Calvel (1980). Pour Fisher (1997), il ne suffit pas d'avoir une teneur élevée en gluten, si celui-ci manque d'élasticité, de cohésion et de fermeté et ne possède pas un bon pouvoir absorbant.

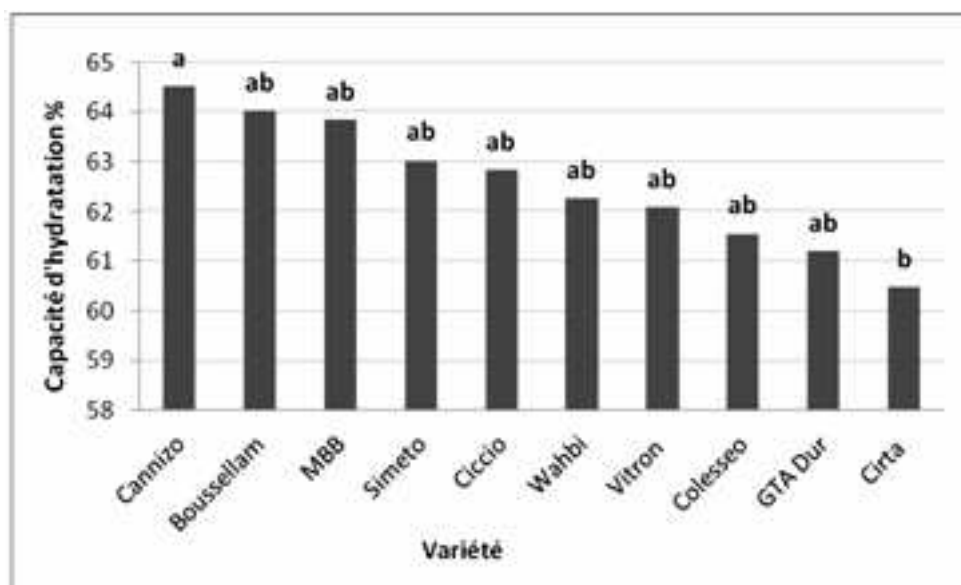


Figure 22: Capacité d'hydratation des variétés de blé dur

1.2.3 - Indice de chute

Ce test est utilisé pour déterminer l'activité α -amylasique qui peut devenir excessive par suite de la présence de grain germé ou en voie de germination (Godon et Loisel, 1997 ; ITFC, 2001).

L'indice de chute des différentes variétés de blé dur varie entre 491,5 sec et 877 sec respectivement pour la variété MBB et Ciccio avec une moyenne de 681,25 sec et un écart type de 132,59 sec (figure 23).

L'analyse de la variance pour ce paramètre indique un effet très hautement significatif de la variété ($p=0,0001$; annexe 19). La comparaison des moyennes révèle 5 groupes qui se chevauchent (**a** : Ciccio, Cannizo, Simeto, **ab** : Cirta, **bc** : GTA Dur, **c** : Boussellam, **cd** : Vitron, **de** : Colesseo, **e** : Wahbi, MBB). (annexe 19).

Selon Dubois (1994), le niveau correct de cette activité se situe pour les farines boulangères entre 260 et 300 sec.

D'après Godon et Loisel (1997), une activité enzymatique optimale correspondant à un indice de chute compris entre 200 et 300 secondes est indispensable pour l'obtention d'un pain de volume élevé et de caractéristiques de mie appréciables. Par ailleurs, une présence excessive ou insuffisante de l' α -amylase engendre la détérioration de la valeur boulangère des farines.

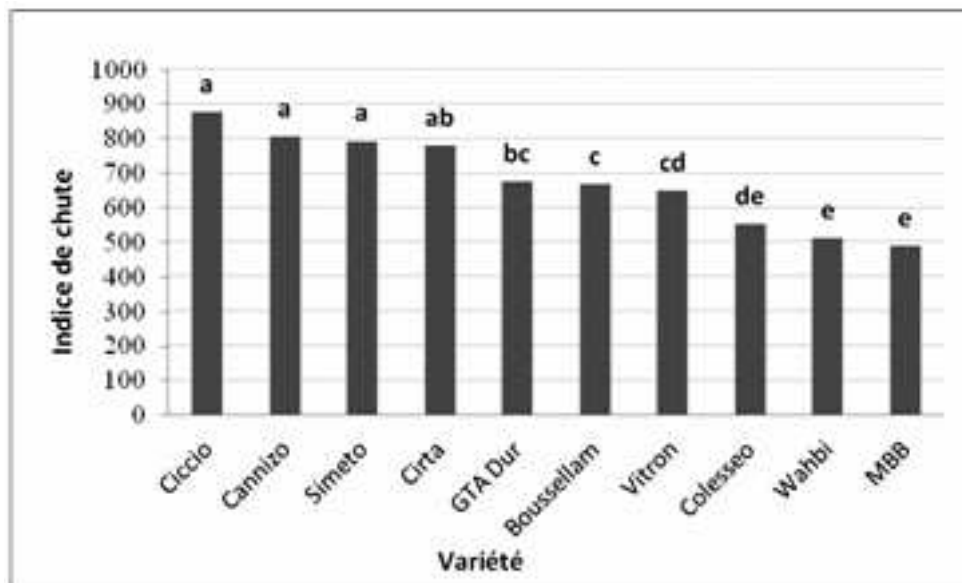


Figure 23 : Indice de chute des variétés de blé dur

Perten (1990) estime que pour des valeurs de temps de chute :

< 150 : l'activité α -amylasique est élevée.

De 220 à 300 : l'activité α -amylasique est à son optimum.

> 300 : défaut d'activité α -amylasique.

D'après les normes algérienne, l'indice de chute est correct entre 120 et 250 sec, au dessus de 250 sec, il y a défaut d'activité qui peut être aisément corrigé. Un indice inférieur à 180 sec, indique une activité amylasique élevée parfois préjudiciable à la panification. Au dessous de 120 sec, le lot de blé est inapte à son utilisation en boulangerie.

En fonction de cette classification les semoules étudiées présentent une activité hypo-diastatique qui s'explique par une pauvreté en α -amylase (Godon, 1991 ; Kettelwel et Cashman, 1997).

Ceci pourrait être corrigé par l'addition de malt des céréales ou d' α -amylase fongique, mais dans les limites fixées par la législation en vigueur (Dubois, 1996).

Selon Boyacioglu et *al.* (1994), l'activité enzymatique est fonction de la nature de l'amidon, tandis que Quaglia (1988) l'explique par les conditions pédo-climatiques (température, humidité, saison, sol...).

En dehors du fait qu'il révèle la présence de grains germés dans la farine, la mesure de l'activité enzymatique dégradant l'amidon est d'un intérêt capital pour la qualité du pain, type baguette, en particulier celle des α -amylases qui est corrélée positivement avec la qualité du pain, aspect de la mie, couleur de la croûte, dégagement gazeux (Pomeranz, 1985).

Toute activité excessive dans les farines provoque une détérioration importante de la qualité du pain, par contre, une insuffisance est à la base d'une fermentation trop lente et d'un développement faible du pain (Dubois, 1994).

Feillet (2000), montre que le temps de chute Hagberg ne dépend pas uniquement de la teneur en α -amylase de la farine, mais aussi du degré d'endommagement des granules d'amidon. Plus celui-ci est important, plus l'amidon est rapidement hydrolysé et moins est le temps de chute. De même, Godon et Loisel (1997), ont montré que l'amidon endommagé

présente une sensibilité accrue à l'action amylasique contrairement à l'amidon natif, cela à cause de la dispersion des granules d'amidon.

Selon Quaglia (1988), l'activité α -amylasique est influencée par l'humidité, une humidité élevée favorise la germination, accroît l'activité α -amylasique et par conséquent provoque la diminution de la valeur de l'indice de chute. En effet l' α -amylase attaque les liaisons α -(1,4) de l'amylose et de l'amylopectine et provoque donc une diminution rapide de la viscosité de l'empois d'amidon. Ceci est lié à la formation des dextrans, de maltose et de molécules de glucose.

Hosney et al. (1983), ont révélé que l'activité amylasique qui transforme l'amidon en sucre simple utilisable par les levures produisant le CO₂ nécessaire pour l'expansion des pâtes dépend de la disponibilité de ce substrat.

variétés	SDS (ml)	Gluten humide (%)	Gluten sec (%)	Gluten index (%)	Capacité d'hydratation (%)	Indice de chute (sec)
Boussellam	15,5	18,76	6,75	40,45	64,04	669
Cannizo	18,0	23,16	8,21	75,12	64,54	807,5
Ciccio	20,5	21,58	8,02	94,12	62,85	877
Cirta	15,0	18,29	7,23	45,26	60,47	780,5
Colesseo	17,5	20,30	7,81	85,96	61,56	553,5
GTA Dur	15,0	21,17	8,21	25,46	61,21	677
MBB	15,0	22,76	8,23	71,23	63,86	491,5
Simeto	19,5	25,95	9,59	95,58	63,03	793,5
Vitron	14,0	15,70	5,95	37,64	62,09	649
Wahbi	17,0	19,33	7,29	47,33	62,26	514
Moy	16,70	20,70	7,73	61,81	62,59	681,25
Ecart-type	2,16	2,89	0,99	25,56	1,32	132,59
CV%	12,95	13,98	12,81	41,35	2,10	19,46

Tableau 6 : Résultats des analyses technologiques des variétés de blé dur

1.3 - Analyses rhéologiques

Résultats consignés dans le tableau 7.

1.3.1 - Test au Mixographe

Ce test permet de déterminer quelques propriétés importantes de la pastification et de la panification des cultivars de blé dur en mettant en évidence en particulier la force du gluten.

Les paramètres qui régissent l'expression des résultats sont principalement le temps de développement ou temps de pétrissage qui pourrait caractériser la force (exprimé en minutes ou en millimètres) et la hauteur de la pente qui pourrait caractériser la force (exprimé en millimètres ou en pourcentage) (Mebtouche, 1998).

1.3.1.1 - Tolérance au pétrissage

Uthayakumaran et al. (2004) ont montré qu'une grande force de la pâte est estimée par un long temps de pétrissage au mixographe. La hauteur du pic obtenue au mixographe est le meilleur critère de prédiction de la masticabilité et la fermeté des pâtes de blé dur (Kovacs et al., 1997).

Williams (2008), rapporte la tolérance au pétrissage à la qualité du gluten et les caractéristiques d'extensibilité et d'élasticité de la pâte, c'est-à-dire, la quantité d'eau que peut absorber une semoule pour une consistance donnée sans relâcher ni coller excessivement tout en étant extensible et élastique.

Les hauteurs de pic enregistrées pour les semoules analysées varient entre 41,33mm et 59mm pour respectivement Vitron et Simeto avec une moyenne de 49,77mm et un écart type de 5,86 (figure 24). L'analyse de la variance indique un effet très hautement significatif de la variété sur le temps de développement ($p=0,0000$; annexe 20). La comparaison des moyennes révèle six groupes homogènes qui se chevauchent (annexe 20).

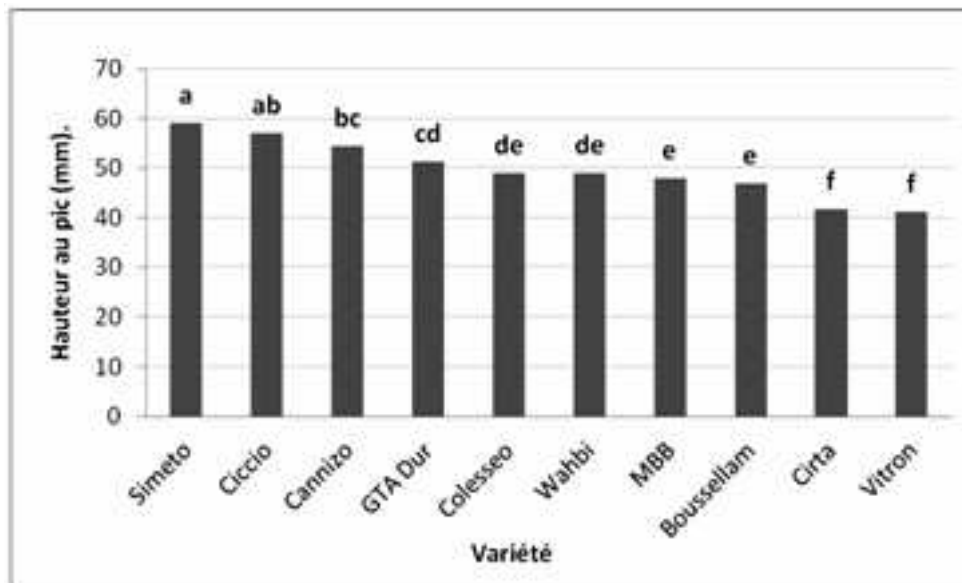


Figure 24 : Tolérance au pétrissage des variétés de blé dur

1.3.1.2 - Temps de développement

Le temps de développement des semoules analysées est compris entre 1,31 min et 5,21 min pour respectivement Vitron et Colesseo avec une moyenne de 3,37min et un écart type de 1,44 (figure 25).

