

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira-Béjaia
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires

Mémoire de Magister
en
Sciences Alimentaires

Option : Contrôle de qualité des aliments, certification et
méthodes d'analyse

THÈME

**Étude du potentiel technologique de la farine de blé dur :
panification.**

Présenté par
M^{elle} BOURAD Dalila

Devant le Jury :

Président :	M ^f BENALLAOUA S	Professeur	(UAMB)
Promoteur:	M ^f TAMENDJARI A/Rezak	Maître de conférences	(UAMB)
Examineurs :	M ^f KECHA M	Maître de conférences	(UAMB)
	M ^f IGUER OUADA M	Maître de conférences	(UAMB)
Invité :	M ^f YESLI A/Nour	Maître assistant	(UMMTO)

Promotion : 2008/2009

Remerciements

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma sincère gratitude à mon promoteur M^r TAMENDJARI, qui a veillé au bon déroulement de ce travail et pour son suivi, ses conseils et ses remarques constructives.

Mes expressions les plus distinguées s'adressent à M^r Yesli mon co-promoteur de l'université de Tizi Ouzou.

Ma reconnaissance va à l'égard de M^r Benallaoua pour l'honneur qu'il nous a fait d'accepter de présider le jury.

Mes remerciements vont également aux examinateurs pour l'honneur qu'ils nous ont fait d'accepter de juger ce travail.

Je tiens à remercier M^r le directeur général de l'ERAD SIDI AICH de m'avoir accepté au sein de cette entreprise. Aussi tout le personnel de cette entreprise, particulièrement M^{me} DJEBARI pour son suivi, sa coopération efficace et pour son soutien le long de mon stage pratique, sans oublier M^{me} BELLIL.

Ma vive gratitude à tous ceux qui ont participé de loin ou de près à l'élaboration de ma thèse de magistère.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents

Mes frères et sœurs

A mes nièces et neveux

A toute ma famille

A mes amis (es)

Sommaire

Liste des abréviations
Liste des tableaux
Liste des figures
Liste des figures et des tableaux en annexes

Introduction..... 07

Partie théorique

Chapitre I : Grain de blé

I.1. Généralités	09
I.2. Définition.....	09
I.3. Morphologie.....	09
I.4. Composition biochimique.....	10
I.5. Protéines.....	14
I.6. Les enzymes.....	17

Chapitre II : Mouture de blé

II.1. Valeur meunière d'un blé.....	21
II-3- Taux d'extraction, taux de blutage	21
II.4. Nettoyage et préparation du blé à la mouture	21
II.5. Craquage des grains	22
II.6. Diagramme de mouture	23
II.7. Différents produits rencontrés au cours de la mouture	25
II.8. Farine de blé dur	26

Chapitre III : Panification

III.1. Valeur boulangère.....	28
III.2. Modèles de panification.....	28
III.4. Étape de panification	30
III.5. Pain	32

Partie Pratique

Chapitre IV: Matériel et méthodes

IV.1. Matériel végétal.....	36
IV.2. Méthodes analytiques	36
IV.2.1. Analyses physicochimiques.....	36
IV.2.2. Analyses biochimiques.....	39
IV.2.3. Analyses technologiques.....	40
IV.2.4. Analyses rhéologiques.....	42
IV.3. Essai de panification.....	42
IV.4. Analyse sensorielle.....	43
IV.5. Analyse statistique.....	43

Chapitre V: Résultats et discussions

V.1. Étude physicochimique.....	44
V.2. Analyses biochimiques.....	50
V.3. Analyses technologiques.....	52
V.4. Analyses rhéologiques.....	55
V.5. Essai de panification.....	57
V.6. Analyse sensorielle.....	59
<i>Conclusion</i>	62
<i>Perspectives</i>	63
<i>Références bibliographiques</i>	64
<i>Annexes</i>	71

liste des abréviations

AFNOR: Association Française de Normalisation.

BD: Blé Dur

BT: Blé Tendre

CH: Capacité d'Hydratation.

CNERNA: Centre National de Coordination des Etudes et Recherches sur la Nutrition et l'Alimentation (Français).

Et: Ecart type.

ERIAD: Entreprise Régionale des Industries Alimentaires et Dérivés.

F: Farine.

GH: Gluten Humide.

GS : Gluten Sec.

INRAA: Institut National de Recherches Agronomiques Algérien.

JORA: Journal Officiel de la République Algérienne.

M: Moyenne.

SSSF: Semoule Super Sassée Fine

Liste des figures

Numéro de la figure	Titre de la figure	Page
Figure 1	Coupe d'un grain de blé.....	10
Figure 2	Diagramme de mouture de blé dur.....	24
Figure 3	Origine histologique des produits de mouture de blé.....	25
Figure 4	Modèle de panification Européen.....	28
Figure 5	Modèle de panification Anglo-saxon.....	29
Figure 6	Modèle de panification selon la méthode CNERNA.....	29
Figure 7	Processus de panification selon la méthode CNERNA.....	43
Figure 8	Pains de la SSSF et la farine.....	58
Figure 9	Pains de la SSSF et la farine.....	58
Figure 10	Pains de la SSSF et la farine et le broyat de blé dur.....	59

liste des tableaux

Numéro du tableau	Titre du tableau	Page
Tableau I	Composition biochimique du grain de blé.....	11
Tableau II	Echantillonnage des blés avec leurs farines.....	36
Tableau III	Taux d'impuretés de blé dur et de blé tendre.....	44
Tableau IV	Taux de mitadinage des blés durs.....	45
Tableau V	Poids à l'hectolitre de blé dur et de blé tendre.....	46
Tableau VI	Poids de milles grains de blé dur et de blé tendre.....	46
Tableau VII	Taux d'humidité de blé dur et de blé tendre.....	47
Tableau VIII	Taux de matières minérales de blé dur et de blé tendre.....	48
Tableau IX	Taux d'affleurement de la SSSF et de la farine.....	49
Tableau X	Taux d'acidité grasse de la SSSF et de la farine.....	49
Tableau XI	Taux de matières minérales de la SSSF et la farine.....	50
Tableau XII	Taux de protéines de différents échantillons (SSSF, F, BBD, BBT)	51
Tableau XIII	Teneur en matière grasse de la farine et la SSSF.....	51
Tableau XIV	Taux de GH, GS et GI de la SSSF et la farine.....	53
Tableau XV	CH de la SSSF et de la farine.....	53
Tableau XVI	Indice de Zeleny.....	54
Tableau XVII	Indice de chute de la SSSF et de la farine.....	55
Tableau XVIII	Résultats des analyses rhéologiques.....	56
Tableau XIX	Couleur de la croûte et la mie en pourcentage.....	60
Tableau XX	Odeur et goût du pain en pourcentage.....	61

Liste des figures et des tableaux en annexes

Numéro de la figure et du tableau	Titre de la figure et du tableau	Page
Figure 1	Taux d'impuretés des blés.....	71
Figure 2	Poids à l'hectolitre des blés.....	71
Figure 3	Masse de milles grains des blés.....	72
Figure 4	Taux d'humidité de blé dur et tendre.....	72
Figure 5	Taux d'affleurement des farines et des SSSF.....	73
Figure 6	Taux d'acidité grasse des farines et des SSSF.....	73
Figure 7	Taux de matières minérales des farines et des SSSF et des blés.....	74
Figure 8	Taux de protéines de différents échantillons (BD, BT, SSSF, F).....	74
Figure 9	Teneur en matière grasse de la SSSF et la farine.....	75
Figure 10	Taux de GH des farines et des SSSF.....	75
Figure 11	Taux de GS des farines et des SSSF.....	76
Figure 12	Taux de GI des farines et SSSF.....	76
Figure 13	CH des farines et SSSF.....	77
Figure 14	Indice de Zeleny des farines.....	77
Figure 15	Indices de chute de Hagberg des F et des SSSF.....	78
Figure 16	Couleur de la croûte de pain de la SSSF et la farine....	79
Figure 17	Couleur de la mie de pain de la SSSF et la farine.....	80
Figure 18	Odeur du pain de la SSSF et de la farine.....	81
Figure 19	Goût du pain de la SSSF et la farine.....	82
Figure 20	Alvéogramme de la SSSF1.....	83
Figure 21	Alvéogramme de la SSSF2.....	84
Figure 22	Alvéogramme de la SSSF3.....	85
Figure 23	Alvéogramme de la SSSF4.....	86
Figure 24	Alvéogramme de la F1.....	87

Suite de la liste des figures et des tableaux en annexes :

Numéro de la figure et du tableau	Titre de la figure et du tableau	Page
Figure 25	Alvéogramme de la F2.....	88
Figure 26	Alvéogramme de la F3.....	89
Figure 27	Alvéogramme de la F4.....	90
Figure 28	Alvéogramme du mélange de la SSSF1 et F1.....	91
Figure 29	Fermentation de la pâte de la SSSF et de la farine.....	92
Figure 30	Façonnage de la pâte de la SSSF et de la F.....	92
Tableau I	Matrice de corrélation pour les résultats physicochimiques et technologiques de la farine de blé tendre et dur (N = 24), (P = 0.05).....	93
Tableau II	Appréciation des pâtes et des pains.....	93

Introduction

Introduction

En Algérie, les céréales occupent une grande place dans l'alimentation de la population. En effet, la consommation par habitant et par an est estimée à 185 Kg, fournissant plus de 60 % de l'apport calorique et 70 à 80 % de l'apport protéique de la ration alimentaire (Feliachi, 2000).

L'Algérie demeure l'un des plus grand pays importateur de blé dans le monde. Les besoins annuels de l'Algérie sont estimés entre 60 et 80 millions de quintaux.

La production céréalière algérienne est faible et irrégulière; après une bonne récolte estimée en 2007 à 41 millions de quintaux, elle a chuté en 2008 à seulement 21 millions de quintaux. Une récolte exceptionnelle est prévue pour l'année 2009 de 60 millions quintaux selon le ministère de l'agriculture et du développement rural.

En technologie céréalière, la transformation du blé dur dans une semoulerie de 4400 qx / J, génère en plus de la semoule, un sous produit qui est la farine de blé dur avec une production de 440 qx / J, soit 10 % des produits de mouture.

Le blé est la seule céréale dont les protéines sont actuellement extraites industriellement sous forme de gluten pour les incorporer dans divers produits alimentaires et tout spécialement les farines destinées à la panification (Godon *et al.*, 1992). Ces protéines sont particulièrement responsables de la valeur meunière et boulangère. Leur taux varie entre 10 et 14 % (Blanco *et al.*, 1996), qui est sous l'influence de facteurs génétiques aussi bien qu'agro climatiques (Campbell et Davidson, 1989).

La farine de blé dur est utilisée comme complément dans l'alimentation du bétail. Bien qu'elle présente un intérêt nutritionnel certain, aucune législation nationale ne couvre son utilisation à des fins de consommation humaine.

Notre travail a pour objectif d'étudier le potentiel technologique de la farine de blé dur, plus particulièrement son aptitude à la panification. Pour cela, nous avons échantillonné du blé dur commercial avec sa farine (SSSF) et du blé tendre avec sa farine. L'ensemble des échantillons a été soumis aux analyses physicochimiques, biochimiques, technologiques, rhéologiques et enfin à un test de panification.

Le présent travail comporte deux parties:

-Une partie bibliographique, développée en trois chapitres, le grain de blé, mouture du blé et enfin panification.

-Une partie expérimentale où nous avons entrepris d'analyser sur le plan physicochimique, biochimique, technologique et rhéologique quelques échantillons de la farine de blé dur et de la farine de blé tendre, prélevées à l'unité de Sidi-Aich et leur aptitude à la panification.

Partie bibliographique

Chapitre I : Grain de blé

I.1. Généralités

Les céréales sont un groupe de plantes cultivées appartenant à la famille des *Poacées*, dont les grains présentent de part leur abondance et leur composition un intérêt majeur pour l'alimentation de l'Homme et des animaux (Alais et Linden, 1997).

I.2. Définition

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum*. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec indéhiscent, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (Feillet, 2000).

Il existe plusieurs variétés de blé dont deux d'entre elles peuvent être dégagées; le blé tendre (*Triticum Aestivum*) et le blé dur (*Triticum Durum*), qui se différencient selon la manière dont le grain se brise lors de la mouture (Mohtadji et Lamballais, 1989).

L'endosperme de blé dur a la structure la plus dure de tous les blés. L'amande du blé dur est plus large et plus vitreuse que celle de blé tendre, ce qui lui confère l'aptitude particulière à être transformé en semoules (Liu *et al.*, 1996).

I.3. Morphologie

Les grains de blé sont de petites dimension, variables avec l'espèce. La longueur moyenne est de 10 mm, la largeur moyenne de 3mm et l'épaisseur moyenne est de 3 mm (Godon et Willm, 1998).

Le grain de blé se présente sous forme d'un ellipsoïde allongé, il possède une organisation en tissus spécialisés pour assurer correctement son rôle de reproduction, de réserve et de protection du germe (Godon, 1991).