L'analyse de la variance révèle un effet très hautement significatif de la variété sur le temps de développement ($p=0,0000$; annexe 21). La comparaison des moyennes révèle cinq groupes homogènes (annexe 21).

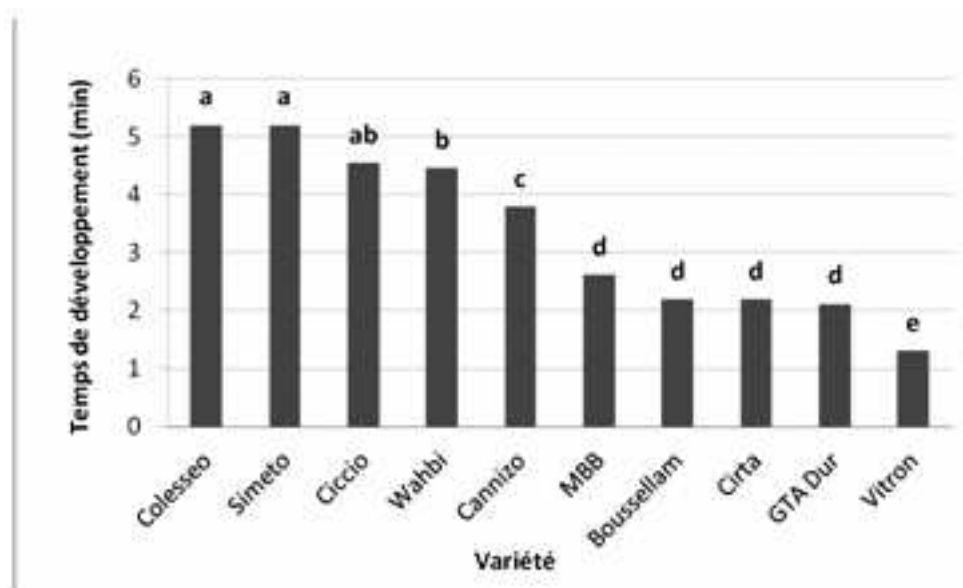


Figure 25 : Temps de développement des variétés de blé dur

Shogren (1986), a montré que la teneur en protéine influence le temps de développement au mixographe ; plus la teneur en protéines est faible, plus il est difficile de former une phase continue, et donc le temps de développement est élevé.

L'aspect qualitatif des protéines est important dans la détermination du temps de développement (Williams et al., 1988).

Aucune corrélation entre le T et le taux de protéines n'a été observée ; ce même résultat a été trouvé par Dong et al. (1992), qui concluent que le taux de protéine n'influe pas sur les paramètres du mixographe mais c'est la composition en gluténines qui est importante.

1.3.2 - Test à l'Alvéographe de Chopin

L'alvéographe CHOPIN permet d'évaluer les qualités plastiques d'une pâte non fermentée travaillée à hydratation constante en mesurant de manière continue les déformations d'une lamelle de pâte provoquées par la pression d'un courant d'air insufflé à la base de celle-ci jusqu'à sa rupture.

Les paramètres mesurés par les courbes de pressions (alvéogrammes) sont : la ténacité (P), le gonflement (G), l'extensibilité (L), le rapport de configuration (P/L) et le travail de déformation (W) (Dubois, 1996).

L'interprétation de l'alvéographe renseigne sur le comportement de la semoule en panification.

Les courbes des semoules obtenues sont présentées en annexe 24.

· Ténacité (P max)

La ténacité (P) représente la pression maximale nécessaire à la déformation de la pâte. La valeur de la ténacité (P) dépend d'une part de la viscosité, et d'autre part de la résistance élastique des pâtes, qui est elle-même liée à la quantité et à la qualité des protéines et à la capacité de fixation des différents constituants (amidon, amidon endommagé, pentosanes...) (Kittisou, 1995).

Nos résultats indiquent des valeurs de P allant de 60 mm à 166 mm pour respectivement MBB et Ciccio avec une moyenne de 110,5 mm et un écart type de 34,66mm (tableau 07, Figure26).

La différence de ténacité entre les blés est expliquée par Godon et Loisel (1997), qui indiquent que la ténacité est fonction de la variété.

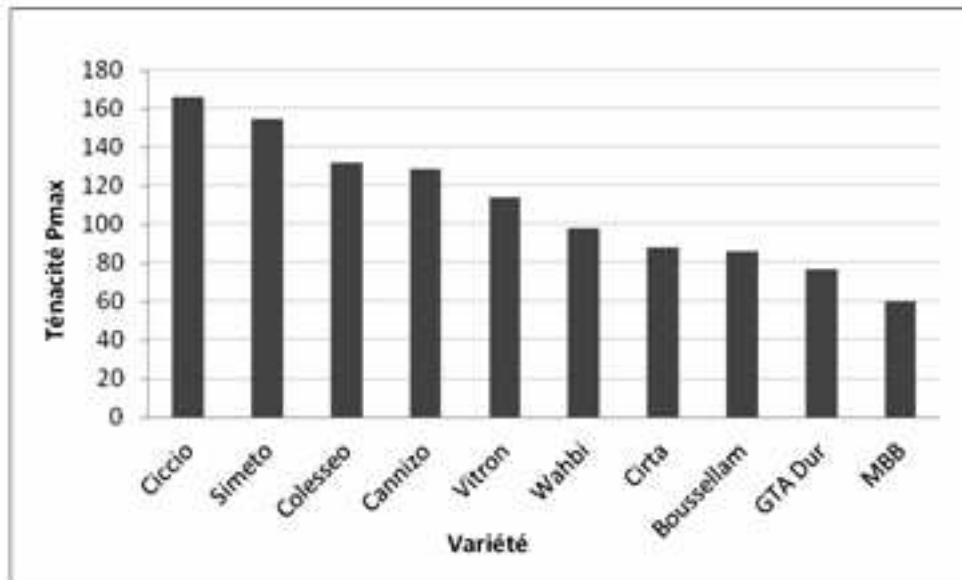


Figure 26 : Ténacité (mm) des variétés de blé dur (PMax)

D'après Berland et Roussel (2005), les semoules à ténacité moyenne ont un P de 40 à 60 mm, les semoules à bonne ténacité ont un P de 60 à 80 mm, et les semoules trop tenaces ont un $p > 80$ mm. Selon cette classification, nos semoules sont trop tenaces à l'exception de MBB et GTA Dur qui ont une bonne ténacité.

Selon Godon et Loisel (1997), l'augmentation de la ténacité est associée à celle de la teneur en protéines et en grande partie à la quantité de gluténines de haut poids moléculaire.

Certains paramètres tels que : la dureté, la granulométrie des particules, la teneur en amidon endommagé et en pentosane, affectent considérablement les indices alvéographiques (P, G, W, ...) (Renard et They., 1998).

Rapport (P/L)

Le rapport P/L ou rapport entre ténacité et extensibilité, est associé à un équilibre dans les caractéristiques physiques des pâtes (Le Blanc, 2008). Il traduit l'équilibre général de l'alvéogramme (équilibre des propriétés de ténacité et d'extensibilité des pâtes formées) (Dubois, 1994).

Les valeurs du rapport P/L des variétés de blé durs étudiées varient entre 1,55 et 11,95 pour respectivement MBB et Ciccio avec une moyenne de 5,48 de et un écart type de 3,25 (figure 27).

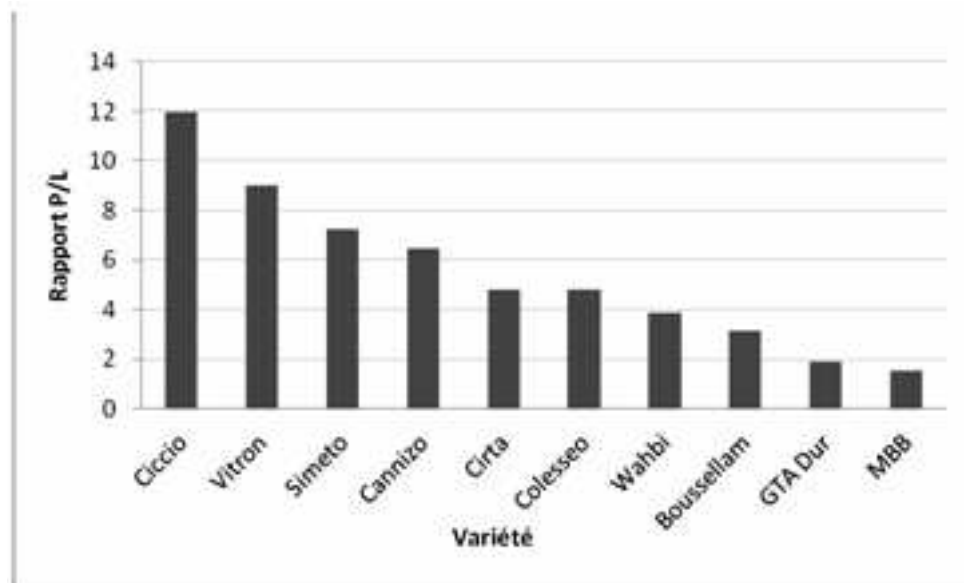


Figure 27 : Rapport P/L des variétés de blé dur

Selon Godon (1997), le rapport de configuration est influencé par la variété, ce qui explique les différences dans les valeurs de P/L de nos blés.

Il est possible de préjuger la ténacité et l'extensibilité d'une pâte, car plus le rapport de configuration est élevé (>1), plus la pâte sera tenace ; par contre si ce rapport est faible (<0.3), cela donne des pâtes qui auront une grande extensibilité (Delfrate et Stephan, 2005).

Dubois (1996) et Feillet (2000), préconisent un P/L compris entre 0.50 et 0.80 ; Cheftel (1977), prévoit pour les farines panifiables un rapport de configuration P/L compris entre 0,45 et 0,55. De ce fait, on peut conclure que nos semoules sont déséquilibrées.

Indice de gonflement (G)

L'indice de gonflement G est un critère de la qualité des farines (Colas, 1997). Il représente l'extensibilité des pâtes et permet d'apprécier l'aptitude du réseau glutineux à retenir le gaz carbonique (Godon et Loisel., 1997).

Les indices de gonflement des semoules de blé dur analysés varient entre 7,9 et 14,1 pour respectivement Vitron et GTA Dur avec une moyenne de 10,84, et un écart type de 2,07 (figure 28).

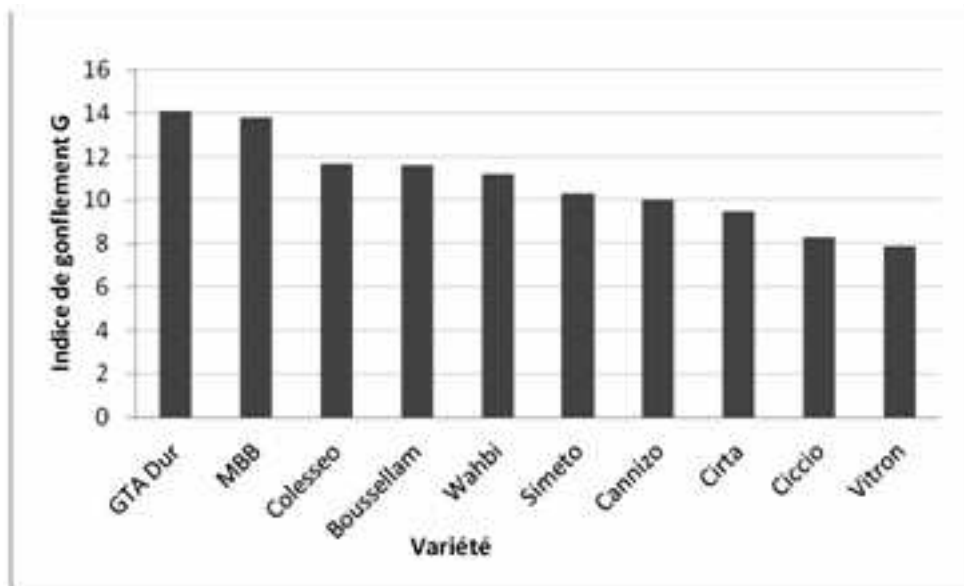


Figure 28: Indice de gonflement (G) des variétés de blé dur

Renard et Thery (1998), ont rapporté que l'indice de gonflement dépend principalement du taux de protéines.

D'après Martin (1998), l'extensibilité est liée à la capacité d'hydratation des protéines, mais les fortes teneurs en amidon endommagé et en pentosane provoquent une compétition pour l'eau et limitent leur absorption par les protéines de réserves, résultats qui ont été confirmés par Dexter et Edwards (2008).

C'est la fraction gliadines qui explique le caractère visqueux ou extensible de la pâte (Autran, 1996). Dacosta (1986), rapporte que les gliadines participent à l'extensibilité et au gonflement en favorisant le glissement des molécules des gluténines les unes sur les autres.

Force boulangère (W)

On estime que le travail de déformation de la pâte, nécessaire à la création d'une bulle, peut être considéré comme le modèle de ce qui se passe en boulangerie lors de la formation des alvéoles sous l'action du gaz carbonique dégagé au cours de la fermentation panaire (Boudreau et Menard, 1992).