Le grain du blé est caractérisé par une brosse et il est parcouru en surface par un sillon longitudinal. Ce caryopse comprend trois parties : Les enveloppes ou son (13%), l'albumen (84 %) et le germe (3%), qui assure l'identité génétique de la variété (**Figure 1**) (Boudreau et Ménard, 1992). Les enveloppes sont soudées à l'albumen et sont constituées de couches de cellules superposées.

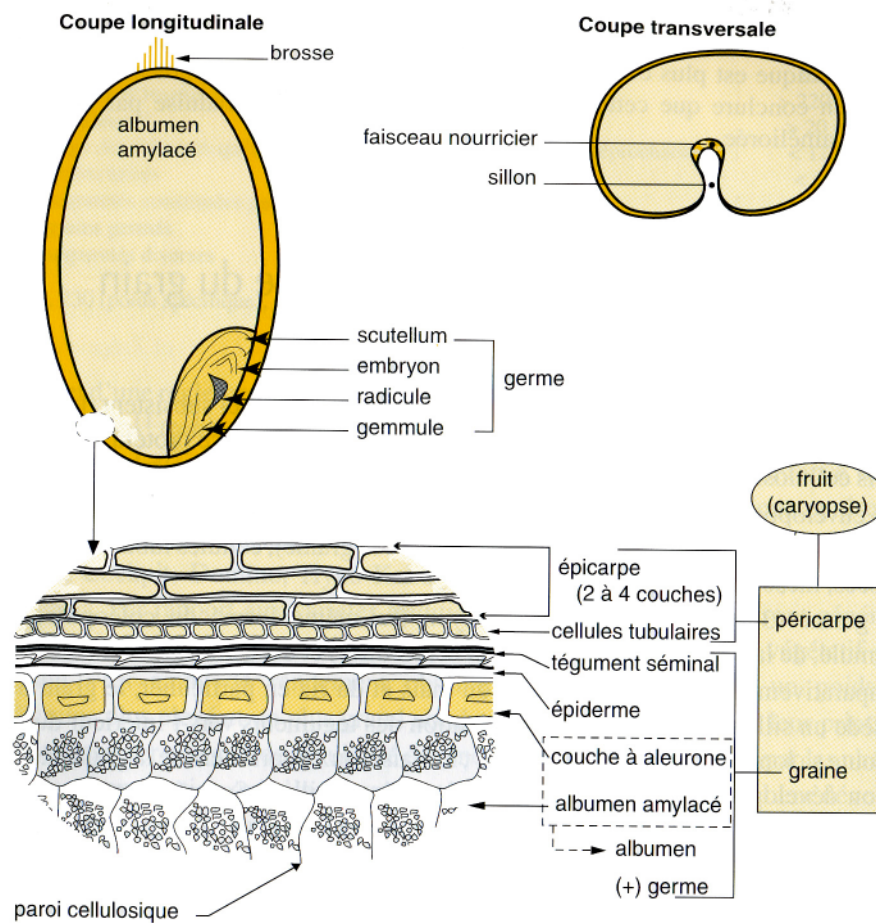


Figure 1: Coupe d'un grain de blé (Feillet, 2000).

I.4. Composition biochimique du grain du blé

La panification est influencée par des interactions de différents composants biochimiques du blé tels que la qualité des protéines (Payne *et al.*, 1987), la qualité de l'amidon (Gray et Bimeller, 2003) et les lipides (Helmerich, 2005) ainsi que les différents paramètres physicochimiques (**Tableau I**) (Huang *et al.*, 2006).

I.4.1. Eau

Les grains du blé sont particulièrement déshydratés, leur teneur en eau est aux environs 14 %, de fait de leurs fonctions d'abord protectrice de l'embryon, puis ensuite nourricière de la jeune plante. Ces grains sont constitués de cellulose et de toutes les substances nécessaires au développement du germe : glucides, protides, lipides, minéraux et vitamines (Godon et Willm, 1998).

Tableau I: Composition biochimique du grain de blé (Feillet, 2000).

Constituants	Grain %	Péricarpe %	Aleurone %	Albumen %	Germe %
Protéines	13.7	4.4	15.3	73.5	6.8
Lipides	2.7	0	23.6	62.9	13.5
Amidon	80	0	0	100	0
Sucres réducteurs	2.4	0	0	62.7	37.3
Pentosanes	7.4	35.1	43.8	18.3	2.9
Cellulose	2.8	87.1	7.6	3.1	2.2
Minéraux	1.9	22.6	43.6	22.6	9.7

I.4.2. Glucides

Les glucides sont pondéralement les constituants majeurs du grain de blé (Feillet, 2000). Ils sont principalement constitués par de l'amidon, rassemblé sous forme de granules (Godon et Willm, 1998).

L'amidon représente plus de 80% de la matière sèche de l'endosperme, les autres glucides sont par ordre décroissant: 2% de pentosanes, 2% d'oses et 0.4 % de cellulose (Bushuk, 1986 et Cheftel, 1986). Les deux oses identifiés dans le blé dur sont le glucose et le fructose et parmi les oligosaccharides, le maltose, le raffinose (Lintas, 1988). Le germe ne contient pas d'amidon.

Chimiquement l'amidon est un polymère de glucose. Les chaînes constituant l'amidon sont de deux types : Les unes sont de longues chaînes flexibles linéaires d'amylose qui représentent 17 % à 28 % de l'amidon, les autres chaînes sont beaucoup plus grandes ramifiées et représentent 70 % à 80 % de l'amidon, elles constituent l'amylopectine. Les chaînes d'amylose et d'amylopectine sont associées dans le granule d'amidon par couches concentriques formant alternativement des zones amorphes et des zones cristallines (Feillet, 2000).

Des substances non glucidiques se trouvent présentes dans les amidons quelque soit le degré de purification. Ce sont essentiellement des lipides (0.50 %), auxquelles s'ajoutent des protéines (0.20 %) et des matières minérales (0.20 %) (Feillet, 2000).

➤ Rôle de l'amidon en panification

L'amidon est une source inépuisable de sucres fermentescibles assurant la multiplication et la croissance des levures. Egalement un fixateur d'eau, l'amidon absorbe environ 45 % de l'eau ajoutée à la farine, selon la répartition d'amidon natif et les granules endommagés.

Par le pouvoir fixateur d'eau de la farine, variable selon le degré d'endommagement des granules et sa capacité à former des liaisons non covalentes (liaisons hydrogènes) avec les protéines, l'amidon contribue de manière active à la formation de la pâte.

Eliasson et Gudmunsson (1995), estiment que l'aptitude à la panification des amidons de blé serait d'autant meilleure que leur température de gélatinisation est élevée : Ce phénomène a été expliqué en supposant que la prise du volume du pain dans le four s'arrête au moment où l'amidon est gélatinisé et que le pain se développe d'autant plus que la gélatinisation est tardive.

La production d'oses fermentescibles dépend de la quantité d'enzymes présentes et de l'état d'endommagement de l'amidon. La fermentation de la pâte et surtout la production de CO₂ sont liées à la présence des oligosaccharides; avec une vitesse de transformation plus lente pour le maltose que pour le glucose. Une activité alpha amylasique excessive a des effets importants sur la capacité d'absorption d'eau de la pâte et la fermeté du pain.

Les dextrines contribuent au goût caractéristique de la mie, à la coloration et la flaveur de la croûte par les réactions de caramélisation et les réactions de Maillard.

Aujourd'hui avec la maîtrise de l'extraction industrielle de l'amidon, il est nécessaire de développer de nouveaux produits dérivés, ou amidons modifiés, destinés par exemple à la fabrication d'emballages biodégradables ou de solutions pharmaceutiques, de tels amidons modifiés s'obtiennent par de transformations physiques, chimiques ou encore enzymatiques (Leroy et De Vuyst, 2004).

I.4.3. Pentosanes

Les pentosanes sont des polysaccharides non amylacés, principaux constituants des parois cellulaires de l'albumen, ils représentent 6 à 8 % du grain et 2 à 3 % de la farine, leur teneur dans les grains est une caractéristique fortement héritable, ils sont subdivisés en pentosanes solubles et en pentosanes insolubles en fonction de leur solubilité dans l'eau froide. Les sons sont beaucoup plus riches en pentosanes que le cœur de l'albumen (Feillet, 2000).

➤ Rôle des pentosanes en panification

Les pentosanes doivent leurs propriétés à leur capacité à fixer, puis à libérer de grande quantité d'eau et à augmenter la viscosité du milieu, les pentosanes insolubles retarderaient le rassissement de la mie du pain plus efficacement que ne le font les pentosanes solubles, et leurs aptitudes à réagir avec d'autres constituants de la pâte en particulier les protéines.

I.4.4. Lipides

La composition lipidique des farines dépend de leur taux d'extraction parce que les principales matières grasses du blé sont inégalement distribuées dans le grain, le germe et la couche à aleurone en sont particulièrement riches.

Les lipides représentent en moyenne 2 à 3 % du grain sec des céréales, certains sont libres, mais la majorité sont associés aux protéines et à l'amylose (Morisson, 1978; Drapron et Genot, 1979).

La variété de blé de mauvaise valeur boulangère renferme systématiquement environ 0,20 % de moins de lipides polaires que les bonnes variétés: Plusieurs auteurs pensent qu'il y'a une relation directe entre la valeur boulangère et les lipides polaires (Godon, 1991).

La teneur en acides gras libres augmente avec la durée de stockage des grains : ceci a été observé par Pixton et Hill (1967), pendant des durées allant de 1 à 6 ans, que les blés soient conservés à basse température (4.5 C°) ou à température ambiante.

➤ Rôle des lipides en panification

Leur teneur dans la farine ne dépasse pas 2 à 3 %, les lipides jouent un rôle important en panification du moins ceux qui ne sont pas liés à l'amidon.

Il existe deux phénomènes physicochimiques distincts selon leur mode d'action au cours du pétrissage :

- L'oxydation des acides gras poly insaturés catalysés par la lipoxygénase;
- Des interactions entre les lipides et les protéines.

Le premier phénomène agit sur les propriétés rhéologiques de la pâte, le second sur la formation et la stabilité des alvéoles de gaz dans la pâte.

I.4.5. Vitamines

Les vitamines sont des substances organiques très actives à petites doses, la principale vitamine de blé est la vitamine E, abondante dans le germe (Rocherette, 1974). Ce sont aussi les vitamines B₁, B₂, et B₃ et B₅ qui dominent, surtout dans le germe et dans l'enveloppe des grains.

I.4.6. Oligoéléments

Sont des substances se trouvant en très petites quantités dans nos aliments d'origine végétale ou animale. À petites doses, certains sont indispensables à la vie, beaucoup sont plus toxiques lorsqu'ils sont absorbés à haute dose. Les enveloppes des blés contiennent 5% de minéraux (Cobalt, cuivre, fer, iode, fluor, zinc, soufre, sélénium)(Bushuk, 1986).

I.5. Protéines

Les protéines de céréales sont souvent peu onéreuses, sont assez pauvres en trois acides aminés essentiels : Tryptophane, lysine, méthionine (Jacotot et le Parco, 1992).

Du point de vue quantitatif, les protéines sont le deuxième élément en importance dans la farine et la semoule de blé. Leur teneur varie de 08 % à 16 % selon l'espèce et le degré de maturité du grain (Boudreaux et Multon, 1989). Cette teneur en protéines totales varie sous l'influence de facteurs génétiques aussi bien qu'agro climatiques (Dubois et Fossati, 1981).

I.5.1. Classement des protéines du grain de blé

Selon les fonctions qu'elles remplissent, trois catégories de protéines sont distinguées:

- Les protéines de structure, qui sont inhérentes aux cellules et aux membranes du grain, où elles jouent les mêmes rôles que dans tous les tissus végétaux;
- Les protéines de réserve;
- Les protéines à activité métabolique, qui sont notamment les enzymes impliqués dans le développement du grain et dans sa germination.

I.5.1.1. Classement d'Osborne

En 1907, Osborne a classé les protéines d'après leur solubilité:

- Albumines solubles dans l'eau pure;
- Globulines solubles dans les solutions salines diluées;
- Prolamines solubles dans l'éthanol aqueux;
- Glutélines insolubles dans les solvants précédents, mais solubles dans les solutions diluées acides ou basiques.

Pour tenir compte des propriétés physicochimiques et fonctionnelles des prolamines, Shewry *et al.* (1986), ont proposé une autre classification dans le but d'améliorer celle d'Osborne, qui est basée sur le poids moléculaire et les groupements SH.

a-Supérieur à 90.000 Da: gluténines à haut poids moléculaire

b-Riches en soufre: α , β et γ prolamines et les gluténines de faible poids moléculaire (sous unités de 35 à 40 KDa).

c-Pauvres en soufre : ω prolamines.

Les protéines de réserve de l'endosperme des céréales sont constituées par deux fractions de protéines (gluténines et gliadines) anciennement classées sur la base de leur solubilité dans différents solvants (Bean et Lookhant, 2000).

I.5.1.1.1. Protéines solubles

Dans les enveloppes, les protéines solubles sont plus importantes, puisqu'elles représentent 30% des protéines totales.

Plus le grain de blé contient de protéines, plus leur proportion en protéines solubles est basse, car l'augmentation de la teneur globale en protéines s'opère au profit du gluten (Dacosta, 1986).

Les albumines et les globulines sont des protéines solubles, physiologiquement actives, ce qui signifie qu'une plus grande concentration de ces entités se retrouve dans le grain du blé avant maturité.

Les albumines sont des glycoprotéines, par contre les globulines sont des nucléoprotéines. Les albumines se sont révélées avoir une activité inhibitrice de certaines amylases (Silano *et al.*, 1980).

I.5.1.1.2. Gluten

isolé par simple lixiviation de la pâte sous un filet d'eau, puis lyophilisé, le gluten est constitué de protéines (80%), de lipides (08%) et de sels minéraux et de glucides. Les protéines du gluten sont un mélange en proportions variables de deux types de protéines, gliadines et de gluténines, dont la proportion moyenne de 52 % et de 48 % respectivement, avec des traces de protéines solubles, les gliadines présentent une structure repliée et sont formées d'unités moléculaires variant de 35000 à 44000 daltons. La stabilité de chaque unité est assurée par des liaisons disulfures intramoléculaires. L'hydratation de la gliadine à l'état natif donne une masse visqueuse, extensible et de faible élasticité (Feillet, 2000).

I.5.1.1.2.1. Rôle de gluten en panification

La qualité de pain de la farine de blé est déterminée par la composition et la quantité de protéines de réserve de l'endosperme (Shewry *et al.*, 1997).

Bernardin et Kasarda, (1989), ont observé lors de l'hydratation de la pâte, la formation de fibrilles possédant des propriétés proches de celles du gluten, qui joue le rôle de ciment dans une pâte, servant à agglomérer les grains d'amidon d'une manière très compacte.

Les lipides ne sont pas associés aux protéines du gluten (gliadines et gluténines), et ne sont pas impliqués dans la viscoélasticité du système protéique (Hargreaves, 1995). L'élasticité du gluten dépend donc principalement de la distribution en taille des polymères de gluténines. Plus nombreuses sont les sous unités de haut poids moléculaire et plus forte sera l'élasticité du réseau (Yan *et al.*, 2003).

Les sous unités de gluténines de faible poids moléculaire seules sont capables de former des polymères, mais l'élasticité de tels systèmes est beaucoup plus faible (Gupta, 1995).

Les propriétés rhéologiques de la pâte et du gluten sont sous la dépendance des gluténines et des gliadines (Beltz, 2004). Les propriétés rhéologiques de ce réseau, notamment lors du travail de la pâte par les boulangers, s'expliqueraient par: Pour l'élasticité par la résistance des longues chaînes de gluténines, elle même dépendante du nombre et du degré d'intensité des ponts disulfures; Pour l'extensibilité, par le glissement des molécules les unes sur les autres, mouvement que favorisent les gliadines peu agrégées (Feillet, 2000).

I.5.1.1.2.2. Composition du gluten

I.5.1.1.2.2.1. Gliadines

Ce sont des protéines monomériques associées par des liaisons hydrogènes et des interactions hydrophobes. Leur poids moléculaire est compris entre 30 et 80 KDa (Feillet, 2000).

La composition en acides aminés des gliadines a pour caractéristique générale, comme pour toutes les prolamines, une très forte teneur en acide glutamique et en proline. En revanche, leur teneur en acides aminés basiques est très faible.

Les gliadines brutes contiennent environ 10 % de substances non protéiques:

- 0.6% de glucides (eux mêmes décomposables en 55.5% de galactose, 20.7% de glucose, 16.1% d'arabinose, 6.2% de mannose, 1.2% de xylose);
- 9.4% d'une fraction lipidique mal identifiée, qui contient surtout des galactolipides.

- Structure de gliadines

Les alpha, bêta et gamma –gliadines sont stabilisées par des ponts disulfures intramoléculaires (dus aux résidus cystéines) et par des liaisons hydrogènes (dus surtout aux résidus acides glutamiques). Leurs structures tertiaires sont de type globulaire.

Les oméga-gliadines n'ont pas de ponts disulfures intramoléculaires, puisqu'elles ne comprennent pas de cystéine, et elles sont stabilisées par de fortes liaisons hydrophobes (Feillet, 2000).

- Rôle de gliadines dans la panification

En combinant la gliadine d'un blé pauvre et la gluténine d'un blé de force, obtention de meilleurs volumes de pain qu'avec l'inverse. Ceci est l'indice que la nature biochimique de la gliadine n'est pas le facteur déterminant en panification (Feillet, 2000).

I.5.1.1.2.2.2. Gluténines

Elles constituent une famille hétérogène de polymères résultant de la polymérisation de sous unités gluténines de hauts et de faibles poids moléculaires et forment des agrégats très complexes. L'aptitude des sous unités gluténines à s'associer par des liaisons disulfures est l'un des principaux facteurs du caractère panifiable du blé.

- Poids moléculaires des gluténines

Les gluténines sont de grosses molécules, dont le poids moléculaire atteint 10 millions dalton, résultent de l'assemblage de sous unités gluténines par des ponts disulfures intermoléculaires.

I.6. Enzymes

Les enzymes sont des protéines qui exercent une activité catalytique spécifique d'un très grand nombre de réactions chimiques. Les principaux facteurs du milieu qui contrôlent leur fonctionnement sont la température, le pH et l'activité de l'eau (Feillet, 2000). Parmi les nombreuses enzymes réparties dans les différentes régions histologiques du grain, dans le germe et la couche à aleurone notamment, celles qui appartiennent aux familles des hydrolases et des oxydoréductases sont les seules dont la présence a été mise en relation avec la qualité des farines (Feillet, 2000).

I.6.1. Hydrolases

I.6.1.1. Enzymes Amylolytiques

Les enzymes amylolytiques sont capables d'hydrolyser l'amidon en amylose et amylopectine et ses produits de dégradation dextrines, oligosaccharides. Elles se différencient par leur aptitude à couper les liaisons α (1,4) ou α (1,6).

L'action des amylases dans la pâte est modulée par les paramètres du milieu : degré d'hydratation de la pâte, température et état d'endommagement de l'amidon (Reicchelt, 1983; Drapron et Godon, 1987).

Les activités α et β amylasiques ne sont pas indépendantes entre elles; l'action de l' α amylase favorise celle de la β amylase, puisqu'elle crée à partir de l'amidon de nouvelles extrémités non réductrices qui sont reconnues comme substrat par la β amylase en conséquence, seules les activités α amylasiques sont contrôlées de façon courante et éventuellement corrigées (Larreta, 1997).

Il existe un seuil d'activité amylolytique au-delà duquel la pâte acquiert un caractère collant et la croûte une coloration excessive (Drapron et Godon, 1987).

Pour se protéger d'un pouvoir diastasique trop élevé des farines, il est possible de diminuer l'activité des α amylases endogènes en abaissant le pH de la pâte au dessous de 04 (Marchylo, 1980).

Jusqu'à 50 °C environ, la dégradation de l'amidon natif est principalement réalisée par les α amylases. La fraction d'amidon endommagée représentant 05 à 10 % d'une farine classique est dégradée beaucoup plus rapidement. Les amylases sont partagées en α amylases et β amylases:

I.6.1.1.1. α amylases

Les α amylases sont des endoenzymes dont la masse moléculaire est comprise entre 50 et 60 KDa. Elles hydrolysent au hasard les liaisons α (1-4) des chaînes d'amylose et d'amylopectine de l'amidon. L'amidon natif est beaucoup plus résistant que l'amidon endommagé ou gélatinisé.

I.6.1.1.2. β amylases

Les β amylases sont des exoenzymes à masse moléculaire voisine de 60 KDa. Elles hydrolysent les liaisons α (1,4) des chaînes d'amylose et d'amylopectine à partir de leur extrémité non réductrice en libérant le maltose. Ce sont des enzymes saccharifiantes. Elles n'hydrolysent pas l'amidon natif.

I.6.1.2. Pullulanases

Les pullulanases sont des enzymes microbiennes coupent spécifiquement les liaisons α (1-6) mais ne peuvent aller au-delà de la libération du maltose. Elles ont une action déramifiantes et permettent aux β amylases de poursuivre leur activité.

I.6.1.3. Amyloglucosidases

Les amyloglucosidases parfois dénommées glucoamylases ou γ amylases, hydrolysent les liaisons α (1-4) en libérant du glucose à partir des extrémités non réductrices de l'amylose et l'amylopectine. Elles hydrolysent les liaisons α (1-6) mais beaucoup plus lentement. Ce sont des exoenzymes qui hydrolysent rapidement les chaînes longues et elles sont les seules à pouvoir transformer la totalité de l'amidon en glucose (Feillet, 2000).

I.6.1.4. Pentosanases

Les pentosanases sont des enzymes capables d'hydrolyser les pentosanes solubles et insolubles. Selon leur mode d'action et leur spécificité, elles se classent en endo ou exoxylanases et en arabinosidases ou arabinoxylanases.

I.6.1.5. Protéases

Les protéases de blé sont de type papaine et ne sont donc actives qu'en présence de réducteurs susceptibles de rompre les liaisons disulfures. Les protéases endogènes de la farine n'ont guère d'influence sur le comportement des pâtes et la qualité du pain ou des pâtes alimentaires.

I.6.1.6. Lipases

L'activité des lipases est généralement suffisamment faible dans les farines. Dans le grain, elles sont principalement localisées dans la couche à aleurone. Leur activité augmente rapidement au moment de la germination. Leur action s'exerce au moment de la conservation de la farine (Feillet, 2000).

Les acides gras insaturés constituants majoritaires des lipides végétaux, sont beaucoup plus fragiles et sensibles aux phénomènes d'oxydation que les acides gras saturés (Multon, 1982). Les lipides inclus dans l'amidon ne sont pas altérés, leur complexation avec l'amylose les protègent des attaques enzymatiques (Feillet, 2000).

I.6.2. Oxydoréductases

Les oxydoréductases catalysent les réactions de transfert d'électrons. En raison de son importance en panification et en pastification, la lipoxygénase est la mieux connue des oxydoréductases du blé et des farines. Ainsi il existe des peroxydases, catalases et polyphénoloxydases.

I.6.2.1. Lipoxygénases

Les lipoxygénases du blé sont des enzymes qui oxydent des monoglycérides possédant des doubles liaisons non conjuguées.

Les lipoxygénases du blé dur font l'objet d'études approfondies en raison de leur capacité à oxyder les caroténoïdes et à diminuer la composante jaune de la coloration des pâtes alimentaires; les lipoxygénases possèdent la propriété de se lier aux gluténines de la pâte par interactions hydrophobes (Feillet, 2000).

I.6.2.2. Peroxydases

Les peroxydases sont des hémoprotéines qui catalysent l'oxydation de phénols et d'amines aromatiques par le peroxyde d'hydrogène.

L'activité peroxydasique des farines est plus élevée, mais moins que celle des enveloppes du grain et du son (Feillet, 2000).

I.6.2.3. Polyphénols oxydases

Les polyphénols oxydases catalysent l'oxydation des phénols en quinones. Elles sont concentrées dans les parties périphériques du grain et présentes en très faible quantité, sinon absentes, dans l'albumen; le germe en est dépourvu.

I.6.2.4. Catalase

La catalase est une hémoprotéine qui catalyse la dismutation du peroxyde d'hydrogène. Sa teneur dans l'albumen décroît au cours de la maturation des grains mais demeure encore élevée dans les farines ; elle est influencée par l'origine génétique des blés et les facteurs agro climatiques.

Chapitre II : Mouture du blé

II.1. Valeur meunière d'un blé

Le terme de valeur meunière, englobe, par définition, la somme des qualités que présentera un blé durant sa mouture. La meunerie exige, à juste titre, un produit suffisamment sec, avec un taux d'impuretés ne dépassant pas les normes généralement admises, n'ayant pas subi d'altérations au cours de conservation (Feillet, 2000).

➤ Les facteurs de la valeur meunière d'un blé sont les suivants:

a- Le rendement possible d'un blé en farine, qui peut être représenté par le rapport :

Poids de l'amande farineuse d'un grain / Poids du grain.

b- La faculté de séparation de l'amande farineuse des enveloppes qui la recouvre, néanmoins, la séparation parfaite reste impossible (Feillet, 2000).

II.2. Taux d'extraction, Taux de blutage

La fabrication de la farine est réalisée par l'industrie de la meunerie dont le rôle est d'extraire, du grain de blé, le maximum de l'amande qu'il renferme. La mouture d'un blé est définie par le taux d'extraction; celui-ci est exprimé par le rapport:

Poids de farine extraite / 100 Kg de blé mis en œuvre.

Le taux de blutage d'une farine représente la quantité d'issues recueillies au cours de la mouture de 100 Kg de blé. Ce taux de blutage ne représente pas exactement le complément du taux d'extraction qui permettrait de retrouver le quintal de blé en mouture (Calvel, 1986).

II.3. Nettoyage et préparation du blé à la mouture

Les grains de blé doivent être sains, propres, sans odeurs étrangères ou dénotant une altération et doivent être exempts de tout insecte vivant (Anonyme 1, 2001).

II.3.A. Nettoyage

Le nettoyage a pour but d'enlever du blé, toutes les impuretés qui y sont présentes. Un pré nettoyage est effectué afin de débarrasser le blé des impuretés grossières (grosses pierres, sable, paille,...), les poussières, mais aussi des insectes morts et certaines formes cachées vivantes qui sont des impuretés particulières (Ajisse, 2000).