La force boulangère enregistrée pour nos variétés oscille entre 62 et 156 pour Vitron et Colesseo respectivement avec une moyenne de 103,30 et un écart type de 30,73 (figure 29).

La variabilité de W est fonction de la variété de blé et notamment de la récolte qui diffère d'une année à une autre (Dubois, 1994 ; Bartolucci et Launay, 1997).

Le test de PEARSON indique une corrélation positive entre le P, le SDS, le gluten humide, le gluten sec et le gluten index ($r=0,686$; $r=0,615$; $r=0,655$ et $r=0,627$) (tableau : 08).

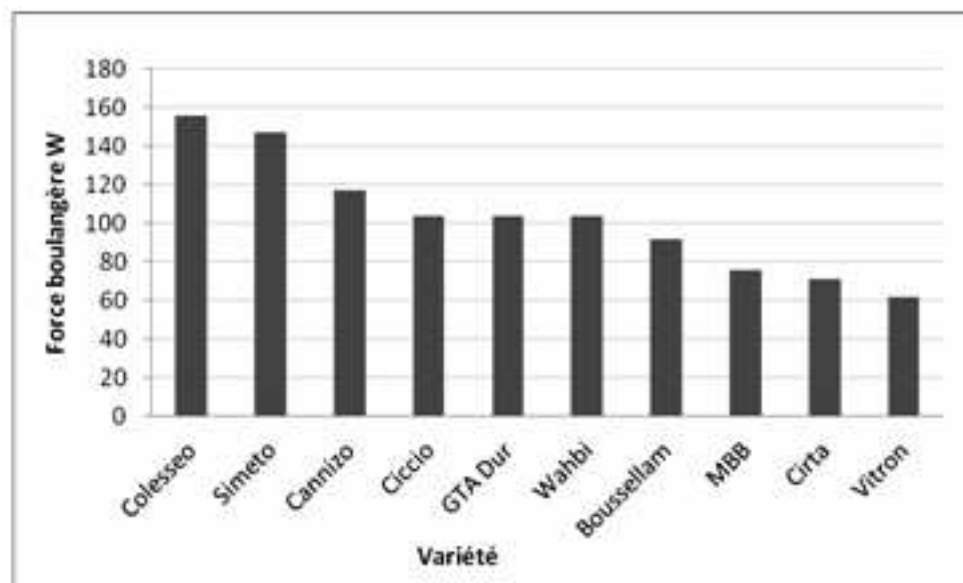


Figure 29: Force boulangère (W) des variétés de blé dur

La législation Algérienne classe les farines en fonction du W en :

- Farines issues de blé de force ($w > 250$) ;
- Farines améliorantes ou panifiables supérieures si l'alvéogramme est équilibré ($180 < W < 250$) ;
- Farine ayant une bonne force boulangère pour des W compris entre 130-180 ;
- Farine impanifiables pour $W < 130$.

D'après cette classification, mis à part Colesseo et simeto les restes des variétés ont une faible force boulangère et elles sont impanifiables.

Selon la classification de Modena (1978), les farines de force équilibrées peuvent atteindre un W supérieur à 400 en moyenne, une bonne farine de force a un travail autour de 250, les farines de force moyenne ont un W compris entre 110 et 170 et les farines ayant un W inférieur à 100 sont dites très faibles.

D'après Calvel (1980), si la valeur W d'une farine a de l'importance, sa signification reste limitée si l'on ne tient pas compte des autres caractéristiques alvéographiques. De même, Dubois (1994), trouve qu'une bonne valeur boulangère s'établit lorsque le W est compris entre 200 et 220 à condition que le P/L ne dépasse pas 0,8 (farine équilibrée).

D'après Dubois (1994), la farine boulangère a des W compris entre 200 et 220 joules avec un indice de gonflement supérieur à 18 cm^3 et des valeurs de P/L comprises entre 0,5 et 0,8.

La force boulangère est corrélée positivement à la teneur en gluténines des grains de blé (Martin, 1998).

- Indice d'élasticité

Cet indice permet de mesurer l'élasticité de la pâte. Alais et al. (2003), accordent l'élasticité aux gluténines, qui permettent d'obtenir une pâte élastique.

L'élasticité de la pâte peut être totalement ou partiellement inhibée par un excès d'extensibilité. Cependant une mesure de cet indice permet de déterminer l'équilibre optimal de ces deux propriétés.

Selon Feillet (2000), plus le rapport (P200/Pmax) est élevé, plus l'élasticité de la pâte est forte. Les propriétés rhéologiques du gluten (élasticité, extensibilité) sont influencées par la qualité et la quantité de la fraction protéique du complexe glutineux et par le type d'interaction et de liaison entre les différents constituants protéiques du gluten, ainsi que par l'interaction des fractions protéiques avec les autres fractions non protéiques (lipide, amidon) (Bakhshi et Bains, 1987).

L'indice d'élasticité est nul pour l'ensemble des semoules analysées dans cet essai.

1.3.3 - Test au Farinographe Brabender

Temps de développement (min)

Le temps de développement enregistré pour nos variétés oscille entre 3 et 5,7min pour Boussellam et Ciccio respectivement avec une moyenne de 4,29 et un écart type de 1,31 (figure30).

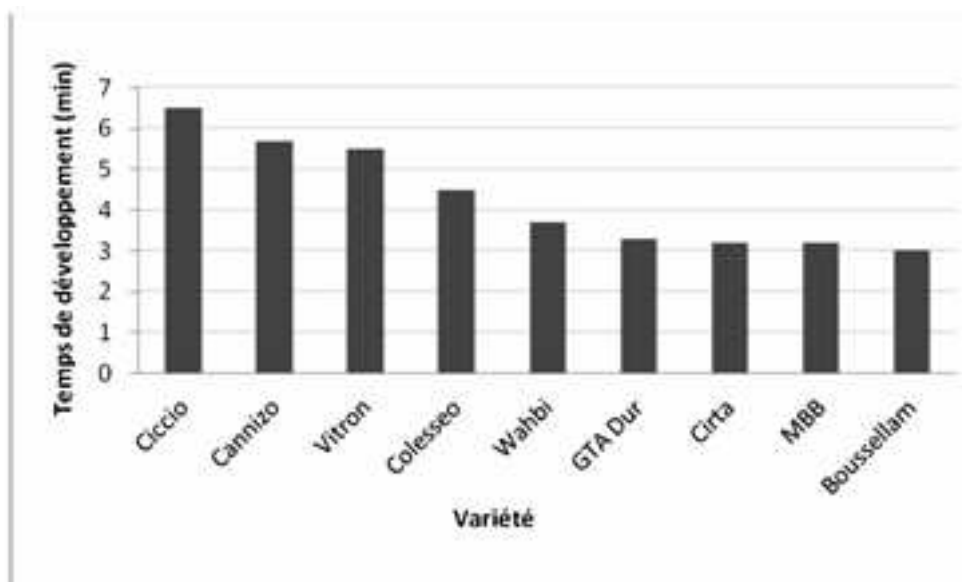


Figure 30 : Temps de développement

Stabilité

La stabilité enregistrée pour nos variétés varie entre 2,1 et 15,2 pour GTA Dur et Ciccio respectivement avec une moyenne de 5,67 et un écart type de 4,32 (figure 31).

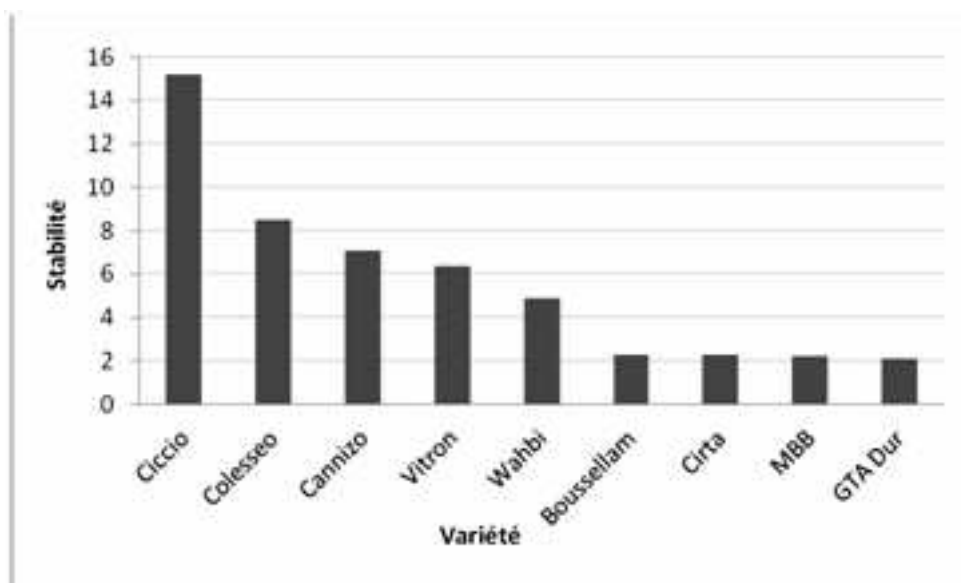


Figure 31 : Stabilité des semoules des blés durs en farinographe

· Temps d'affaiblissement

Le temps d'affaiblissement enregistré pour les différentes variétés oscille entre 27 et 104 min pour Ciccio et MBB respectivement avec une moyenne de 67,11 et un écart type de 31,82 (figure 32).

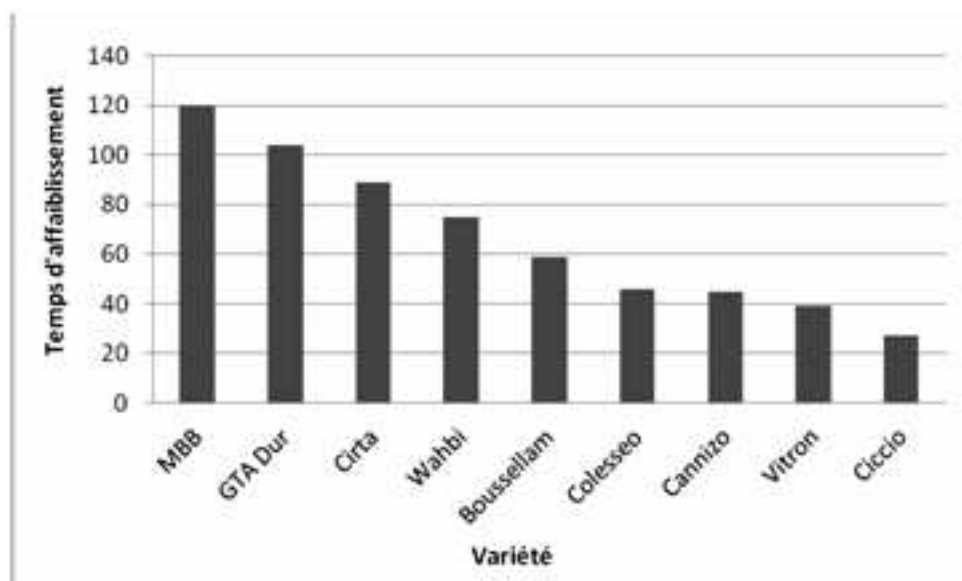


Figure 32 : Temps d'affaiblissement des semoules de blé dur

· Consistance

La consistance enregistrée pour nos variétés oscille entre 460 et 644 pour Wahbi et Ciccio respectivement avec une moyenne de 511,33 et un écart type de 55,83 (figure 33).