II.3.B. Préparation du blé à la mouture

Cette préparation répond à un double objectif:

➤ En premier lieu, assouplir les enveloppes du grain et faire en sorte que son humidité

soit légèrement supérieure à celle de l'amande, en vue de faciliter leur séparation, afin que la farine soit enlevée des issues au maximum et qu'en outre les enveloppes (le son) ne se brisent pas et n'aillent pas souiller de leurs fines piqûres les produits nobles.

➤ En deuxième lieu, amener l'amande farineuse dans un état physique tel que sa réduction en farine fine soit obtenue le plus rapidement possible.

Selon Abecassis, (1993), il est nécessaire de mouiller plus longtemps les blés vitreux, car ils ont une forte capacité d'hydratation et une vitesse d'adsorption plus lente.

II.4. Craquage des grains

II.4.1. Différentes étapes du craquage sont: La fragmentation des grains avec la séparation des fractions.

II.4.1.1. Broyage

L'opération de réduction de la taille des solides porte des noms différents suivant les dimensions des fragments obtenus:

- Le débitage pour des éléments de plus de 100 mm.
- Le concassage pour des morceaux de 25 à 100 mm
- La granulation de 6,3 à 25 mm
- Le broyage de 0,4 à 6,34 mm
- La pulvérisation: particules < 0,4 mm
- La micronisation: jusqu'à quelques microns.

II.4.1.2. Tamisage

Après l'opération précédente, toutes les parties des grains restent en mélange, il convient donc de les séparer par tamisage suivant leur nature ou leur granulométrie

- Séparation selon la granulométrie

Blutage

Ce traitement est utilisé pour séparer les particules de grosseur différente qui consiste essentiellement en un passage au travers d'un tissu de soie, de nylon,...etc dont les fils répartis de façon très régulière pour former des mailles de surface rigoureusement contrôlée.

Les particules dont la taille est inférieure à la grosseur des mailles passent au travers, tandis que les autres sont retenues et forment ce que l'on appelle (le refus). Ces tissus à bluter sont caractérisés par les dimensions des mailles.

- Séparation selon la nature

Sassage

Dans ce cas, des caractéristiques physiques autres que la granulométrie vont être utilisées, conjointement ou non avec elle, pour séparer les particules de nature différente. La caractéristique la plus utilisée est la densité, qui est reliée à la composition des particules.

II.5. Diagramme de mouture de blé dur

Avant d'être utilisé sous ses différentes formes (pâtes alimentaires, couscous, gâteaux), le blé dur doit subir une première transformation qui consiste à récupérer son amande sous forme de semoule débarrassée des parties périphériques.

Chaque opération de broyage est suivie d'un tamisage de façon à séparer les particules suffisamment réduites des autres particules plus grosses qui sont soumises à un autre broyage, pour réduire leur taille (**Figure 2**).

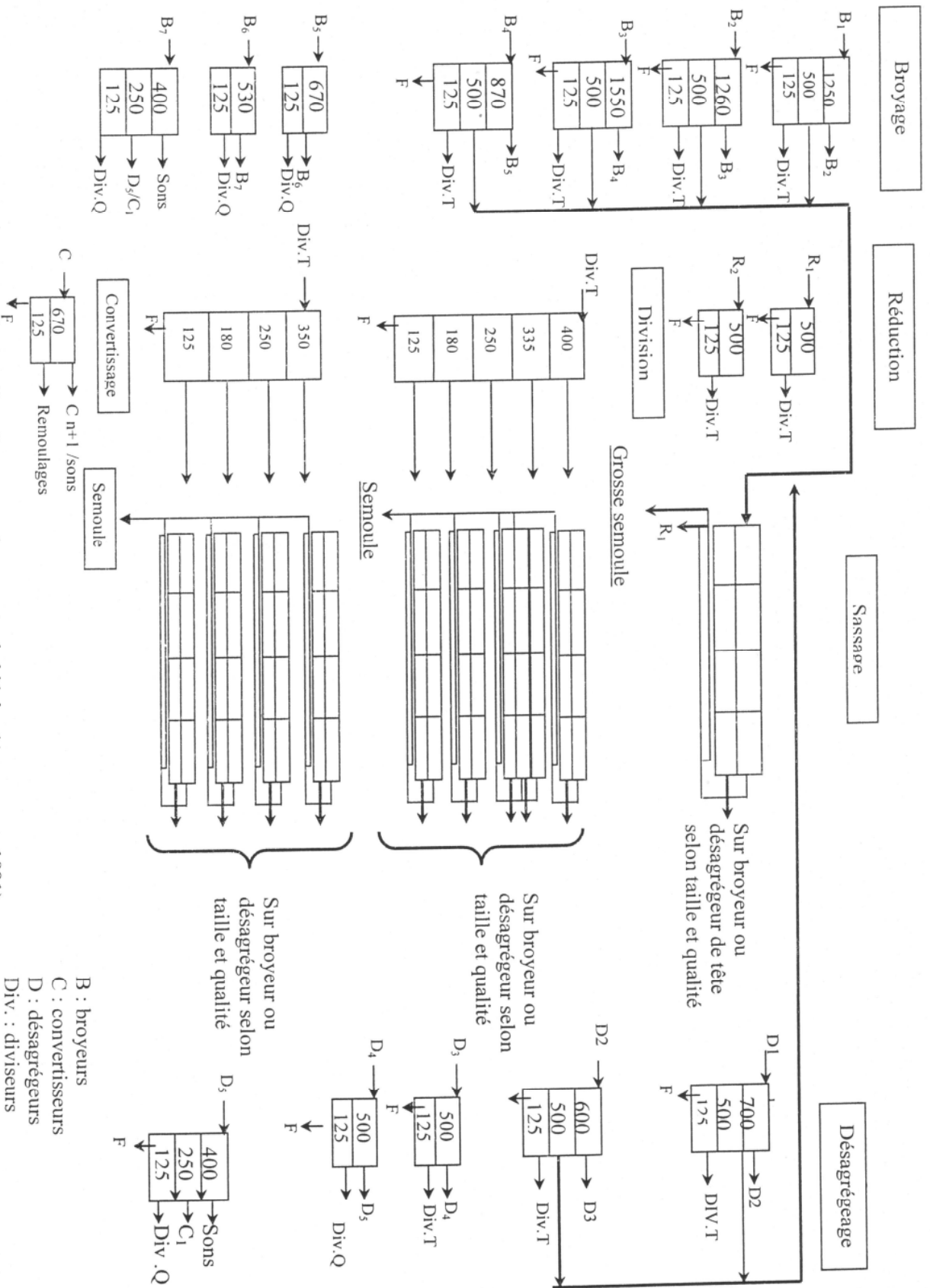


Figure 2: schéma de principe d'un diagramme de mouture de blé dur (ABECASSIS, 1991)

II.6. Différents produits de la mouture

Les produits de mouture du blé sont représentés par **la figure 3**

1- Farine

La farine est le principal produit de la mouture de blé tendre, constituée par des particules très fines de l'amande du grain, résultant de la réduction de celle-ci.

2- Semoules

Produit principal de la mouture de blé dur sont des morceaux d'amande, plus ou moins vêtus d'enveloppe. La semoule de latin "simila" est le produit noble de l'industrie de la semoulerie (150 à 500 µm de diamètre) (Abecassis, 1991).

3- Finots

Ce sont des semoules très fines et très pures, ils proviennent de la réduction des semoules.

4- Farine de blé dur

Particules dont la taille granulométrique est inférieure à 180 microns. Sous produit de mouture du blé dur appelé aussi gruau (Abecassis, 1987).

5- Issues

Ce sont les produits finis autres que les farines:

a- Sons, constitués par les enveloppes du grain et une certaine partie de l'amande adhérente à la face interne de ces enveloppes. Suivant leur taille on distingue les gros sons et les fins sons.

b- Remoulages, comprennent un mélange d'enveloppes plus ou moins finement broyées et d'amande farineuse.

c- Farines basses, farines extrêmement piquées, correspondant aux farines obtenues en faible quantité à la fin du claquage et du convertissage.

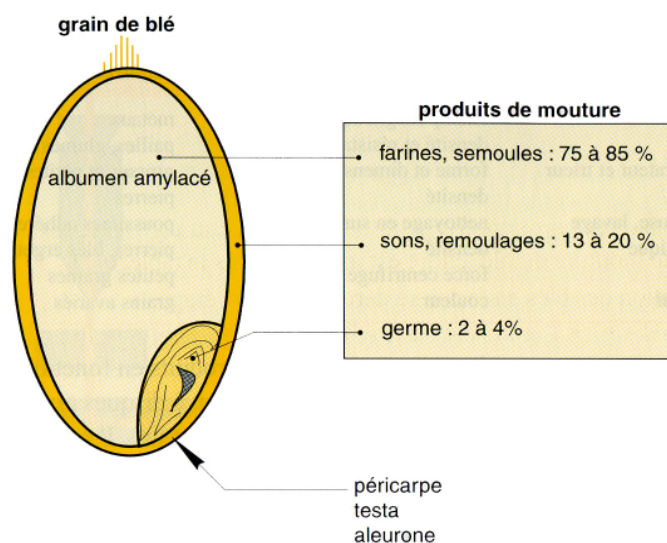


Figure 3: Origine histologique des produits de mouture de blé (Feillet, 2000)

II.8. Farine de blé dur

II.8.1. Définition

Selon Codex Alimentarius (1995), la farine de blé dur est le produit obtenu à partir des grains de blé dur par procédé de mouture ou de broyage au cours desquels le son et le germe sont essentiellement éliminés. Le reste étant broyé à un degré de finesse adéquat. La farine de blé dur est produite simultanément avec la semoule.

II.8.2. Origine

Dans une semoulerie, l'objectif principal est de produire de la semoule néanmoins l'action successive des appareils à cylindres entraîne la production de la farine.

La quantité de farine produite est d'autant élevée que le blé est mitadiné, en effet il existe une corrélation significative entre le taux de mitadinage et le pourcentage en farine obtenue au cours de la mouture (Abecassis, 1987), ainsi que le prolongement de temps de repos des blés durs.

II.8.3. Caractéristique de la farine de blé dur

II.8.3.1. Granulométrie

Elle présente des particules plus sphériques que la farine de blé tendre, cette particularité est due en partie à l'absence de l'action de convertisseurs.

II.8.3.2. Couleur

La farine de blé dur est de couleur jaune ambré, due à la présence de pigments caroténoïdes du blé dur (carotènes, xanthophylles).

Dexter *et al.* (1994), rapportent que les caroténoïdes responsables de la couleur jaune sont plus concentrés dans les parties externes du grain. Bien que le degré de cette couleur dépend de la quantité de pigments présents dans le grain, il est aussi influencé par le taux d'extraction (Quaglia, 1988) et l'activité des enzymes (lipoxygénases) susceptible de détruire ces pigments (Abecassis, 1996).

II.8.3.3. Pureté

C'est le taux de contamination de produit de l'albumen par des produits issus des enveloppes, de la couche à aleurone et du germe (Abecassis, 1996). L'augmentation du taux d'extraction provoque un accroissement de la teneur en protéines, en fibres et en matières minérales des produits, cette augmentation ne peut donc qu'être favorable sur le plan nutritionnel (Abecassis et Feillet, 1985).

II.8.4. Composition biochimique de la farine de blé dur

II.8.4.1. Glucides

Dans le grain de blé il existe près de 70% d'amidon et de 2% de sucres solubles (Bushuk, 1986). Selon Boyacioglu et D'Appolonia (1994), ces sucres solubles sont plus abondants chez la farine de blé dur que la farine de blé tendre, cette différence proviendrait de quantités élevées d'amidon endommagé.

II.8.4.2. Protéines

Elles sont le second constituant pondérale des farines après l'amidon. Pomeranz (1983), a montré que les farines de blé dur renferment entre 9 et 15 % de protéines et que ces valeurs extrêmes peuvent être retrouvées chez les farines de blé tendre. Cependant la concentration en protéines est fonction de la variété, des conditions de culture et du climat (Dacosta, 1986).

II.8.4.3. Lipides

La quantité de matière grasse présente dans la farine est fortement influencée par l'origine histologique et le taux d'extraction. Avec le même taux d'extraction, les farines de blé dur sont plus riches en lipides que les semoules, retrouvées à un taux variant de 1.5 % à 2 % dans la farine de blé dur (Abecassis, 1987).

II.8.4.4. Pentosanes

Les pentosanes représentent 6 à 8% du grain et 2 à 3% de la farine de blé tendre (Feillet, 2000). Selon Boyacioglu et D'Appolonia (1994), la quantité de pentosanes contenus dans la farine de blé dur est similaire à celle des farines de blé tendre.

II.8.4.5. Matières minérales

Selon Abecassis (1987), les teneurs en matières minérales augmentent régulièrement en passant du centre vers les parties périphériques, cependant qu'avec le même taux d'extraction, elles sont deux fois plus élevées dans la farine de blé dur que dans les semoules.

Chapitre III: Panification

III.1. Valeur boulangère

La valeur boulangère d'un blé est une notion représentée par toutes conditions de fabrication égale par ailleurs par les aptitudes de la farine, qui en est tirée, à donner du beau et du bon pain (Feillet, 2000).

Deux groupes de facteurs importants influencent la valeur boulangère:

- 1- Les qualités physiques de la pâte obtenue;
- 2- Ses qualités fermentatives.

III.2. Modèles de panification

Les processus de panification sont résumés par les figures (4, 5, 6) suivantes

-Modèle de panification Européen fabriqué par le mélange de 700 g de farine, 25 g de sel et de 350 g de levain.

-Modèle de panification Anglosaxon obtenu par un mélange de 500 g de farine, 10 g de sel et 10 g de levure.

-Modèle de panification CNERNA fabriqué par le mélange de 100g de farine, 2,2 g de sel et 02 g de levure.

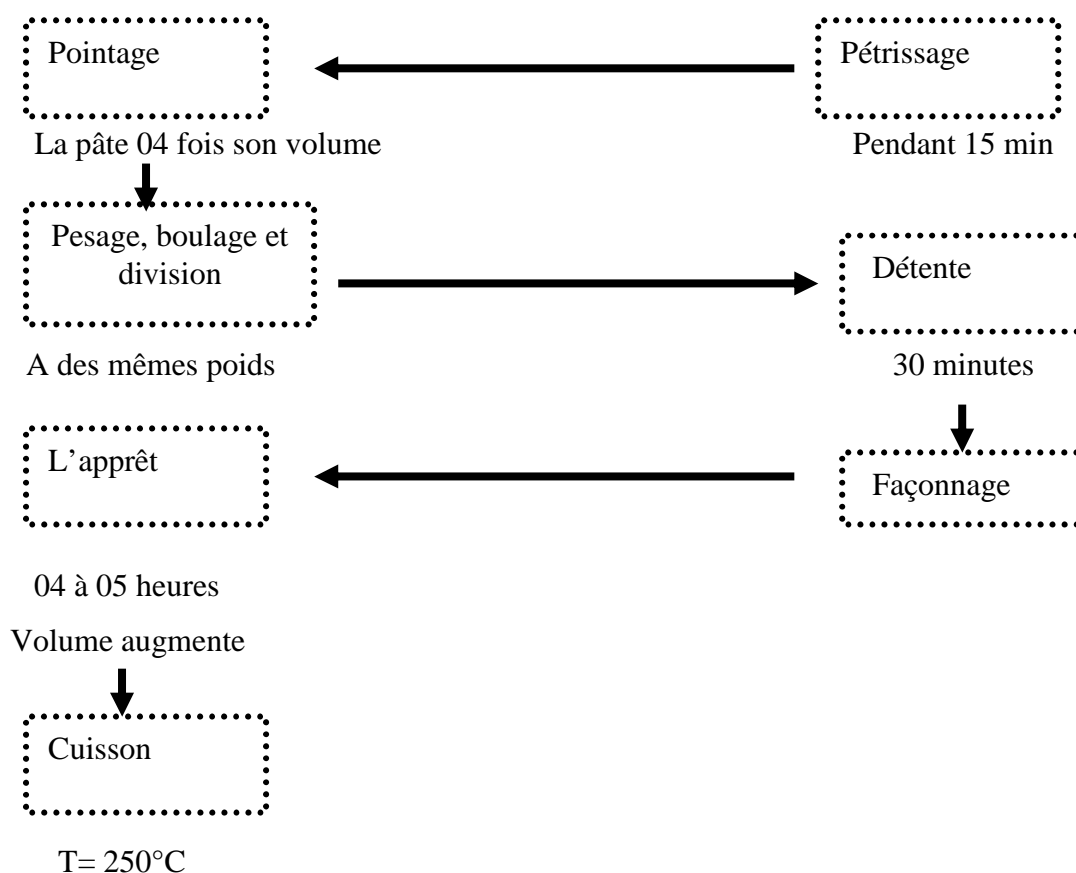


Figure 4: Processus de panification Européen (Anonyme 2).

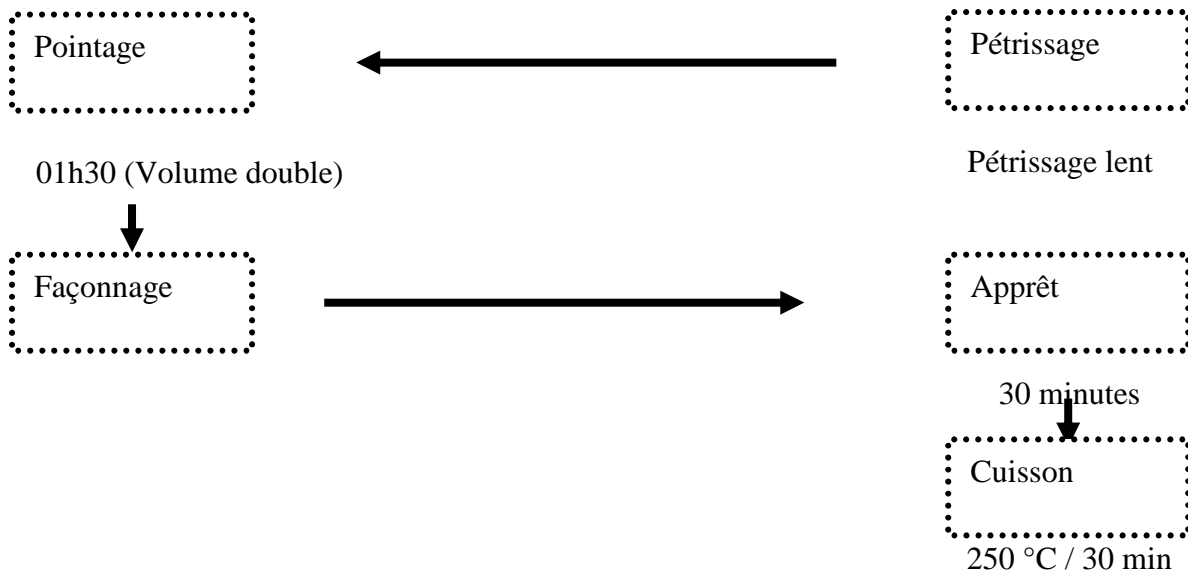


Figure 5: Processus de panification Anglo-saxon (Anonyme 2).

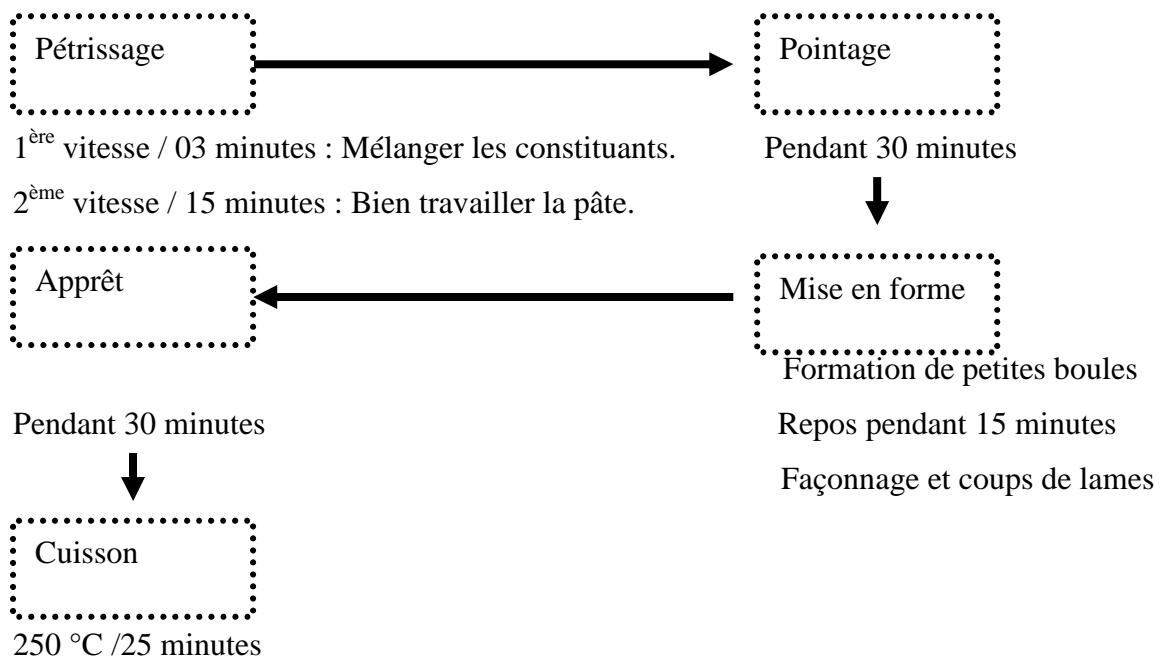


Figure 6: Processus de panification selon la méthode CNERNA (Anonyme 2).

III.3. Produits pour la panification

III.3.1. Eau

L'eau est le plus important constituant de la pâte et joue un rôle majeur au cours de sa confection; mouille le produit, gonfle les grains d'amidon et favorise l'assouplissement et l'allongement du gluten, ce qui donne à la pâte ses propriétés de plasticité, qui lui permettent de se développer et de se laisser façonner.

III.3.2. Sel

Chimiquement, le sel est du chlorure de sodium (NaCl), corps très répandu dans la nature. La présence du sel se manifeste tout au long de la panification. Il améliore en premier lieu les qualités plastiques de la pâte: fermeté, tenacité, et permet légèrement l'addition d'eau (Anonyme 3). Il agit ensuite sur l'activité de la fermentation, qu'il freine un peu, et joue dans ce domaine le rôle de régulateur. Il influence également, pendant la cuisson, la coloration de la croûte, qu'il favorise.

III.3.3. Levure

La levure utilisée est l'espèce *saccharomyces cerevisiae*. Qui provoque la fermentation et transforme les sucres en alcool et en gaz carbonique.

III.4. Étapes de panification

III.4.1. Pétrissage

Le pétrissage de la pâte est un stade très important dans la panification, le degré de pétrissage a une relation très importante dans la qualité de celle-ci (Olewnik *et al.*, 2004). C'est la première opération de la panification proprement dite: Il assure, à la fois le mélange intime des matières premières mises en œuvre et la confection de la pâte.

Le pétrissage conduit à la formation d'un gluten homogène distribué autour des granules d'amidon. De la structure du réseau de gluten dépendra la structure alvéolaire de la mie. Un pétrissage mécanique intense sera responsable d'une mie très développée à alvéolage petit (type pain de mie), tandis qu'un pétrissage lent et court permettra l'obtention d'un alvéolage plus irrégulier, avec de grosses alvéoles (Anonyme 1).

III.4.2. Fermentation

La fermentation panaire est une fermentation alcoolique engendrée par l'action des ferments sur les sucres présents dans la pâte qui les transforment en alcool et en gaz carbonique.

Au cours de la fermentation panaire, qui est relativement longue, quelques transformations physicochimiques et biologiques se déclenchent. La levure consomme 02 à 03 % des sucres

de la farine (préexistants puis formés par amylolyse), les transforme surtout en gaz carbonique et alcool (Calvel, 1986), mais il se forme également de faibles quantités de divers corps qui ont une action sur la qualité du pain (acides), sur la saveur et l'odeur (acétyl méthyl- carbinol, mercaptans, composés carbonylés,...etc).

III.4.3. Mise en forme

Afin d'obtenir des pains d'un poids déterminé, les pâtons sont pesés. Le pesage est donc l'opération indispensable qui précède la tourne.

Lorsque la mise en forme est obtenue, suivant la région et les habitudes, les pâtons sont déposés, pour y subir l'apprêt ainsi que pour assurer la mise au four (Anonyme 1)

III.4.4. Apprêt

L'apprêt correspond à la dernière période de fermentation (fermentation finale) des pâtons après le façonnage et avant l'enfournement. Pendant laquelle ils se développent pour atteindre un volume jugé optimal: Environ trois fois leur volume initial au moment de la mise au four. A ce stade, les levures jouent pleinement leur rôle d'agent de levée de la pâte. La production de CO₂ l'emporte sur celle de l'alcool (Anonyme 3)

III.4.5. Cuisson

Les pains sont enfournés à 250-280 °C en présence de vapeur d'eau. Avant l'enfournement, le boulanger scarifie les pains avec une lame pour faciliter le développement des pains. Les grignes ainsi obtenues interviennent également dans le côté esthétique du pain tout en développant des arômes intenses, l'alcool produit lors de la fermentation sera éliminé par simple évaporation en tout début de cuisson dans le four à pain. Le rapport gliadines / gluténines est un facteur qui influence les propriétés et la qualité de cuisson (Daniel et Triboi, 2000)

III.4.5.1. Transformations subies au cours de la cuisson

- La dilatation du CO₂ sous l'action de la chaleur: augmentation de volume.
- Vers 60C°, destruction de la levure: arrêt de la fermentation (Anonyme 4).
- Transformation de l'amidon en empois.
- Vers 70 C°, coagulation du gluten, formation de la croûte: dextrinisation puis caramélisation superficielle de l'amidon (Mignolet, 1985).

III.5. Pain

III.5.1. Définition

Pains élaborés exclusivement avec la farine certifiée, diagramme de panification optimisé pour favoriser le goût et la conservation (Rival, 2000).