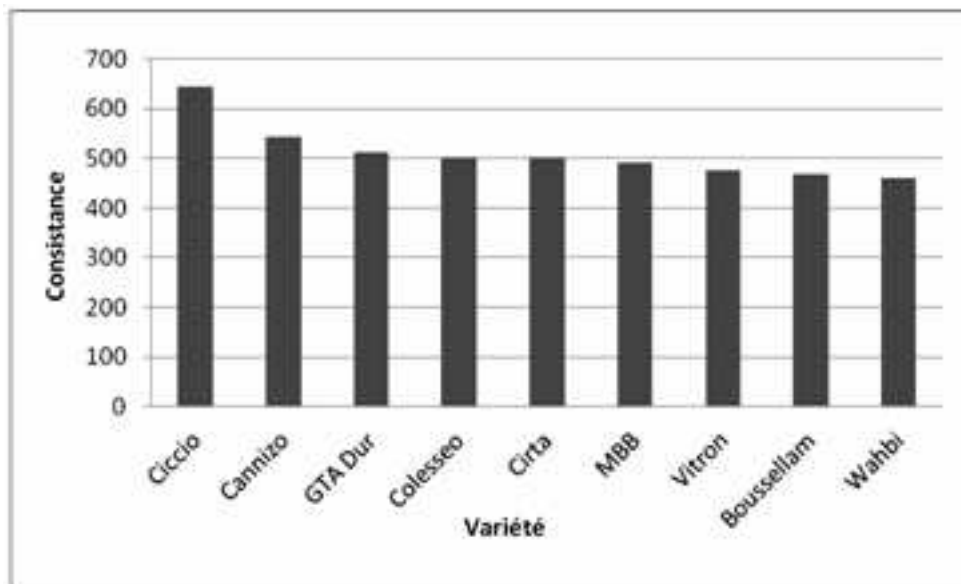


Figure 33 : consistance des semoules de blé dur

	Pain traditionnel	Pain viennois	Pain au lait	Pain de mie	Pain brioché	Observations
Farine	100	100	100	100	100	Le type de farine est choisi sur des critères de couleur de mie. La force est déterminée selon la richesse de la recette.
Eau	60	50 à 55	-	45 à 50	35 à 45	Selon la force de la farine et le pourcentage d'autres ingrédients
Sel	1,8 à 2,2	1,5 à 1,8	1,8 à 2	1,5 à 2	1,5 à 1,8	Selon la méthode de pétrissage, la quantité d'eau ajoutée et l'influence d'autres ingrédients.
Levure	1 à 2	3 à 5	2 à 5	2 à 6	2 à 6	Varie nécessairement avec la durée de fermentation
Sucre	-	4 à 8	2 à 5	0,5 à 5	5 à 10	Généralement saccharose mais également glucose, malt...
Lait	-					Plus souvent en poudre non grasse. En liquide pour certains produits spécifiques.
Matière grasse	-	5 à 15	5 à 10	0,5 à 10	10 à 20	Graisse végétale dans La plupart des recettes. Quelquefois du beurre. Quantités variable selon destination du pain et conservation (moelleux)
Oufs (liquides, en poids)	-	-	facultatif	-	10 à 20	Entiers liquides ou reconstitués.
Améliorants	Facultatif	QSP	QSP	QSP	QSP	De plus en plus utilisés dans le pain courant : la liste de produits autorisés est très limitée. Elle est plus large pour les autres types de pains.

Tableau 07 : Résultats des analyses rhéologiques des variétés de blé dur

2 - Essai de panification

Un essai de panification réalisé avec soin reste le moyen le plus fiable pour apprécier directement la valeur boulangère des farines (Bushuk, 1985).

2.1.- Appréciation des pâtes

L'appréciation de la qualité des pâtes est souvent difficile à réaliser. En effet, Dubois (1994), signale que des écarts notables de jugement séparent même des professionnels confirmés.

Les résultats montrent que la farine témoin (SIM) et les semoules des variétés Ciccio, Colesseo, Semito, Vitron et Wahbi présentent des pâtes sèches Boussellam, Cannizo, Cirta, GTA Dur et MBB présentent des pâtes collantes.

Ceci peut être expliqué par la qualité de leurs glutens. Calvel (1980), indique qu'un bon gluten doit donner des pâtes sèches, non collantes, de fortes ténacités et qui absorbent plus d'eau. De plus, Dubois (1996) a expliqué que le caractère collant est liée principalement aux taux d'hydratation qui dépend de la qualité et la quantité des protéines.

2.1.1.- Pétrissage, pointage et façonnage

Nous constatons que les pâtes des variétés Boussellam, Cannizo, Colesseo, Vitron et Wahbi se montrent moins extensibles comparées aux pâtes obtenues à partir de l'échantillon témoin. Pour l'élasticité, les pâtes des différentes variétés de blé dur sont toutes peu élastiques mis à part Boussellam et Cirta qui montrent une bonne élasticité. L'élasticité de la pâte est principalement due à la capacité des protéines du gluten à former des agrégats de haut poids moléculaire.

La nature, les propriétés et la quantité de ces agrégats dépendent des caractéristiques et des quantités des sous-unités gluténines de haut poids moléculaire et des sous-unités gluténines de faible poids moléculaire. Les liaisons covalentes, disulfures en particulier, y jouent un rôle essentiel (Feillet et *al.*, 1994).

Nous remarquons également que toutes les pâtes ne relâchent pas après pétrissage, gardent l'aspect rond après pointage (1^{ère} fermentation) avec un bon lissage. La viscosité de la pâte dépend davantage de la teneur en eau, de la teneur en lipides et de la quantité de liaisons réversibles (hydrogènes, hydrophobes, ioniques) liant les constituants entre eux. Celles-ci favorisent en effet des glissements moléculaires et donc la viscosité du milieu (Feillet et *al.*, 1994).

Après façonnage, toutes les pâtes restent fermes à l'exception de GTA Dur et Vitron qui sont raidits. Ceci est l'expression visuelle de la structure gluténique ou du développement du gluten. Il est lié principalement à la conformation des protéines, mais il est influencé aussi par leur niveau d'oxydation et la vitesse d'hydratation des particules (Roussel, 2000).

2.1.2.- Apprêt

Après la deuxième fermentation (apprêt), la forme des pâtons reste ronde et la pâte non déchirée mis à part les variétés : Cirta qui a des pâtons ronds mais légèrement déchirés et Vitron qui a des pâtons plats non poreux et déchirés. La surface des pâtons est croûtée pour Boussellam, Ciccio, Vitron et Wahbi.

2.2.- Appréciation des pains

Pour Calvel (1994), un pain de qualité est le résultat de la mise en œuvre d'un processus de panification qui doit donner un produit de bel aspect, d'un beau volume, à la croûte légèrement cassée, bien dorée et croustillante, à la mie souple et élastique, bien aérée, à la teinte blanc crème, à odeur agréable et d'un goût dont la flaveur est séduisante et appétissante. De même, Bushuk (1985), caractérise le bon pain par son grand volume, par sa belle forme de croûte, de texture et de couleur agréable et par une mie de bonne couleur à texture lisse, bien alvéolée non uniforme.

2.2.1.- Masse et volume du pain

Les pains issus des semoules de blé dur ont des masses qui varient entre 286,8g (Vitron) et 327,8 g (Cannizo), avec une moyenne de 303,91g et un écart type de 10,23. L'analyse de la variance montre un effet significatif de la variété sur le poids du pain (0,0158; annexe 21). La comparaison des moyennes révèle trois groupes homogènes qui se chevauchent (annexe 21).

Les volumes du pain sont compris entre 660 et 798 cm³ avec une moyenne de 733,64 cm³ et un écart type de 38,56 cm³ pour respectivement Vitron et Cannizio. L'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif (0,0000; annexe 22). La comparaison des moyennes révèle sept groupes homogènes (Annexe 22).

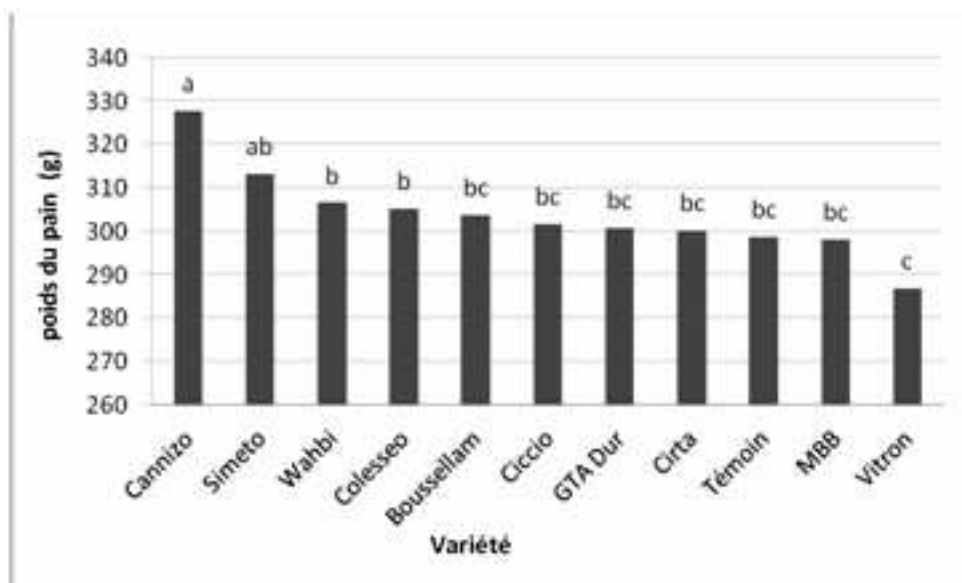


Figure 34 : Poids du pain (g)

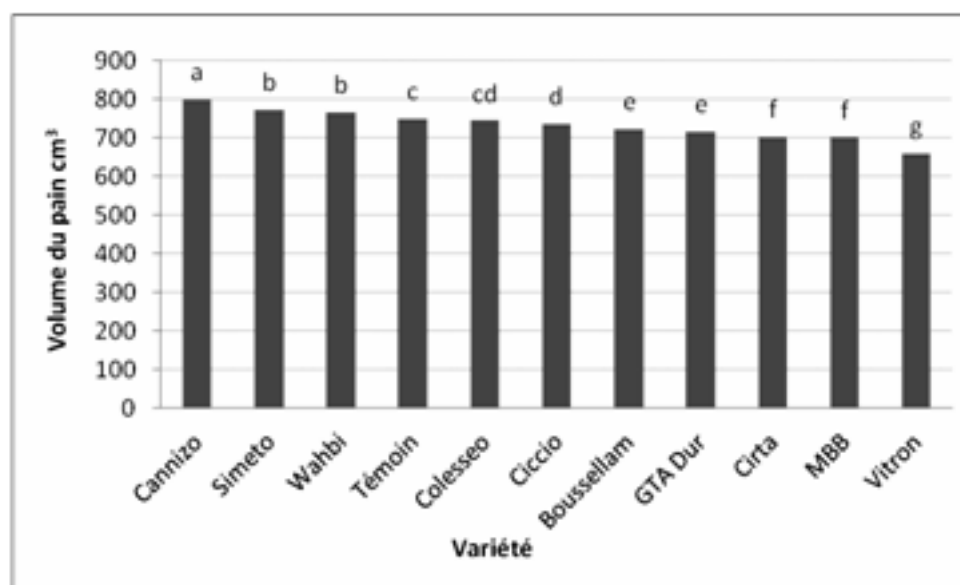


Figure 35 : Volume du pain (cm³)

Bushuk (1985) a rapporté que le volume du pain varie avec la composition chimique (surtout protéique) quantitative et qualitative de la farine. De plus, Singh et al. (1990), rapportent que le volume des pains est directement proportionnel à la quantité et la qualité des gluténines, en particulier, les gluténines de hauts poids moléculaires dans lesquelles les réactions d'oxydations et les ponts dissulfures exercent une action importante sur les propriétés viscoélastiques des pâtes qui déterminent un meilleur gonflement des pâtes et des pains bien expansés.

2.2.2.- Aspect extérieur du pain

Les pains issus de la semoule des blés durs montrent une section arrondie, sauf MBB et Vitron qui ont une section normale à légèrement aplatie, des coups de lames réguliers et bien jetés mais déchirés pour le témoin, Boussellam, MBB, Vitron et Wahbi et lisse pour le reste des variétés. La couleur du pain est rouge et brillante pour toutes les variétés mis à part Colesseo qui présente une couleur terne (planche 2).

La croûte de toutes les variétés est normale (ni fine ni épaisse) et croustillante, à l'exception de la variété MBB dont la croûte est épaisse et dure.

2.2.3.- Aspect de la mie

La mie des pains est de couleur crème, peu élastique, adhérente à la croûte, caractérisée par des alvéoles irrégulières et serrées et d'une paroi épaisse (planche 2).

2.2.4.- Flaveur

L'odeur et la saveur sont jugées bonnes pour toutes les variétés.