III.5.2. Qualité de pain

La qualité de pain dépend de plusieurs paramètres intrinsèques de la farine tels que l'amidon (Messens et De Vuyst, 2002), le gluten (Meignen *et al.*, 2001) et l'activité enzymatique, les éléments minéraux, lipides et activité de l'eau (Gugerli *et al.*, 2004).

III.5.3. Différents pains

III.5.3.1. Typologie du pain par qualité

Parmi les principales qualités de pains, relevons (Anonyme5):

❖ Fougasse

La fougasse, ou fougace ou fouasse, est un pain provençal. En Italie, elle se nomme focaccia et se décline de différentes façons, d'un pain (biscuit) très fin à une sorte de pizza. Il est assez plat.

❖ Pain au levain

Le pain au levain est un pain fait à base de levain, qui est la plus ancienne technique connue pour obtenir du pain levé.

❖ Pain azyne

Le pain azyne (du grec ancien: *a* privatif et *zumos* levain) est un pain ancien confectionné de céréales comme d'autres, mais il est non levé car il est uniquement constitué d'eau et de farine pétris ensemble.

❖ Pain de campagne

Le pain de campagne est l'appellation donnée à certains types de pains de fabrication courante, censés retrouver le goût et les caractéristiques du pain traditionnel des campagnes. Il est fait, comme la plupart des pains, à base de farine, de levure et d'eau, et cuit dans un four.

❖ Pains fantaisies

Peuvent incorporer des noix, des châtaignes, des morceaux de lard... etc, et présenter toutes sortes de formes.

❖ Pains spéciaux

-Bagel Le bagel ou beguel, est un rouleau en forme d'anneau, à la texture très ferme, fait d'une pâte au levain plongé brièvement dans l'eau bouillante avant d'être passé au four.

-Pain au lait (il ne s'agit en fait pas de pain mais d'une viennoiserie). Brioche qui a la forme d'un petit pain.

-Pain brioché ou brioche: fabriqué avec une pâte contenant des matières grasses, du sucre et des œufs.

-Pain complet: pain fabriqué avec une farine complète (blé dur, blé tendre). Il est riche en fibres et en sels minéraux.

-Pain crestou: le pain crestou est un pain à base de farine boulangère et de graines de céréales entières.

-Pain de méteil: pain contenant 50 % de seigle.

-Benoiton: petit pain de seigle en forme de boule contenant des raisins de Corinthe.

-Pain de mie: préparé avec une pâte additionnée de matières grasses et de sucre, il est à la base de la fabrication des biscottes. Le pain de mie est un type de pain sucré qui se caractérise par son absence de croûte croustillante et le caractère moelleux de sa mie, qui apparaît très blanche.

-Pain de seigle: pain fabriqué avec une pâte contenant au minimum 65 % de farine de seigle. Si cette teneur est comprise entre 10 et 35 %, le pain est appelé « pain au seigle ».

-Mantou: petit pain chinois qui n'est pas cuit au four mais à la vapeur.

-Pain pistolet: le pistolet est un petit pain bruxellois, au lait, rond

-Pain sans sel: sans ajout de sel à la fabrication, le pain sans sel contient néanmoins de 0,2 à 2,2 g de chlorure de sodium par kilo.

-Pain tabouna: pain moyen-oriental cuit sur les parois du four. Le pain tabouna est un pain tunisien artisanal cuit le long des parois d'un four traditionnel en terre cuite, lui-même appelé tabouna.

-Pain viennois: c'est un pain de mie avec addition du lait.

III.5.3.2. Typologie du pain par pays

❖ France

La fabrication est réglementée par la loi: le pain normal doit être préparé à partir de farine de blé tendre (froment). Le pain contient 2,5 - 2,7 g de sel (baguette) (Anonyme 5).

❖ Pains par dimension (en France)

-La flûte (400 g), de même longueur mais d'épaisseur double de la baguette. En Franche-Comté, la flûte est appelée le pain long. Dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, la flûte est appelée le restaurant.

-La baguette (250 g), une baguette standard est large d'environ 5 à 6 cm, haute d'environ 3 à 4 cm et longue d'environ 65 centimètres. Les différentes sortes de pains sont caractérisées entre autres par leur poids. La croûte des baguettes est très croustillante et dorée, tandis que la mie, est blanche et moelleuse. En principe, elle reprend sa forme si elle est pressée. C'est un critère pour savoir si le pain est de qualité.

-La ficelle: la ficelle est une variété de pain français de forme fine et allongée dont le poids est celui d'une demi-baguette.

❖ Europe du Nord et Europe centrale

Dans les pays du nord de l'Europe, particulièrement la Scandinavie et l'Allemagne, le pain se fait souvent avec le seigle et un levain. Pour l'Allemagne il existe entre 300 et 600 sortes de pain, qui se distinguent par la forme, la farine ou la méthode de production.

❖ États-Unis et Amérique du Nord

Le pain le plus connu se fait avec du lait et du beurre, tel que le sourdough de San Francisco. Les pains juifs sont populaires, particulièrement les bagels et le hallah (comme la brioche, mais avec de l'huile, pas de beurre), et les pains italiens (pizza, etc.).

Partie expérimentale

IV. Matériel et méthodes

IV.1. Matériel végétal: L'échantillonnage des blés et farines est effectué au niveau des moulins de la Soummam de Sidi- Aich (ERAD de Sidi Aich). Les blés utilisés sont importés. La quantité prélevée pour analyse est de 05 Kg. Les différents échantillons sont prélevés à différentes dates (**Tableau II**).

Tableau II: Echantillonnage des blés avec leurs farines

Échantillon	Date de prélèvement	Échantillon	Date de prélèvement
BD1 et SSSF1	09-03-2008	BT1 et F1	24-03-2008
BD2 et SSSF2	10-03-2008	BT2 et F2	25-03-2008
BD3 et SSSF3	01-04-2008	BT3 et F3	08-04-2008
BD4 et SSSF4	09-06-2008	BT4 et F4	09-06-2008

L'échantillonnage est réalisé pour évaluer le potentiel technologique de la farine de blé dur.

IV.2. Méthodes analytiques

IV.2.1. Analyses physicochimiques

Les principales caractéristiques physiques des grains sont définies par le poids à l'hectolitre, la masse de 1000 grains, le taux de vitrosité et la teneur en impuretés.

IV.2.1.1. Impuretés (NF V 03 - 708)

But: Elimination de tous ce qui est étranger au grain de blé ainsi que les grains de l'espèce cassés, attaqués par des prédateurs, malades ou immatures.

Principe : Séparation des impuretés par tamisage et triage manuel.

Mode opératoire : Procéder à la réduction à l'aide d'un diviseur d'échantillon jusqu'à obtention d'une quantité ± 100 g.

- Un tamisage manuel horizontal de 30 S avec une grille de mailles de dimensions 1,9 / 2,0 mm pour le blé dur, soit 2 / 1.9 mm pour le blé tendre.

- Triage avec une pince les impuretés.

- Pesée des impuretés.

IV.2.1.1.1. Indice Nottin (NF V 03-705)

Principe : L'indice Nottin traduit le mitadin à 100%, 50%, à 10% des blés durs.

Expressions des résultats : Indice Nottin = 1(Masse des grains à 100 % mitadinés) + 0.5 (Masse des grains à 50% mitadinés) + 0.1 (Masse des grains à 10 % mitadinés) + la masse de blé dur.

IV.2.1.2. Masse à l'hectolitre (poids spécifique) (NF V 03-719)

Définition : La masse à l'hectolitre, appelée aussi poids à l'hectolitre ou poids spécifique (PS), est la masse d'un hectolitre de grains exprimée en kilogrammes.

Principe : remplissage de la trémie des grains puis ouverture de la trappe et écoulement des grains dans le demi- hectolitre qui sera pesé.

IV.2.1.3. Masse de mille grains (NF V 03-702)

Principe : Le principe de la méthode repose sur la pesée et le comptage automatique ou manuel du nombre de grains entiers contenus d'une prise d'essai de masse connue.

Mode opératoire : Prélever au hasard une quantité approximativement égale à la masse de 500 grains de l'échantillon tel quel et la pesée et comptage des grains entiers à l'aide d'un compteur ou par un comptage manuel.

Expression des résultats : Masse de 1000 grains tels quels déterminée par la formule suivante : $M_h = (M_0 \times 1000) / N$.

M_h : Masse de mille grains en grammes.

M_0 : Masse de grains entiers en grammes.

N : Nombre de grains contenus dans M_0 .

IV.2.1.4. Détermination de la teneur en eau (NF V 03-706)

Principe : Séchage d'une prise d'essai dans une étuve multicellulaire (Chopin).

Mode opératoire : La méthode consiste en un séchage à pression atmosphérique dans une étuve multicellulaire d'une prise d'essai de 05 g de la farine (blé dur et blé tendre) et les broyats des blés à une température de 130° C pendant 1h30 pour les farines du blé tendre et 02 h pour les semoules, la farine du blé dur et les broyats préparés par un broyeur du type BUHLER, pesée de la masse avant et après séchage.

Expression des résultats : La teneur en eau en pourcentage en masse du produit

$$H\% = ((m_0 - m_1) / (m_0)) \times 100.$$

m_0 : La masse en grammes de la prise d'essai. H% : La teneur en eau en pourcentage.

m_1 : La masse en grammes de la prise d'essai après séchage.

IV.2.1.5. Matières minérales (NF V 03-720)

Principe : Le principe repose sur l'incinération du produit dans une atmosphère oxydante à une température de 900°C (céréales et produits de mouture) ou à 550°C (issues, germes, légumineuses) jusqu'à combustion complète de la matière organique, la teneur en matières minérales est déterminée par la pesée du résidu.

Expression des résultats:

Teneurs en matières minérales

$$(M_1 \times 100 / M_0) \times (100 / 100 - H)$$

M_0 : Masse de la prise d'essai en grammes ;

M_1 : Masse du résidu (en grammes) ;

H : Teneur en eau de l'échantillon (en pourcent).

IV.2.1.6. Détermination du taux d'affleurement (NF V 11-501)

Principe : Il est basé sur le tamisage d'une quantité de farine dans un ROTACHOC garni de tamis d'ouverture normalisée, d'un fond ramasseur et d'un couvercle, ensuite la pesée de l'extraction obtenue.

Mode opératoire : 100 g du produit, placés dans des tamis de mailles de 200 µm pour la farine et de 140 µm pour la SSSF.

Ces tamis munis des fonds ramasseurs et des couvercles, qui sont mis en marche pendant 05 minutes qui correspondent à la réalisation de 1000 tours.

Expression des résultats : Le taux d'affleurement exprimé en pourcentage par rapport à la matière telle quelle, est calculé par la formule suivante :

$$\text{Taux d'affleurement} = (t / m) \times 100$$

Où :

t : Quantité (g) de produit restant sur le tamis (refus).

m : Prise d'essai (g).

IV.2.1.7. Détermination de l'acidité grasse (NF V03-712)

Principe : Mise en solution des acides gras dans l'éthanol à 95 % (V/V) à la température du laboratoire, centrifugation et titrage d'une partie aliquote du surnageant par l'hydroxyde de potassium (0,05 N).

Mode opératoire : Introduire dans le tube de centrifugeuse 05 g de produit, ajouter 03 mL d'éthanol à 95 %, procéder ensuite à une agitation à l'aide d'un agitateur mécanique pendant

01 heure. Procéder alors à une centrifugation successive à deux minutes chacune, juste après, prélever 20 mL de surnageant à la solution alcoolique et l'introduire dans un mortier.

Ajouter à ce surnageant 80 mL d'eau distillée et 05 gouttes de phénophtaléine, titrer avec la solution KOH (0,05 N) jusqu'au virage rose pale.

Expression des résultats : L'acidité grasse, exprimée en grammes d'acide sulfurique pour 100 g de matière sèche, est donnée par la formule suivante :

$$A = (7.35 (V_1 - V_0) C / M) \times (100 / 100 - H).$$

Où :

C : La concentration en moles par litre, de la solution d'hydroxyde de potassium.

M : La masse en grammes de la prise d'essai.

V₁ : Le volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de potassium utilisée pour la détermination.

V₀ : Le volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de potassium utilisée pour l'essai témoin.

H : Teneur en eau de l'échantillon pour l'essai.

IV.2.2. Analyses biochimiques

IV.2.2.1. Dosage des protéines totales

-Dosage de l'azote selon la méthode de Kjeldahl (NF V 03-050)

Principe : Minéralisation par l'acide sulfurique en présence de catalyseur, alcalinisation des produits de la réaction, distillation de l'ammoniac libéré et titrage.

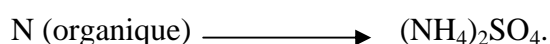
Mode opératoire

- Prise d'essai : 01 g.

- Minéralisation : Elle se fait avec l'acide sulfurique en présence de catalyseurs. Le début du chauffage est une phase délicate de la méthode de Kjeldahl, souvent, il se produit de la mousse qui risque d'envahir le col du matras ou même de s'en échapper.

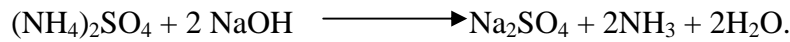
Pendant le chauffage, l'orifice du matras peut être partiellement obstrué.