		Té mo in fa rin	Boussel lam	Cannizo	Ciccio	Gi ra	Collesseo	GTA Dur	MBB	Si mé to	Vi tron	Wahbi
Pétrissage	pâte	sèche	collante	collante	sèche	collante	sèche	collante	collante	sèche	sèche	sèche
		extensible	peu extensi	peu extensi	extensible	extensible	peu extensi	extensible	extensible	extensible	peu extensible	peu extensible
		élastique	élastique	peu élastiqu	peu élastiqu	élastique	peu élastiqu	peu élastiqu	peu élastiqu	peu élastiqu	peu élastique	peu élastique
		ne relâchant	ne relâchant	ne relâchant	ne relâchant	ne relâchant	ne relâchant	ne relâchant	ne relâchant	ne relâchant	ne relâchant	ne relâchant
		bon lissage	bon lissage	bon lissage	bon lissage	bon lissage	bon lissage	bon lissage	bon lissage	bon lissage	bon lissage	bon lissage
Pointage	pâte	très rond	rond	rond	très rond	rond	rond	rond	rond	très rond	plat non poreu	rond
Façonnage	pâte	reste ferme	reste ferme	reste ferme	reste ferme	reste ferme	reste ferme	raidit	reste ferme	reste ferme	raidit	reste ferme
		extensible	extensible	peu extensi	extensible	extensible	extensible	extensible	peu extensi	peu extensi	cassante	peu extensible
		élastique	peu élastiqu	peu élastiqu	peu élastiqu	élastique	peu élastiqu	peu élastiqu	élastique	peu élastiqu	peu élastique	peu élastique
Apprêt	Pâton	rond	rond	rond	rond	rond	rond	rond	rond	rond	plat non poreu	rond
	pâte	non déchiré	non déchiré	non déchiré	non déchiré	déchirée	non déchiré	non déchiré	non déchiré	non déchiré	déchirée	non déchirée
scarification et mise au four	Pâte	normale	croûté	normale	croûtée	normale	normale	normale	normale	normale	croûtée	croûtée
	pâton	rond	rond	rond	rond	rond	rond	rond	rond	rond	rond	rond
Masse et volume du pain	Masse	300	303,8	327,8	301,6	300,2	305,2	300,6	298,2	313,2	286,8	306,6
	Volume	723	723	798	736	709	744	717	698	773	630	765
Aspect extérieur du pain	Section	ronde	ronde	ronde	ronde	normale	ronde	normale	normale	ronde	normale	ronde
Couleur	Couleur	rouge	rouge	rouge	rouge	rouge	normale	rouge	rouge	rouge	rouge	rouge
		brillante	brillante	brillante	brillante	brillante	terne	brillante	brillant	brillant	brillant	brillante
		finesse de	normale	normale	normale	normale	normale	normale	épaisse	normale	normale	normale
		la croûte	croûtilante	croûtilante	croûtilante	croûtilante	croûtilante	croûtilante	croûtilante	dure	croûtilante	croûtilant
Coups de lame	bien jetés	bien jetés	bien jetés	bien jetés	bien jetés	bien jetés	bien jetés	bien jetés	bien jetés	bien jetés	peu jetés	bien jetés
		réguliers	régulier	régulier	régulier	régulier	régulière	régulier	régulier	régulier	régulier	régulier
		déchirés	déchirés	lisses	lisses	lisses	lisses	lisses	déchirés	lisses	déchirés	déchirés
Aspect de la mie	Couleur	blanche	crème	crème	crème	crème	crème	crème	crème	crème	crème	crème
	Texture	serrée	serrée	serrée	serrée	serrée	serrée	serrée	serrée	serrée	serrée	serrée
		irrégulière	irrégulière	irrégulière	irrégulière	irrégulière	irrégulière	irrégulière	irrégulière	irrégulière	irrégulière	irrégulière
		élastique	élastique	élastique	non élastiqu	no élastique	non élastiqu	non élastiqu	non élastiqu	élastique	non élastique	non élastique
		parois épais	parois épais	parois épais	parois épais	parois épais	parois épais	parois épais	parois épais	parois épais	parois épais	parois épais
Flaveur	Odeur-saveur	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne

Tableau 08: Appréciations des pains

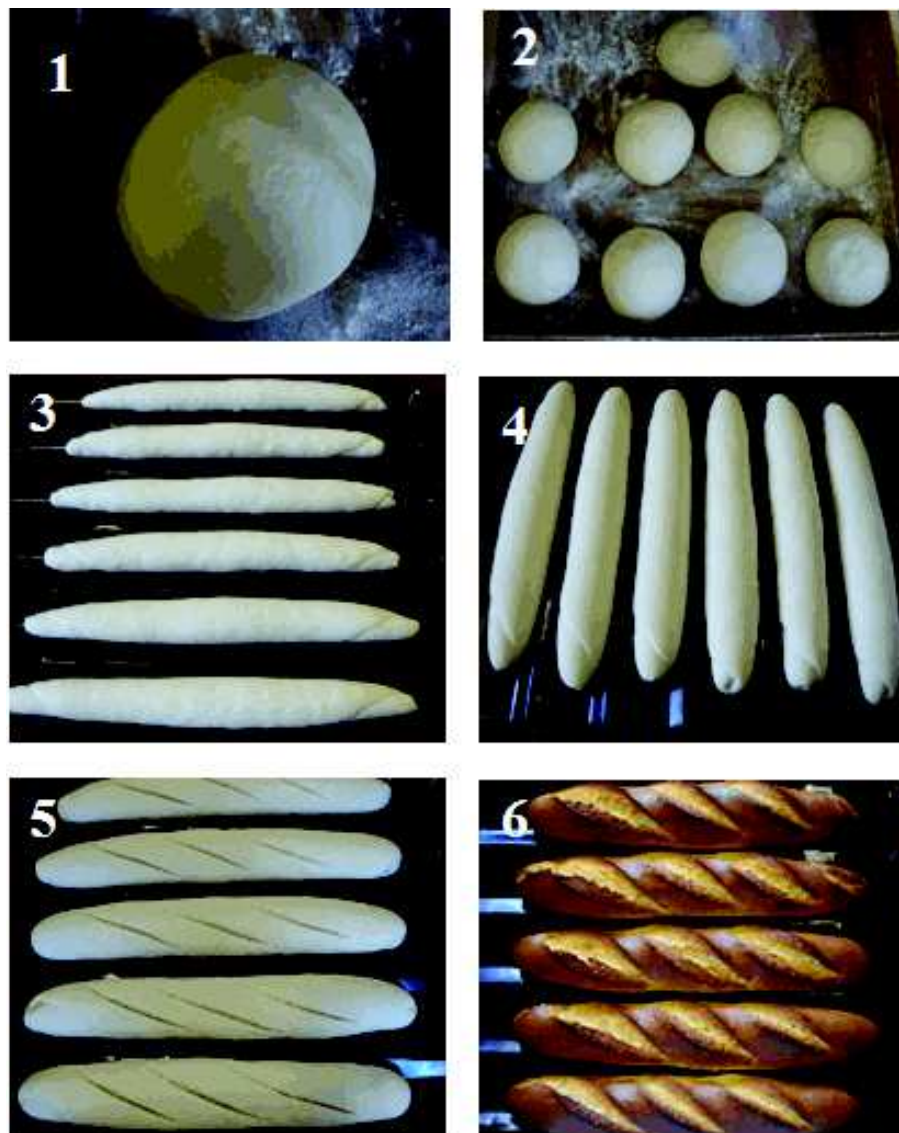


Planche n° 1 : Etape de la panification

1. Pointage (1ère fermentation ou fermentation en masse) ;
2. Boulage et Détente ;
3. Façonnage ;
4. Apprêt (2ème fermentation) ;
5. Scarification ;
6. Défournement.



Planche n° 2 : Pain issu de différentes variétés de blé dur

conclusion

Les variétés de blé dur analysées présentent des PMG élevés, des taux de moucheture faibles et des degrés de mitadinage différents, les plus élevés sont ceux de Vitron (45,89), Wahbi (42,78) et Colesseo (38,08).

Le taux d'extraction des variétés de blé dur est acceptable, il varie entre 58,65% et 71,52%. La granulométrie des semoules est moyenne et homogène.

L'ensemble des variétés présentent des indices de jaune (IJ) faible et des indices de brun (IB) correct et renferment des taux de cendre inférieurs à la valeur maximale tolérée (< 2%).

La teneur en protéines totales des variétés des blés durs testés est en moyenne de 12,13% pour le grain et de 11,38% pour la semoule. La variété Simeto présente la teneur en protéines totales la plus élevée (14,18% pour grain et 12,70% pour la semoule) suivie par Cirta.

Le SDS de toutes les variétés analysées est faible (14 à 20ml) ce qui peut être expliqué par la faible quantité de la fraction gluténine. Ciccio et Simeto présentent le SDS le plus élevé.

Pour le gluten humide et le gluten sec, l'ensemble des variétés renferme des taux faibles. Les plus grandes valeurs sont respectivement 25,95% et 9,59% sont obtenues pour la variété Simeto. Concernant le gluten index, il révèle des valeurs variables entre 25,46 et 95,58%.

Les capacités d'hydratation des semoules de nos variétés varient entre 60,45% et 64,54%, ces valeurs sont légèrement inférieures à la norme rapporté par Calvel (68%).

L'activité α -amylasique des variétés de blé dur exprimée par l'indice de chute est très faible (moy IC= 681,25s), les variétés de blé dur sont hypo diastasiques et nécessitent une correction par l'addition de malt ou l' α -amylase autorisée par la législation en vigueur.

Les résultats mixographiques montrent que la variété Simeto présente la tolérance au pétrissage et le temps de développement les plus élevés. Alors que Vitron reste la variété qui a la plus faible tolérance au pétrissage et le plus faible temps de développement.

Le test alvéographique montre que nos semoules sont trop tenaces $P > 80$ mm mis à part GTA Dur et MBB qui ont une ténacité moyenne. Le rapport P/L montre que nos variétés sont tenaces mais déséquilibrées. L'indice de gonflement (G) et la force boulangère (W) de nos variétés sont faibles. L'indice d'élasticité (le) est nul.

Les résultats au test farinographique montrent que la variété Ciccio donne le temps de développement, la stabilité et la consistance les plus élevés. Pour le temps d'affaiblissement, c'est la variété MBB qui a donné le temps d'affaiblissement le plus élevé.

Les résultats de l'essai de panification montrent que les pains issus des semoules de blé dur sont des pains bien à moyennement développés avec un coup de lame régulier et bien jeté, une couleur rouge brillante. La croûte est normale et croustillante. La mie est de couleur jaune, peu élastique et adhérente à la croûte et avec des alvéoles irrégulières et serrées. Le pain présente une bonne odeur et saveur. En général, la qualité de pain des

différentes variétés était bonne à l'exception de la variété Vitron qui a donné un pain de qualité moindre.

L'adoption des conditions de panification du blé tendre au blé dur conduit généralement à des pains de mauvaises qualités en raison des vitesses d'hydratation différentes. La faible valeur boulangère des blés durs a été attribuée par de nombreux auteurs à l'absence du génome D (Ammar et al., 2000).

Cependant, de nouvelles études montrent que la qualité boulangère du blé dur est liée positivement à la force du gluten et à la teneur en protéines polymériques non extractibles, permettant ainsi la fabrication d'un bon et beau pain (Dexter et Edwards, 2008).

Les génomes A et B contrôleraient ainsi, l'expression de la qualité boulangère des blés durs. Sissons (2008), préconise l'emploi d'une semoule (ou farine) de granulométrie comprise entre 120 et 190 μ m avec un taux d'amidon endommagé inférieur à 7.5%, une teneur en protéine supérieure à 13%, un rapport P/L \geq 1.5 et une force boulangère de 200x 10⁻⁴J. Le pain de blé dur rassis moins rapidement par rapport à celui du blé tendre dû probablement à des concentrations plus faibles en amylose.

Dans la perspective de poursuivre et d'approfondir ce travail, il serait judicieux de :

Elargir la gamme variétale pour pouvoir orienter les blés en panification ou en pastification,

Etudier les bases génétiques de la variabilité de la composition protéique en vue d'identifier des marqueurs de qualité.

Etudier les réactions physico-chimiques intervenant dans la détermination de la qualité du produit finis ;

Etudier l'effet des fractions protéiques sur la panification de blé dur ;

Optimiser un protocole de panification qui convient le mieux au blé dur ;

Réaliser des essais de coupage entre variétés de blé dur et blé tendre à des proportions différentes.

Références bibliographiques

- Abecassis J. et Feillet P., 1985. Pureté des semoules de blé dur, taux de cendre et réglementation. *Industrie des céréales*, 36 :13-18.
- Abecassis J., 1987. La mouture d'essai de blé dur. Recherches et applications industrielles. Mémoire d'Ingénieur. Ed. ENSMIC.
- Abecassis J., 1991. La mouture du blé dur. Les industries de première transformation des céréales. Ed. Lavoisier. Paris. Pp : 362-396.
- Abecassis J., 1996. Comprendre la qualité : la valeur semoulière. Comment s'explique-t-elle ? Coll. Perspectives blé dur INRA. Montpellier, France. 37-56.
- Abecassis J., Chaurand M. et Abbou R., 1996. Valeur semoulière des blés durs. In : influence des facteurs génétiques et agro climatiques sur la valeur meunière et semoulière des blés. CR fin de contrat IRTAC.
- Abecassis J. et Chaurand M., 1997. Appréciation de la valeur d'utilisation du blé dur en semoulerie et pastification. In. Guide pratique d'analyse. Ed. Tec et Doc. APRIA.
- Abecassis J., Chaurand M. et Laignelet T., 2010. Couscous, boulgour et polenta : procédés actuels et produits de la transformation industrielle des céréales.
- ACIA., 2006. La biologie de *triticum turgidum* ssp. Durum. Agence Canadienne d'Inspection des Aliments., 12 p. (En ligne) [http:// www. Inspection. gc.ca/francais/paveg/bio/dir/dir0607f.shtml](http://www.inspection.gc.ca/francais/paveg/bio/dir/dir0607f.shtml).
- AFNOR, 1982. Céréales et produits céréaliers, Recueil des normes françaises édité par l'AFNOR.
- Alais C., et Linden G., 1994. Abrégé de biochimie alimentaire 4ème édition Masson. Paris.
- Alais C., Linden G. et Miclo L., 2003. Biochimie alimentaire : les céréales, le pain. 5^{ème} éd. DUNOD. Paris. Pp : 133-134.
- Alause J. et Abecassis J., 1979. La qualité des nouvelles variétés française de blé dur. Cahier agriculture.
- Ammar K., Kronstad W., Morris C., 2000. Breadmaking quality of selected durum wheat genotypes and its relationship with high molecular weight glutenin subunits allelic variation and gluten protein polymeric composition. *Cereal Chem.*, 77 (2): 230-236.
- Amir Y., Djabri D., Guelil H. et Youyou A., 2004. Influence of environmental factors on the quality of wheat grows in Algeria. *Journal of Food Agriculture and Environment*. Finland. Vol. 2, N°. 2, PP. 315-319.
- Amokrane A., 2001. Evaluation et utilisation de trois sources de germplasmе de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mém. Mag. Institut d'Agronomie, université Colonel El Hadj Lakhedar, Batna. 80 P.