L'azote organique, chauffé dans l'acide sulfurique concentré en présence de catalyseurs, est décomposé et transformé en sulfate d'ammonium.



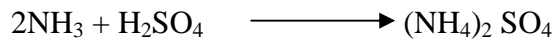
-Distillation de l'ammoniac: Effectuer la distillation dans les conditions d'utilisation de l'appareil considéré. S'assurer que la distillation de l'ammoniac est complète.

L'ammoniac est déplacé de son sel par une base forte :



Il est entraîné par la vapeur d'eau et recueilli dans une solution d'acide borique.

-Titrage : Avec une solution H_2SO_4 en présence d'indicateur coloré.



Expression des résultats :

$$K \times N \times 100 / (100 - H)$$

K : Facteur de conversion (5.7 pour l'alimentation humaine et 6.25 pour l'alimentation animale et l'orge de brasserie).

N : Teneur en azote de la prise d'essai (en pourcent).

H : Teneur en eau de l'échantillon (en pourcent).

IV.2.2.2. Extraction et dosage de la matière grasse (NF V 03-713)

Objet : La présente norme expérimentale décrit une méthode de la détermination de la teneur en matière grasse totale dans les céréales et produits céréaliers destinés à l'alimentation humaine, y compris les produits de cuisson et les pâtes alimentaires par le soxhlet.

Principe :

Utilisation du soxhlet pour l'extraction par l'hexane des matières grasses, ensuite élimination du solvant et la pesée du résidu ainsi obtenu.

IV.2.3. Analyses technologiques

IV.2.3.1. Dosage du gluten (ISO 7495)

Principe : L'extraction du gluten se fait par malaxage mécanique d'un mélange de farine et d'une solution de chlorure de sodium, suivi d'un lavage et d'un rinçage avec la même solution et l'eau distillée respectivement. Centrifugation du gluten à travers une grille perforée et la pesée à l'état humide, après dessiccation dans le module de séchage de type GLUTORK à 150°C pendant 04 minutes, la pesée du gluten sec.

Mode opératoire : Pesée de 10 g de produit, les introduire dans un mortier, à l'aide de la pipette on verse 05 mL de la solution de NaCl (02 %) en agitant avec la spatule formant une pâte qui est pétrie avec la main, lavage avec l'eau salée ensuite rinçage avec l'eau distillée. Procéder par la suite à une centrifugation suivie d'un séchage et pesée de GH et GS qui sont exprimés en pourcentage.

Expression des résultats : La teneur en gluten humide s'exprime en pourcentage de la matière telle quelle par la formule suivante :

$$\text{GH}\% = (M_1 / M_0) \times 100$$

M_1 : Masse de la pâte M_0 : masse de la prise d'essai en grammes

$$GS \% = (M_2 / M_0) \times 100$$

M_2 : Masse de la galette M_0 : la masse de la prise d'essai en grammes

$$GI \% = (M_3 / M_0) \times 100.$$

M_3 : La masse du gluten résiduel M_0 : la masse de gluten humide en grammes

- Calcul de la capacité d'hydratation selon la formule suivante :

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

Où:

CH: La capacité d'hydratation **GH:** Gluten humide

GS: Gluten sec **GI:** Gluten index.

IV.2.3.2. Détermination de l'indice de chute de HAGBERG (NF V 03-703)

Principe : Repose sur la mesure de la viscosité d'un empois, formé par la gélification d'une suspension aqueuse de produit ou de mouture intégrale placée dans un bain d'eau bouillante, l'évolution de sa viscosité liée à l'activité des enzymes est appréciée par le temps mis par un agitateur pour traverser la préparation sous l'effet de son propre poids.

Mode opératoire : La lecture se fait avec un tableau d'humidité qui correspond à la masse du produit à utiliser, ensuite ajouter 25 mL d'eau distillée, puis agiter 30 agitations et le mettre au bain marie qui contient un viscosimètre ou il y'a un compteur qui va calculer le temps de chute.

Expression des résultats : L'indice de chute de HAGBERG s'exprime en (s), il globalise la durée d'agitation de la préparation (60 secondes) et celle de la chute de l'agitateur T' .

$$T (\text{sec}) = 60 \text{ sec} + T'$$

T : Temps de chute d'HAGBERG en secondes

T' : Temps de chute de l'agitateur en secondes.

IV.2.3.3. Détermination de l'indice de sédimentation de ZELNY (ISO 3093 :1982)

But : Il est basé sur le gonflement de la fraction protéique d'une quantité de farine.

Mode opératoire : Peser 3.2g de farine, ajouter 50 mL de Bromophénol, laisser en contact pendant 05 secondes puis pendant 05 minutes, ajouter 25 mL de réactif de Zeleny et agiter le mélange et laisser le reposer encore 05 minutes.

Le volume de dépôt exprimé en millilitres représente l'indice de Zeleny.

Expression des résultats : Le volume du dépôt, exprimé en millilitres, représente l'indice de sédimentation.

IV.2.4. Analyses rhéologiques

Essai de l'alvéographe (NF V 03-710)

Principe : L'alvéographe CHOPIN permet de suivre la déformation d'une mince lame de pâte par suite de l'action d'une pression d'air insufflée à vitesse constante.

L'évolution de la pression dans la bulle est mesurée et rapportée sous forme de courbe appelée l'alvéogramme.

Cette présente norme a pour objet la détermination au moyen d'un alvéographe de certaines caractéristiques rhéologiques des pâtes obtenues à partir de farines.

Mode opératoire : Préparation d'une pâte à partir d'une farine de blé tendre ou de blé dur et de l'eau salée. Formation des pâtons sous forme de disques, après un temps de repos déterminé et réglage de l'épaisseur des pâtons, extension biaxiale par gonflement sous forme de bulles, enregistrement graphique des variations de pression à l'intérieur de la bulle en fonction du temps et appréciation des caractéristiques de la pâte d'après la surface et la forme des diagrammes obtenus.

Expression des résultats : L'alvéographe CHOPIN conduit aux indications suivantes :

W : Il représente la surface de l'alvéogramme, il correspond au travail de déformation de la pâte jusqu'à la rupture et exprime la force de la farine, mesuré en erg.

L ou G : Mesuré en millimètres, correspond au gonflement maximal de la bulle qui est en relation avec l'extensibilité de la pâte. Le gonflement G se déduit par le calcul à partir de L :
 $G = 2.2 L$.

P : Pression maximale, c'est la résistance maximale de la pâte à la déformation, elle est liée à la tenacité de la pâte mesurée en mm H₂O.

P/L : Est le rapport de configuration Tenacité / Extensibilité. Il donne une indication sur l'équilibre entre ces deux caractères de la pâte.

IV.3. Essai de la panification (NF V 03-716)

L'essai de panification est réalisé suivant la méthode CNERNA. Il a été réalisé dans une boulangerie.

Principe : Obtention d'une pâte par pétrissage intensifié de 250 g de farine, de 5.5 g de levure, 5 g de sel sans autres ingrédients, et une quantité d'eau déterminée par le boulanger suivi d'un pointage, d'un façonnage, et un long apprêt en dernier lieu. Incision des pâtons par des coups de lames, puis mise au four et cuisson à 250°C pendant 25 minutes (Figure 7).

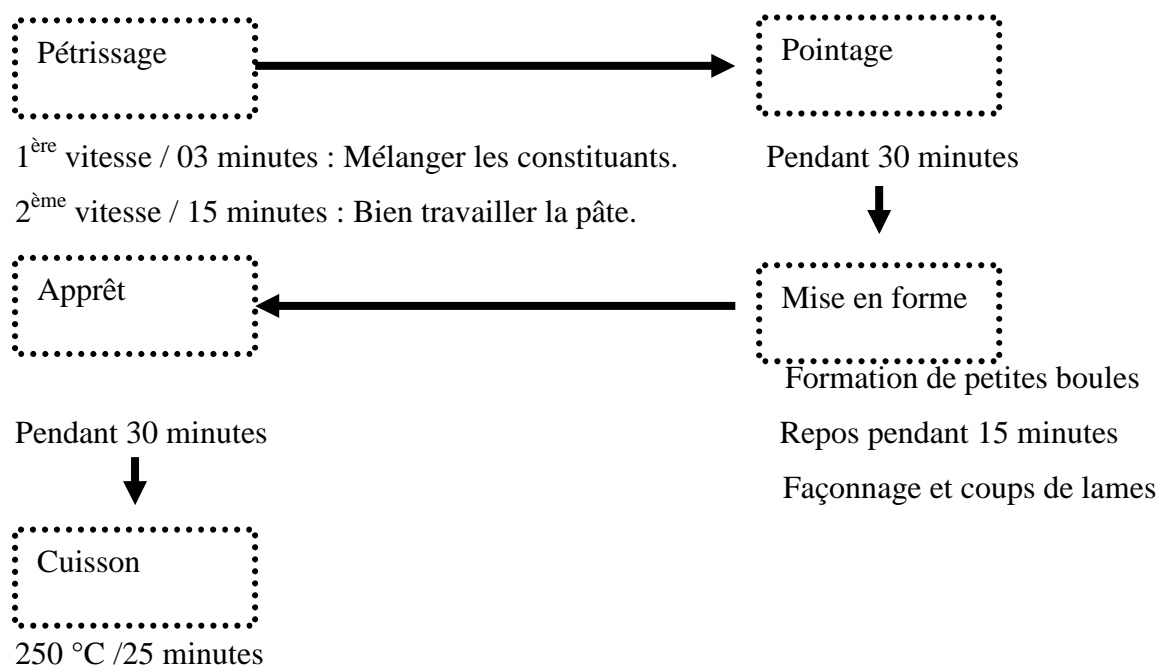


Figure 07: Processus de panification selon la méthode CNERNA.

IV.4. L'analyse sensorielle (ISO 6820 : 1985)

Les pains sont présentés aux dégustateurs afin d'évaluer leur croûte, mie, odeur et goût. La couleur de la croûte et de la mie est qualifiée par un certain adjectif (normale, rouge, jaune et blanche) ; le goût et l'odeur du pain est qualifié par l'adjectif (bon, peu agréable et normal) Les résultats sont représentés en pourcentage.

Ce test de dégustation est effectué au niveau de la boulangerie, le panel de dégustation est formé de 10 individus.

IV.5. Analyse statistique

La variance (test de Newman Keuls) des résultats d'analyses des échantillons et les histogrammes ainsi que la matrice de corrélation ont été effectués grâce aux logiciels STATISTICA et STATVIEW.

V. Résultats et discussions

V.1. Étude physicochimique

V.1.1. Les grains

La qualité de la matière première joue un rôle primordial dans l'obtention des produits finis répondant aux besoins des utilisateurs (industriel, consommateur). La qualité boulangère n'est mesurée qu'indirectement via une série de tests physicochimiques qui, ensemble, peuvent donner une bonne indication. La meilleure façon d'apprécier réellement la valeur boulangère reste l'essai de panification complet.

V.1.1.1. Les impuretés

Les résultats représentés sur le tableau III illustrés par la figure 1 en annexes sont non conformes aux normes qui préconisent un maximum de taux d'impuretés de 6 % pour les échantillons de blé dur et tendre. Le taux d'impuretés varie entre 7,47 % et 35,11 % pour le blé dur et entre 9 % et 9,38 % pour le blé tendre. Des différences significatives sont notées entre les échantillons de blé dur. Alors qu'aucune différence significative n'est enregistrée entre les blés tendres.

La non conformité des taux d'impuretés est due essentiellement aux taux élevés de poussières et le pourcentage élevé de corps étrangers (autres que le blé) qui est fréquent.

Un lot de blé n'est jamais pur. Il peut être contaminé par des matières inertes, des débris d'animaux et de végétaux, des graines étrangères, des grains de blé altérés. La présence de ces impuretés diminue la valeur marchande du lot (Godon et Willm, 1998).

Tableau III: Taux d'impuretés de blé dur et de blé tendre en pourcentage.

Échantillon	M± Et	Signification
BD1	35,11± 1,25	a
BD2	9,26± 0,44	c
BD3	12,28± 0,39	b
BD4	7,47± 0,38	d
BT1	9,38± 0,19	c
BT2	9,07± 0,05	c
BT3	9,10± 0,07	c
BT4	9± 0,01	c

V.1.1.1.a. Taux de mitadinage

Les résultats figurés sur le tableau IV indiquent que le taux de mitadinage pour les échantillons est faible, la valeur la plus élevée est de 3,61% pour le taux de mitadinage à 100%. Ces valeurs faibles se traduisent par un rendement meilleur en semoule et faible en sous produit (Abecassis, 1996). Le grain mitadiné est défectueux, car il a tendance à s'écraser en farine, à donner une semoule de qualité inférieure. Quelques travaux ont montré que la fumure azotée, tardive en particulier, avait une action positive nette en diminuant le mitadinage qui déprécie d'une façon significative la qualité du grain, quand le taux de mitadinage à 70 % et plus des blés durs dépasse des pourcentages variant entre 12 et 15 % (Plessas *et al*, 2007) qui n'est pas notre cas. Globalement ces valeurs sont faibles.