-
- Autran JC., 1996. La qualité culinaire : de quoi est-elle faite. Coll. Perspectives blé dur. Toulouse. France : 57-71.
- Bakhshi AK. et Bains GS., 1987. Study of the physic-chemical, rheological, baking and noodle quality of improved durum and bread wheat cultivars. *Journal of Food Science Technologies*, 24: 217-221.
- Bar C., 1995. Contrôle de la qualité des céréales et protéagineux. Lavoisier, Paris, 215p.
- Bartolucci JC. Et Launay B., 1997. Stress relaxation of wheat flour doughs following bubble inflation or lubricated squeezing flow and its relation to wheat flour quality. In. wheat structure, biochemistry and functionality. Ed. J D Schofield.
- Benbelkacem A., Sadli F. et Brinis L., 1995. La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie. ISB Annaba. Pub ciheam. Option méditerranéenne ;
- Berland S. et Roussel P., 2005. Qualité technologique. ENSMIC. <http://ensmic.scola.ac-paris.fr/çéà.htm>
- Berot S et Godon B., 1991. Le craquage des grains, in biotransformation des produits céréaliers. Ed. Tec et Doc.
- Boggini G., 1985. Valutazione dell'attitudine panificatoria di alcune varietà di grano duro. *Tec. Molitoria* 36: 579-587.
- Bonjean A. et Picard E., 1990. Les céréales à paille : Origine – Histoire – Economie – Sélection. Softword/ITM. Pp : 14-167.
- Borrelli G.M. Troccoli A., Di Fanzo N. et Fares C., 1999. Durum wheat lipooxygenase activity and other quality parameters that affect pasta color. *Cereal Chemistry*, 76: 335-340.
- Borrelli G.M., De Leonardi A.M., Fares C., Platani C. et Di Fanzo N., 2003. Effect of modified processing conditions on oxidative properties of semolina dough and pasta. *Cereal Chemistry*. 80: 225-231.
- Boudreau A. et Menard G., 1992. Le blé, éléments fondamentaux et transformation. Ed. les presses de l'université Laval.
- Boulal H., Zaghouane O., El mourid M et Rezgui S., 2007. Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orges) dans le Maghreb (Algérie, Maroc et Tunisie). Co-Edition ITGC/INRA/ICARDA. 176 p.
- Bourdeau A. et Gregoire Y., 1992. Le blé : éléments fondamentaux et transformation.
- Bourgeois et Larpent, 1992. Microbiologie de la fermentation panaria, collection science et tech agro-alimentaire. Ed. Tec et Doc. Lavoisier.
- Boyacioglu M. H. et D'apollonia B.I., 1994. Characterization and utilization of durum wheat for bread making. Comparison of chemical, rheological and baking properties between bread wheat flours and durum wheat flours. *Cereal chemistry*, 71: 21-28.
- Bruneel C., Pareyt B., Brijs K et Delcour J.R., 2010. The impact of the protein network on the pasting and cooking properties of dry pasta products. *Food Chemistry*, 120: 371-378.
- Bushuk W., 1985. Flour protein: structure and functionality in dough and bread cereal food word. Pp: 447-452.
-

- Calvel R., 1980. Boulangerie moderne. 9ème édition. Eyrolles-Paris.
- Calvel R., 1994. Maîtrise du pétrissage et de la fermentation pour l'élaboration d'un pain de qualité. Industrie des céréales Avril/ Mai/ Juin : 14- 16.
- Cheftel J.C. et Cheftel H., 1977. Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Ed. Tec et Doc, Lavoisier, Paris. Tome 1 et 2.
- Colas A. et Petel D., 1984. Analyse physiques des farines. In Guide pratique d'analyses dans les industries des cereals, coordonnateurs Godon B. et Loisel W. Ed. TEC&DOC. Lavoisier-Paris. Pp: 153-156.
- Colas A., 1997. Dosage des cendres et matières minérales, guide pratique d'analyse dans les industries des céréales, Coordonnateurs, Godon B, Loisel W. Ed. Tec & Doc, Lavoisier-Paris. PP : 296-300.
- Cook J., Jahson V.A. et Allan R.E., 1993. Méthode traditionnelles de sélection des plantes : un aperçu historique destiné à servir de référence pour l'évaluation du rôle de la biotechnologie moderne. OCDE. Pp : 39-41.
- Cubadda R., 1988. Evolution of durum wheat, semolina and pasta in Europe. In Durum Wheat: chemistry and technology. Coord. Fabriani G et Lintas C. PP 217-235. Edité par American Association of Cereal Chemist (AACC).
- Cubadda R., Carcia R., Pasqui L. et Perten H., 1992. Suitability of the gluten index method for assessing gluten strength in durum wheat and semolina. AACC. Vol 37 ; 12 : 866-869.
- Cubadda R. Aureli F., Raggi A. et Carcea M., 2009. Effect of milling, pasta making and cooking on minerals in durum wheat. Journal of Cereal Science, 49: 92-97.
- Dacosta Y., 1986. Le gluten de blé et ses applications. A.P.R.I.A. 23-55.
- D'Egidio M., Fortini S., Galterio G., Mariani B.M., Sgrulletta D. et Volpi M., 1979. Protéines totales et composition protéique de semoules de blés durs italiens, corrélation avec la qualité des pâtes alimentaires. Plant Foods for Human Nutrition. Vol. 28, 24: 333-347.
- Delfrate R. et Stephan C., 2005. Mieux connaître la farine : spécial analyses, les nouvelles de la boulangerie. 85 :1-61.
- Demarchi I., 1994. La qualité des blés et des pâtes alimentaires. Séminaire Européen comett. Montpellier. 16-18 Janvier. PP : 80-88.
- Dexter J.E. et Matsuo R.R., 1980. Relationship between durum wheat protein properties and pasta dough rheology and spaghetti cooking quality. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 26:899.
- Dexter et Edwards., 2008. Problèmes d'interprétation des courbes alvéographiques liés aux farines de blé commun vitreux. Commission Canadienne des Grains. www.grainscanada.com
- Dick J. et Quick J.S., 1983. A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early generation durum wheat breeding lines. Cereal Chemistry, 60:276-278.
- Dick J.W. et Matsuo R.R., 1988. Durum wheat and pasta products. Wheat chemistry and technology, 3ème édition, vol. 11, Pomeranz Y., ed. American Association of cereal chemistry. Saint Paul, Minnesota.

- Dubois M., 1994. Le contrôle de la qualité : eau, farine, levure et pain In panification française. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. Pp. 506-521.
- Dubois M., 1994. Rendement en pâte en boulangerie et en industrie de la cuisson. Industrie des Céréales. 89 : 39-43.
- Dubois M., 1996. Les farines : caractérisation des farines et des pâtes : dernier développement dans le domaine analytique. Industrie des Céréales. n° 97.
- Erroux J., 1974. Agronomie méditerranéenne. Tome I. Le milieu méditerranéen et ses problèmes. Les cultures vivrières en Algérie. 387 p.
- Faubion J.M. et Hosney R.C., 1981. Lipoxygénase : its biochemistry and role in breadmaking. Cereal Chemistry. 58 : 175-180.
- Feillet P. et Abecassis J., 1976. La valeur d'utilisation des blés durs. Compte rendu séminaire internationale de céréaliculture de Gembloux, Belgique. PP. 551-560.
- Feillet P., 1988. Protein and enzyme composition of durum wheat. In : Durum wheat: chemistry and technology. G. Fabriani and C. Lintas, ed. American Association Cereal Chemistry. St Paul; MN.
- Feillet P., 1994. Structure et propriétés des protéines du blé dur. Séminaire Européen, Montpellier, 26-28 janvier. PP : 19-22 ;
- Feillet P., Guinet R., Morel M.H., et Rouay X., 1994. La pâte : formation et développement dans le domaine analytique. In panification française. Ed. Tec et Doc, Lavoisier-Paris.
- Feillet P., 2000. Le grain de blé : composition et utilisation. Ed. INRA, Paris, 308p.
- Fenn D., Lukow O.M., Bushuk W. et Depauw R.M., 1994. Milling and baking quality of IBL/IRS translocation wheats: Effect of genotype and environment. Cereal Chemistry, 71: 189-195.
- Fisher J., 1997. Informations apportées par les essais de panification : signification, interprétation, limites. Industrie des Céréales, 103 : 17-22.
- Gate P., 1996. Une filière orientée vers la qualité. In. INRA., ITCR ONIC ; Perspectives Blé Dur. Toulouse, France. p 126.
- Giuseppe F. et Lintas C., 1988. Durum: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, Inc. Monnosota, USA. P. 332.
- Godon B., 1978. Matière minérale du gluten de blé et farine. Bull. ENSMIC. 238 : 33-47.
- Godon B., 1981. Le pain pour la science, n° 20.
- Godon B., 1991. Biotransformation des produits céréaliers. Ed. Tec et Doc. Lavoisier-Paris. PP : 9-24.
- Godon B et Bérot S., 1991. Les constituants des céréales : nature, propriétés et teneurs. In biotransformation des produits céréaliers. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Paris.
- Godon B. et willm C., 1991. Les industries de première transformation des céréales. Ed Tec et Doc. Lavoisier.
- Godon B., 1997. Guide pratique des analyses dans les industries des cereals. Lavoisier, Paris, 819p.

- Godon B. et Loisel W., 1997. Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. 2ème édition. Collection science et techniques agroalimentaires. Lavoisier Tec et Doc. Paris. 819 p.
- Godon B. et willm C., 1998. Les industries de première transformation des céréales. Ed Tec et Doc. Lavoisier.
- Grandvoinet P. et Praty B., 1994. Les ingrédients des pâtes : Farine et mixes. In La panification française. Ed. Tec et Doc. Lavoisier. Paris. Pp. 100-103.
- Grignac P., 1977. Le blé dur : monographie succincte. Annales de l'INA 1978. 15p.
- Grosch W., 1986. Redox system in dough. Chemistry and physics of baking J.M.V. Blanshard, P.J.Frazier, and T. Galliard. Ed, Royal Society of Chemistry, London.
- Guinet R. et Godon B., 1994. Panification française. Coll. Sci. et Tech. Agro-alimentaire Ed. Tec. and Doc. Lavoisier. Paris.
- Guttieri M.J., Mclean R., Lanning S.P. Talbert L.E. et Souza E.J., 2002. Assessing environmental influences on solvent retention capacities of two soft white spring wheat cultivars. Cereal Chemistry. 79: 880-884.
- Hardouin JP., Lonnet P., Lemaire P., Haselé H., Trottet M., Bastergue P., Branlard G., Jestain G., Roumet P., Bar C. et Bernicot M., 2002. Sélection variétale des céréales à paille. Dossier Gnis. <http://www.gnis.pedagogie.org/pages/paille/intro.htm>
- Hazen S.P. et Ward R.W., 1997. Variation in soft winter wheat characteristics measured by the single kernel characterization system. Crop Science. 37: 1079-1086.
- Hebrard A., Oulahna D., Galet L., Fages J., Samson M.F., Morel M.H. et Abecassis J., 2001. Etude morphologique et structurale des semoules du blé dur : propriétés d'hydratation et d'agglomération. In. Récents progrès en génie des procédés. Ed. Tec et Doc. Lavoisier.
- Hosney R.C. Lineback D.R. et Seib P.A., 1983. Role of starchin bake foods. The bakers digests. 65-71.
- ITFC., 2001. Contrôle de la qualité des céréales et des protéagineux. Guide pratique ITFC. Laboratoire qualité des céréales. Pp : 165-219.
- Jeanet R., Croguennec T., Schuck P. et Brule G., 2007. Biochimie-microbiologie-procédés-produits. Science des aliments. V2 technologie des produits alimentaires.
- Kaid N., 1998. Etude d'oxydoréductases impliquées en technologie boulangère agissant sur l'acide ascorbique et les thiols. Thèse de doctorat, Université Paris VII, Paris, France, 217p.
- Kent N.L. et Evers A.D., 1994. Technology of cereals: An introduction for students of food and agriculture. 4ème édition. Pergamon.USA. 334.
- Kettelwel P.S. et Cashman M.M., 1997. Alpha amylase activity of wheat differing in grain drying rate. Journal of Agriculture Science. UK. Vol. 128, N°128. PP. 127-134.
- Kittisou P., 1995. Un nouveau paramètre alvéographique (Indice d'élasticité). Industrie des céréales.
- Kobrehel k., Laignelet B. et Feillet P., 1974. Study of some factors of macaroni brownness. Cereal Chemistry. 51: 675-684.

- Kovacs M.I.P., Poste L.M., Butler G., Woods S.M., Leisle D., Noll JS. Et Dahlek G., 1997. Durum wheat quality. Composition of chemical and rheological screening test with sensory analysis. *Journal of Cereal Science*. 25: 65-75.
- Lacen S., 1990. Influence du conditionnement des blés tendres sur la composition biochimique et des aptitudes technologiques de la farine. Mémoire d'Ingénieur UMMTO.
- Lallem Y., 1979. Recherche des aptitudes technologiques de quelques variétés de blé dur cultivées en Algérie. Mémoire d'Ingénieur d'état ENSA. El Harrach. Alger.
- Larpent J. P., 1992. Les produits et substrats de la panification. In la microbiologie de la fermentation panaria. *Agro Alimentaire Information*, n° 8 :3-13. Ed, C.D.I.U.P.A. (ministère de l'agriculture).
- Le Blanc A., 2008. Les caractéristiques rhéologiques des pâtes. ENSMIC-Alimentation humaine- condensé de cours.
- Lempereur I., Chaurand M., Abecassis J. et Autran J .C., 1997. Valeur semoulière des blés durs (*Triticum durum* Desf.) : influence de la taille des grains, industries des céréales, 104, 13-20.
- Lintas C., 1988. Carbohydrates of durum wheat. In. *Durum wheat chemistry and technologies*. Fabriani and LintasC. Ed. A.A.C.St. Paul. Minnesota. USA.
- Luraschi A., 1955. *Trattato della Moderna Panificazione*. Hoepli, Milan.
- Macheix J.J., 1996. Moucheture : le point sur les connaissances. Actes du colloque Perspectives blé dur, Toulouse-Labège.
- Mahaut B., 1996. Comment évalue-t-on la qualité d'un blé dur ? In. *Le blé, objectif qualité*. Ed. ONIC. ITCF : 28-30.
- Martin G., 1998. Quantité et qualité : les enseignements de la champagne. *Industries des céréales*, N°. 110, Pp : 5-9.
- Matsuo R. et Dexter J.E., 1980. Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties. *Canadian Journal of Plant Science*. 60: 49-53.
- Mebtouche k., 1998. Caractérisation technologique de quelques lignées de blé dur. *Céréalicuture*. Institut Technique des Grandes Cultures. Alger. 32 : 27-33.
- Modena A., 1978. Manuel pour le fonctionnement d'un moulin. Ed. Tripette et Renaid.
- Motquin et al., 2007. Méthodes d'appréciation de la qualité des blés (et épautres) destiné à la panification.
- Multon J. L., 1982. Conservation et stockage des grains et produits dérivés. Ed. Tec & Doc., Lavoisier. Paris.
- Multon J.L. et Martin G., 1984. Mesurage de la teneur en eau. In. guide pratique d'analyse dans les industries céréalières. Ed. Tec et Doc.
- Nakkoul et Rihawi, 1988. Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur pastière du blé dur. *Industrie des céréales*, 70: 14-26.
- Nicolas J. et Potus J., 1994. Phénomènes d'oxydation enzymatique et cooxydation. Exemples du rôle de la lipoxygénase en panification et de la polyphénol oxydase en technologie des fruits. *Sciences des Aliments*, Pp : 62-64.

- Oury F.X., Leenhardt F., Remesy C., Chanliaud E., Duperrier B., Balfourier F. et Charmet G., 2006. Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentration in bread wheat. *European Journal of Agronomy*. 25: 177-185.
- Parker G.D., Chalmers K.L. Rathjen A.J. et Langridge P., 1998. Mapping loci associated with flour colour in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet*. 97: 238-245.
- Palumbo M., Spina A. et Boggini G., 2000. Agronomic and bread-making characteristics of durum wheat genotypes deriving from interspecific hybridisation with bread wheat. *Options Méditerranéennes*, PP: 515-518
- Payne P., Holt L. et Jackson A., 1984. The association between gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties: A direct causal effect or the result of genetic linkage? *Journal of Cereal Science*. 2: 73-81.
- Perten H., 1990. Rapid measurements of wet gluten quality by gluten index. *Cereal Foods World*. 35:401p.
- Promeranz Y. Wheat chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, Inc., 821p.
- Quaglia G.B., 1988. Other Durum Wheat Products. in Giuseppe F. et Lintas C. (1988). *Durum: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota, USA. P. 263-281.
- Ravindra M.P. Manoj D.O. Shubhada A.T. Sourdille P. et Veliventi S.R., 2007. Mapping and a validation of a major QTL for yellow pigment content on 7AL in durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp durum). *Mol Breeding*, 21: 485-496.
- Renard C., et Thery S., 1998. Détermination des méthodes physicochimiques pour prédire la qualité biscuitière et boulangère des blés français. *Industrie des céréales*. 109 : 31-36.
- Roussel P. H. et Bartollucci J. C., 1997. Comportement des pâtes boulangères au façonnage. *Industries des céréales* n° 102 : 5-15 ;
- Roussel P.H. , 2000. Approche collective de la qualité des blés et les farines de l'année 2000.
- Roussel P. et Chiron H., 2005. Les pains français : évolution, qualité, production. Edition MAE ERTI, Paris, 171 - 172
- Royo C., Elias M.E. et Manthey F.A., 2009. Durum wheat breeding. In. *Handbook of plant breeding: Cereals*. Springer, 198-219.
- Sassi Y., 2007. Transformation des céréales. Recueil des fiches sous sectorielles. EDPme-Ed.
- Senator A., 1983, contribution à l'étude de la valeur couscoussière : comparaison entre deux processus de fabrication. Mémoire d'Ingénieur. INA. El Harrach.
- Shorgen M., 1986. The mixograph. Quality control seminar, American Institute of Baking. Manhattan, Kansas.
- Singh N.K., Donan O.R. et Macritehich F., 1990. Use of sonification and size exclusion IIPLC in the study of wheat flour proteins. II. Relative quality of gluten and a measure of bread making quality. *Cereal Chem*, 67: 161-170.

-
- Sissons M., 2008. Role of the durum wheat composition on the quality of pasta and bread. Global science books. Food, 2 (2): 75-90.
- Soltner D., 2005. Les grandes productions végétales, Phytotechnie spéciale. 20ème édition. Collection sciences et techniques agricoles. Paris. France. 472p.
- Souza E.J. Martin J.M. Guttieri M.J., O'brien K.M., Habernicht D.K., Lanning S.P., Mclean R., Carlson G.R. et Talbert L.E., 2004. Influence of genotype, environment and nitrogen management on spring wheat quality. Crop Science, 44: 425-432.
- Taha S.A. et Sagi F., 1987. Relationship between chemical composition of durum wheat semolina and macaroni quality. Ash, carotenoid pigments and oxidative enzymes. Cereal Research Communications, 15 : 123-129.
- Tigroudja F., et Bendjoudioudda A., 1999. Influence de la granulométrie de la semoule sur la qualité technologique du couscous (artisanal) de blé dur. Mémoire d'Ingénieur. INA El Harrach.
- Trentesaux E., 1992. Evaluation de la qualité du blé dur. In. Fonzo N, Kaan F. et Nachit M. Durum wheat quality in the Mediterranean region. Option Méditerranéennes, Série A, n° 22 CIHEAM-IAMZ.
- Uthayakumaran S. Lafiandra D. et Gianibelli M.C., 2004. Evaluation of durum wheat quality using micro-scale and basic rheological tests. In. the proceedings of the 8th gluten workshop, 8-10 septembre 2003. Viterbo (Italy). The gluten proteins. Cambridge, the Royal Society of Chemistry, 192-195.
- Wesley A.S., Lukow O.M., Ames N., Kovacs M.I.P., Mckenzie R.I.H. et Brown D., 1999. Effect of single substitution of glutenin or gliadin proteins on flour quality of Alpha 16, a Canada Prairie Spring wheat breeder's line. Cereal Chemistry 76: 743-747.
- William S., Harmein F., Nakhoul H. et Rihaur S., 1988. Crop quality evaluation methods and guidelines. Second edition. Mai. Pp : 13-16.
- Williams P., 2008. Mise au point des varieties et contrôle de la qualité du blé au Canada. Commission Canadienne des Grains. www.grainscanada.com
- Yiu Hui H., 2006. Handbook of food science, technology and engineering. CRC Press, 928p.
- Zeleny L., 1978. Criteria of wheat quality. In. Promeranz Y. Wheat chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, Inc., 821.
- Zhang Y. He Z.H., Ye G.Y., Zhang A.M. et Van Ginkel M., 2004. Effect of environment and genotype on bread-making quality of spring-snow spring wheat cultivars in China. Euphytica, 139: 75-83.
- Zaghouane O., Merabti A., Zaghouane-Boufenar F., Ait abdellah F., Amrani M. et Djender Z., 2006. Durum quality and progressing by rural woman in the region of high plateau in Algeria. ITGC / ICARDA. 38 p.

Annexe

Annexe 01 : Poids de mille grains

Tableau de l'ANOVA pour le PMG par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	879,616	9	97,7352	240,99	0,0000***
Intra-groupes	16,2221	40	0,405553		
Total (Corr.)	895,838	49			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour le PMG par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Boussellam	5	41,096	X
GTA Dur	5	46,2	X
Vitron	5	50,042	X
MBB	5	50,276	X
Ciccio	5	50,488	X
Wahbi	5	52,408	X
Cannizo	5	52,546	X
Colesseo	5	53,144	X
Cirta	5	53,144	X
Simeto	5	57,372	X

Annexe 2 : Taux de mitadinage

Tableau de l'ANOVA pour le Taux de mitadinage par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	6680,91	9	742,324	238,84	0,0000***
Intra-groupes	62,16	20	3,108		
Total (Corr.)	6743,07	29			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour le Taux de mitadinage par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Boussellam	3	5,94667	X
Cannizo	3	9,34	X
Cirta	3	10,4167	X
MBB	3	10,9433	XX
Ciccio	3	11,39	XX
Simeto	3	13,6133	X
GTA Dur	3	32,4167	X
Colesseo	3	38,0833	X
Wahbi	3	42,78	X
Vitron	3	45,89	X

Annexe 03 : Taux de moucheture

Tableau de l'ANOVA pour Taux de moucheture par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	10,7842	9	1,19824	15,27	0,0000***
Intra-groupes	3,138	40	0,07845		
Total (Corr.)	13,9222	49			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour Taux de moucheture par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Simeto	5	0,01	X
Boussellam	5	0,01	X
Cirta	5	0,08	X
Ciccio	5	0,2	XX
Colesseo	5	0,27	XX
GTA Dur	5	0,46	XX
MBB	5	0,68	XX
Vitron	5	0,97	XX
Wahbi	5	1,17	X
Cannizo	5	1,31	X

Annexe 04 : Taux d'extraction

Tableau de l'ANOVA pour Taux d'extraction par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	671,12	9	74,5689	44,99	0,0000***
Intra-groupes	66,3	40	1,6575		
Total (Corr.)	737,42	49			

* indique une différence statistiquement significative

Tests des étendues multiples pour Taux d'extraction par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Ciccio	5	58,62	X
Boussellam	5	66,22	X
Vitron	5	66,62	XX
Cannizo	5	68,18	XX
GTA Dur	5	69,22	XX
Colesseo	5	70,06	XX
Simeto	5	70,52	XX
MBB	5	70,74	XX
Cirta	5	71,18	X
Wahbi	5	71,5	X

Annexe 05: Taux d'humidité grain entier

Tableau de l'ANOVA pour le H% grain entier par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	0,96908	9	0,107676	10,77	0,0000***
Intra-groupes	0,199867	20	0,00999333		
Total (Corr.)	1,16895	29			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour H% grain entier par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Cannizo	3	11,4367	X
Simeto	3	11,4767	X
Cirta	3	11,57	XX
Vitron	3	11,6567	XX
GTA Dur	3	11,7533	XX
Ciccio	3	11,7567	XX
Colesseo	3	11,88	XX
Boussellam	3	11,9167	XX
Wahbi	3	11,9167	XX
MBB	3	11,95	X

Annexe 06: Taux d'humidité semoule

Tableau de l'ANOVA pour H% semoule par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	3,4501	9	0,383344	839,44	0,0000***
Intra-groupes	0,00913333	20	0,000456667		
Total (Corr.)	3,45923	29			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour H% semoule par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Cannizo	3	12,24	X
Ciccio	3	12,3533	X
GTA Dur	3	12,38	X
Simeto	3	12,53	X
Cirta	3	12,64	X
Colesseo	3	12,6533	X
Vitron	3	12,66	X
Boussellam	3	12,7133	X
Wahbi	3	13,1967	X
MBB	3	13,3633	X

Annexe 07: Indice de jaune

Tableau de l'ANOVA pour l'indice de jaune par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	268,917	9	29,8796	200,04	0,0000***
Intra-groupes	13,443	90	0,149367		
Total (Corr.)	282,36	99			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour l'indice de jaune par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Vitron	10	18,581	X
Colesseo	10	19,31	X
Simeto	10	19,997	X
Ciccio	10	20,524	X
Cirta	10	20,571	X
GTA Dur	10	20,82	X
Boussellam	10	21,769	X
Wahbi	10	22,925	X
MBB	10	23,487	X
Cannizo	10	23,547	X

Annexe 08 : Indice de brun

Tableau de l'ANOVA pour l'indice de brun par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	85,2345	9	9,47051	16,79	0,0000***
Intra-groupes	50,7758	90	0,564175		
Total (Corr.)	136,01	99			

Tests des étendues multiples pour l'indice de brun par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Ciccio	10	10,286	X
Colesseo	10	11,444	X
Wahbi	10	11,551	XX
Cirta	10	11,672	XX
GTA Dur	10	12,141	XX
Boussellam	10	12,375	X
Vitron	10	12,555	X
MBB	10	12,579	X
Simeto	10	12,589	X
Cannizo	10	13,989	X

* indique une différence statistiquement significative.

Annexe 09 : Taux de cendre de grain entier

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour le taux de cendre grain entier par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Simeto	3	1,51653	X
Boussellam	3	1,5298	X
Ciccio	3	1,5978	X
GTA Dur	3	1,6176	X
MBB	3	1,6412	XX
Cirta	3	1,68497	XX
Colesseo	3	1,7306	XX
Vitron	3	1,7658	XX
Wahbi	3	1,81073	X
Cannizo	3	1,92233	X

Annexe 10 : Taux de cendre semoule

Tableau de l'ANOVA pour le taux de cendre semoule par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	0,182601	9	0,020289	9,91	0,0000***
Intra-groupes	0,0409615	20	0,00204808		
Total (Corr.)	0,223563	29			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour le taux de cendre semoule par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Simeto	3	0,774567	X
GTA Dur	3	0,8132	XX
Cirta	3	0,8642	X
Ciccio	3	0,887067	XX
Wahbi	3	0,9475	XX
Colesseo	3	0,955933	XX
Boussellam	3	0,968033	X
Cannizo	3	0,994167	X
MBB	3	1,00423	X
Vitron	3	1,00473	X

Annexe 11 : Teneur en protéine grain entier

Tableau de l'ANOVA pour la teneur en protéine grain entier par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	48,893	9	5,43256	89,93	0,0000***
Intra-groupes	1,81232	30	0,0604108		
Total (Corr.)	50,7053	39			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour le teneur en proteine grain entier par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
GTA Dur	4	10,6425	X
Wahbi	4	10,9175	X
Vitron	4	11,5525	X
Ciccio	4	11,655	X
Colesseo	4	11,6575	X
Boussellam	4	11,8375	X
Cannizo	4	12,42	X
MBB	4	12,555	X
Cirta	4	13,9175	X
Simeto	4	14,1825	X

Annexe 12 : Teneur en protéines semoule

Tableau de l'ANOVA pour la teneur en protéines semoule par variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	22,0361	9	2,44845	38,62	0,0000***
Intra-groupes	1,90192	30	0,0633975		
Total (Corr.)	23,938	39			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour la teneur en protéines semoule par variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Wahbi	4	10,17	X
Vitron	4	10,655	X
Colesseo	4	10,74	X
Cannizo	4	10,955	XX
Boussellam	4	11,265	XX
GTA Dur	4	11,515	XX
MBB	4	11,6625	X
Ciccio	4	11,8675	X
Cirta	4	12,3025	X
Simeto	4	12,695	X

Annexe 13 : SDS

Tableau de l'ANOVA pour le SDS par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	84,2	9	9,35556	23,39	0,0000***
Intra-groupes	4,0	10	0,4		
Total (Corr.)	88,2	19			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour le SDS par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Vitron	2	14,0	X
GTA Dur	2	15,0	XX
Cirta	2	15,0	XX
MBB	2	15,0	XX
Boussellam	2	15,5	X
Wahbi	2	17,0	X
Colesseo	2	17,5	X
Cannizo	2	18,0	X
Simeto	2	19,5	X
Ciccio	2	20,5	X

Annexe 14 : Gluten humide

Tableau de l'ANOVA pour le gluten humide par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	226,266	9	25,1407	64,68	0,0000***
Intra-groupes	7,77367	20	0,388683		
Total (Corr.)	234,04	29			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour le gluten humide par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Vitron	3	15,7	X
Cirta	3	18,29	X
Boussellam	3	18,76	X
Wahbi	3	19,3233	XX
Colesseo	3	20,3067	XX
GTA Dur	3	21,1667	XX
Ciccio	3	21,5733	X
MBB	3	22,7633	X
Cannizo	3	23,1567	X
Simeto	3	25,9467	X

Annexe 15 : Gluten sec

Tableau de l'ANOVA pour le gluten sec par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	26,4675	9	2,94083	25,39	0,0000***
Intra-groupes	2,31687	20	0,115843		
Total (Corr.)	28,7843	29			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour le gluten sec par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Vitron	3	5,95333	X
Boussellam	3	6,74667	X
Cirta	3	7,23	XX
Wahbi	3	7,29333	XX
Colesseo	3	7,80667	XX
Ciccio	3	8,01667	X
GTA Dur	3	8,21	X
Cannizo	3	8,21333	X
MBB	3	8,22667	X
Simeto	3	9,59	X

Annexe 16 : Gluten index

Tableau de l'ANOVA pour le gluten index par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	17668,0	9	1963,11	49,26	0,0000***
Intra-groupes	797,062	20	39,8531		
Total (Corr.)	18465,1	29			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour Gluten index par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
GTA Dur	3	25,43	X
Vitron	3	37,64	X
Boussellam	3	40,45	X
Cirta	3	45,34	X
Wahbi	3	47,24	X
MBB	3	71,1933	X
Cannizo	3	75,1667	X
Colesseo	3	86,0033	X
Ciccio	3	94,1633	X
Simeto	3	95,6233	X

Annexe 17 : Capacité d'hydratation

Tableau de l'ANOVA pour la capacité d'hydratation par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	47,9082	9	5,32313	1,29	0,3037
Intra-groupes	82,8019	20	4,1401		
Total (Corr.)	130,71	29			

* indique une différence statistiquement significative.

Tests des étendues multiples pour la capacité Capacité d'hydratation par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Cirta	3	60,44	X
GTA Dur	3	61,1533	XX
Colesseo	3	61,49	XX
Vitron	3	62,0933	XX
Wahbi	3	62,2567	XX
Ciccio	3	62,8667	XX
Simeto	3	62,9933	XX
MBB	3	63,86	XX
Boussellam	3	64,04	X
Cannizo	3	64,53	X

Annexe 18 : Indice de chute

Tableau de l'ANOVA pour l'indice de chute par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	316427,	9	35158,6	16,25	0,0001***
Intra-groupes	21640,5	10	2164,05		
Total (Corr.)	338068,	19			

Tests des étendues multiples pour l'indice de chute par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
MBB	2	491,5	X
Wahbi	2	514,0	X
Colesseo	2	553,5	XX
Vitron	2	649,0	XX
Boussellam	2	669,0	X
GTA Dur	2	677,0	XX
Cirta	2	780,5	XX
Simeto	2	793,5	X
Cannizo	2	807,5	X
Ciccio	2	877,0	X

* indique une différence statistiquement significative.

Annexe 19 : Tolérance au pétrissage

Tableau de l'ANOVA pour la Tolérance au pétrissage min par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	928,7	9	103,189	27,64	0,0000***
Intra-groupes	74,6667	20	3,73333		
Total (Corr.)	1003,37	29			

Tests des étendues multiples pour Tolérance au pétrissage min par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Vitron	3	41,3333	X
Cirta	3	41,6667	X
Boussellam	3	47,0	X
MBB	3	48,0	X
Wahbi	3	49,0	XX
Colesseo	3	49,0	XX
GTA Dur	3	51,3333	XX
Cannizo	3	54,3333	XX
Ciccio	3	57,0	XX
Simeto	3	59,0	X

Annexe 20 : Temps de développement

Tableau de l'ANOVA pour le temps de développement min par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	55,9875	9	6,22083	41,72	0,0000***
Intra-groupes	2,98187	20	0,149093		
Total (Corr.)	58,9693	29			

Tests des étendues multiples pour le temps de développement min par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Vitron	3	1,31333	X
GTA Dur	3	2,12333	X
Cirta	3	2,21	X
Boussellam	3	2,21	X
MBB	3	2,61667	X
Cannizo	3	3,80667	X
Wahbi	3	4,47333	X
Ciccio	3	4,56	XX
Colesseo	3	5,21333	X
Simeto	3	5,21333	X

Annexe 21 : Masse du pain (g)

Tableau de l'ANOVA pour le poids du pain par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	5230,95	10	523,095	2,56	0,0158*
Intra-groupes	9005,6	44	204,673		
Total (Corr.)	14236,5	54			

Tests des étendues multiples pour le poids du pain par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Vitron	5	286,8	X
MBB	5	298,2	XX
Témoin	5	298,8	XX
Cirta	5	300,2	XX
GTA Dur	5	300,8	XX
Ciccio	5	301,6	XX
Boussellam	5	303,8	XX
Colesseo	5	305,2	X
Wahbi	5	306,6	X
Simeto	5	313,2	XX
Cannizo	5	327,8	X

Annexe 22 : Volume du pain

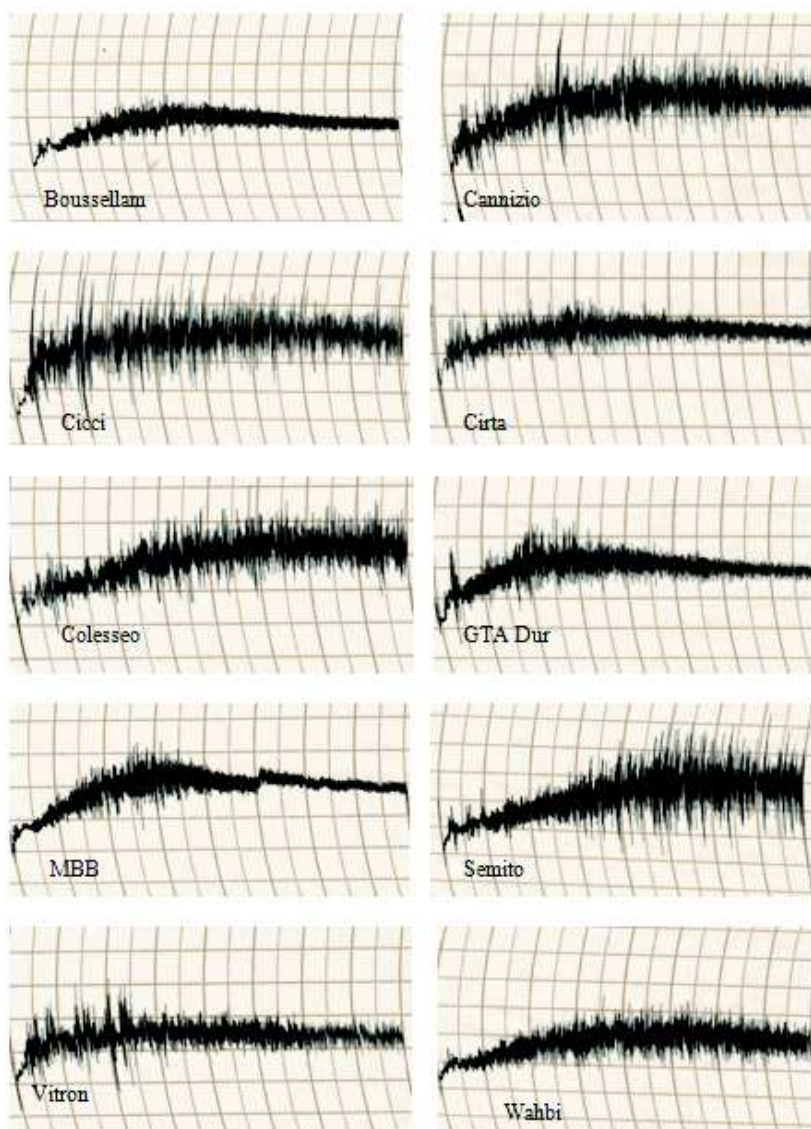
Tableau de l'ANOVA pour le volume du pain par Variété

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Probabilité
Inter-groupes	74362,7	10	7436,27	79,96	0,0000***
Intra-groupes	4092,0	44	93,0		
Total (Corr.)	78454,7	54			

Tests des étendues multiples pour le volume du pain par Variété Méthode: 95,0 % LSD

Variété	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Vitron	5	660,0	X
MBB	5	701,0	X
Cirta	5	703,0	X
GTA Dur	5	717,0	X
Boussellam	5	723,0	X
Ciccio	5	736,0	X
Colesseo	5	744,0	XX
Témoin	5	750,0	X
Wahbi	5	765,0	X
Simeto	5	773,0	X
Cannizo	5	798,0	X

Annexe 23 : Mixographes des variétés de blé dur



Annexe 24 : Alvéographes des variétés de blé dur Bousellam



Annexe 25 : Farinographes des variétés de blés durs Boussellam