Tableau IV : Taux de mitadinage des blés durs

Échantillon	100 %	50 %	10 %
BD1	0,09	2,09	1,05
BD2	3.61	0,54	0,25
BD3	1,54	0,15	0,77
BD4	2,05	0,32	1,07

V.1.1.2. Poids à l'hectolitre

Les résultats obtenus varient entre 78,92 Kg / hl et 83,05 Kg / hl pour le blé tendre et entre 80,07 Kg / hl et 83,84 Kg / hl pour le blé dur (Tableau V, Figure2 en annexes). Des différences significatives sont notées principalement entre les échantillons de blé dur. Les résultats sont conformes aux normes JORA, (1992), qui stipulent un intervalle en poids à l'hectolitre entre 68 et 84 Kg /hl pour le blé dur et ≥ 79 Kg/ hl pour le blé tendre. Le poids à l'hectolitre est parfois utilisé pour prédire le comportement du blé au cours de la mouture, il est systématiquement utilisé dans les contrats commerciaux (Feillet, 2000).

Il n'y a pas de valeurs absolues de PS car celui-ci est d'abord déterminé par les conditions climatiques (Anonyme 2, 2007).

Le poids à l'hectolitre dépend de la variété, une valeur faible indique des grains trop allongés, des téguments épais et sales, présence de parasites, des graines cassées, ainsi que d'un petit pourcentage d'impuretés.

Tableau V : Poids à l'hectolitre de blé dur et de blé tendre en Kg / hl.

Échantillon	M± Et	Signification
BD1	82,34± 0,4	b
BD2	80,07± 0,19	d
BD3	81,56± 0,14	c
BD4	83,84± 0,14	a
BT1	83,05± 0,2	b
BT2	78,92± 0,25	d
BT3	79,73± 0,91	d
BT4	79,30± 0,55	d

V.1.1.3. Poids de mille grains

Les résultats rapportés sur le tableau VI illustrés par la figure 3 en annexes corroborent avec ceux trouvés par Dexter et Matsuo (1980), avec des valeurs comprises entre 38,94 g (BD2) et 43,26 g (BD1) pour le blé dur et entre 60,62 g (BT2) et 105,65 g (BT1) pour le blé tendre qui représente les valeurs les plus élevées. Des différences non significatives sont notées entre les échantillons de blé dur. La masse des grains varie selon les espèces, en effet, pour une même variété des céréales, des facteurs agronomiques et climatiques entraînent la synthèse et l'accumulation plus ou moins importante des protéines de réserve dans l'albumen (Godon et Willm, 1998).

Tableau VI : Poids de mille grains de blé dur et de blé tendre en grammes.

Echantillon	M ± Et	Signification
BD1	43,26 ± 2,81	e
BD2	38,94 ± 1,66	e
BD3	40,63 ± 0,063	e
BD4	42,48 ± 0,12	e
BT1	105,65 ± 8,44	a
BT2	60,62 ± 1,31	d
BT3	71,22 ± 1,61	c
BT4	87,40 ± 2,42	b

V.1.1.4. Humidité

Les grains de céréales sont particulièrement déshydratés. Leur teneur en eau est aux environs de 14%, du fait de leur fonction d'abord protectrice de l'embryon, puis ensuite nourricière de la jeune plante (Feillet, 2000). Les teneurs en eau des blés varient de 10,85 % (BD4) à 12,60 % (BD2) pour le blé dur et de 11,59 % (BT1) à 12,10 % (BT3) pour le blé tendre (Tableau VII, Figure 4 en annexes). Ces valeurs sont conformes aux normes qui recommandent une teneur en eau des blés ne dépassant pas 14 % (Feillet, 2000).

Tableau VII : Taux d'humidité de blé dur et de blé tendre en pourcentage.

Échantillon	M± Et	Signifacation
BD1	11,32± 0,3	c
BD2	12,60± 0,15	a
BD3	11,96± 0,14	bc
BD4	10,85± 0,04	d
BT1	12,10± 0,04	b
BT2	11,68± 0,13	c
BT3	11,59± 0,07	c
BT4	11,96± 0,05	bc

V.1.1.5. Le taux de matières minérales

Les teneurs en matières minérales obtenues pour les blés sont très proches (entre 1,12% et 1,14%); aucune différence significative n'est notée entre les différents échantillons (Tableau VIII, Figure 7 en annexes). Elles sont conformes aux valeurs préconisées par Godon (1991), estimant la valeur maximale à 02 %.

La teneur des grains en matières minérales sont relativement fixes quelques que soient les conditions externes dans lesquelles les céréales ont été cultivées (Godon, 1998).

La connaissance de la teneur en matières minérales (ou teneur en cendres) permet aux meuniers de régler leurs moulins et de déterminer les taux d'extraction des farines; elle est utilisée pour déterminer le degré de pureté réglementaire des farines (Feillet, 2000).

La présence des couches externes dans les produits de mouture est d'autant plus marquée que les blés conditionnés sont peu humides.

Tableau VIII : Taux de matières minérales de blé dur et de blé tendre en pourcentage.

Échantillon	M± Et	Signification
BD1	1,14± 0,001	a
BD2	1,13± 0,008	a
BD3	1,12± 0,002	a
BD4	1,13± 0,002	a
BT1	1,13± 0,004	a
BT2	1,13± 0,002	a
BT3	1,13± 0,001	a
BT4	1,13± 0,001	a

V.1.2. Farines

V.1.2.1. Taux d'affleurement

Le taux d'affleurement (tableau IX, Figure 5 en annexes) est compris pour la SSSF entre 2,17 % (SSSF2) et 4,3 % (SSSF4) par contre pour la farine, il est compris entre 0,05 % (F1) et 0,98 % (F4). Des différences très importantes sont notées entre les échantillons de farines de blé tendre et de farines de blé dur. Les valeurs obtenues pour la farine de blé tendre sont largement inférieures aux valeurs obtenues pour les farines issues des blés durs. Les résultats du tableau IX, montrent que le taux d'affleurement de la farine du blé dur et de la farine du blé tendre sont conformes à la norme qui exige un taux d'extraction totale (100 %) au tamis de mailles de 200 µm pour la farine et de 140 µm pour la SSSF avec une tolérance de 1 % et 4,5 % respectivement. Quaglia (1988), rapporte que la granulométrie a un rôle important dans la qualité des produits finis. En boulangerie, la quantité d'eau absorbée par la SSSF ainsi que la vitesse d'absorption augmente avec la finesse des particules (Colas, 1991). Cette augmentation est généralement associée à l'élévation du taux d'amidon endommagé qui est en relation avec l'indice de chute, ce qui montre une corrélation entre ce dernier et le taux d'affleurement.

Tableau IX: Taux d'affleurement de la SSSF et de la farine en pourcentage

Échantillon	M± Et	Signification
SSSF1	2,85 ± 0,06	b
SSSF2	2,17 ± 0,10	c
SSSF3	2,98 ± 0,15	b
SSSF4	4,3 ± 0,45	a
F1	0,05 ± 0,04	e
F2	0,62 ± 0,66	d
F3	0,09 ± 0,035	e
F4	0,98 ± 0,035	d

V.1.2.2. Acidité grasse

Les résultats représentés sur le tableau X illustrés par la figure 6 en annexes varient entre 0,017 % H₂SO₄ (SSSF2) et 0,04 % H₂SO₄ (SSSF4) pour la farine de blé dur et entre la valeur de 0,019 % H₂SO₄ et 0,023 % H₂SO₄ pour la farine de blé tendre. Les résultats sont conformes aux normes admises (<0,07 % H₂SO₄). Une valeur élevée de l'acidité grasse témoigne d'une mauvaise conservation des produits (Feillet, 2000), les teneurs élevées d'acidité grasse de la farine de blé dur peuvent être expliquées par la présence de parties périphériques et le germe du grain riches en lipases (Dexter et Matsuo, 1980; Guinet et Godon, 1994), ces dernières hydrolysent les triglycérides présents dans le produit fini, libérant ainsi des acides gras. Les produits à base de blé dur ont des activités lipasiques plus fortes que les produits à base de blé tendre, l'intensité de cette activité intervient d'une façon prépondérante lors de l'entreposage et les traitements technologiques (Drapron et Godon, 1987).

Tableau X: Taux d'acidité grasse de la SSSF et de la farine en % H₂SO₄.

Échantillon	M± Et	Signification
SSSF1	0,031± 0,001	b
SSSF2	0,017± 0,0016	d
SSSF3	0,0316± 0,0016	b
SSSF4	0,04± 0,001	a
F1	0,023± 0,001	c
F2	0,023± 0,002	c
F3	0,021± 0,0015	d
F4	0,019±0,0008	d

V.1.2.3. Taux de matières minérales

Le taux de cendres de la SSSF (tableau XI, Figure 7 en annexes) varie entre 1,11 et 1,14%, il est conforme aux normes admises (< 1,30%). Les farines des blés tendres présentent des taux plus faibles (entre 0,85 et 1,03 %) mais qui sont non conformes aux normes d'une farine panifiable, selon Rival (2000), qui stipule un intervalle entre 0,50 et 0,70%.

La non-conformité en taux de matières minérales est due à un mauvais nettoyage des blés, et à une extraction poussée (contamination par les parties périphériques).

La présence de couches externes dans les produits de mouture est d'autant plus marquée que les blés conditionnés sont peu humides, subissant ainsi une mouture excessive, conduisant à la contamination des farines par les enveloppes (Boyacioglu et d'Appolonia, 1994).

Tableau XI : Taux de matières minérales de la SSSF et de la farine en pourcentage.

Échantillon	M± Et	Signification
SSSF1	1,14± 0,001	a
SSSF2	1,12± 0,005	a
SSSF3	1,11± 0,003	a
SSSF4	1,14± 0,001	a
F1	0,85± 0,18	c
F2	1,03± 5,47	b
F3	0,98± 0,02	b
F4	0,98± 0,035	b

V.2. Analyses biochimiques

V.2.1. Teneur en protéines

1. Méthode Kjeldahl : Les résultats rapportés sur le tableau XII illustrés par la figure 8 en annexes oscillent entre 12,94 % (F1) et 14,18 % (BD1). Le BD et le BT présentent des valeurs plus élevées que leurs produits de mouture, qui présentent des valeurs de 14,18 %, 13,92 %, 12,97 %, 12,94 % respectivement pour le BD, BT, SSSF, F. Le plus souvent, pour acheter les blés, les opérateurs se basent sur le taux de protéines d'un échantillon, indépendamment de la variété que souvent ils ne connaissent pas.

La teneur en protéines est un critère déterminant pour la qualité boulangère d'une farine. Même en production biologique, les meuniers imposent au minimum 10%, voire 10.5% de protéines.

La composition en protéines totales du grain (gluten, globulines et albumines) varie selon la fertilisation azotée (Dupont, 2003). Plus le pourcentage de protéines est élevé, meilleure sera sa qualité culinaire. Ainsi, un blé ayant une teneur en protéines de 13 % est apte à la production de farine pour le pain de mie (Gresle, 2000). Selon Quaglia (1988), les farines de blé dur sont plus riches en protéines que celles de blé tendre, cela est confirmé par nos résultats.

Plus le taux d'extraction d'une semoule est important, plus la quantité en pigments jaunes extractibles est élevée (Khelifi, 2007). La quantité de pigments jaunes est une caractéristique variétale importante.

Tableau XII: Taux de protéines de différents échantillons (BD, BT, SSSF, F) en %

Échantillon	M± Et	Signification
BD1	14,18± 0,049	a
BT1	13,92± 0,049	b
SSSF1	12,97± 0,007	c
F1	12,95± 0,007	c
SSSF2	12,96± 0	c

V.2.2. Teneur en matière grasse

Les teneurs en matières grasses (Tableau XIII, Figure 9 en annexes) varient entre 2,9 % et 3,5 % pour la SSSF et elles sont de 1,9 % pour la farine. La SSSF présente des teneurs plus élevées que la farine. Les lipides ou matières grasses sont peu représentés dans le grain de céréales. Les lipides représentent moins de 3% dans la farine. Certains types de lipides possèdent un pouvoir moussant et contribuent à la fabrication d'un pain bien développé (Feillet, 2000). La richesse en matière grasse de la SSSF est due au taux d'extraction élevé.

Tableau XIII : Teneur en matière grasse de la farine et de la SSSF en pourcentage.

Échantillon	M	Signification
SSSF1	3,5	a
SSSF2	3,2	b
SSSF3	2,9	c
SSSF4	03	c
F1	1,9	d

V.3. Analyses technologiques

V.3.1. La teneur en gluten

La détermination de la quantité de gluten existant dans une farine doit permettre de reconnaître si cette farine est de bonne valeur boulangère (Feillet, 2000). Toutefois, il ne suffit pas qu'une farine contienne un fort pourcentage de gluten pour avoir une bonne valeur boulangère (Calvel, 1984).

Les teneurs en gluten humide de nos échantillons oscillent entre 27,86 % et 42,96 % pour la F2 et la SSSF3 respectivement, la teneur de gluten sec de nos échantillons oscillent entre 17,42 % et 11,45 % pour ces mêmes échantillons. Les valeurs en GH des échantillons de F4 et F3 ainsi que SSSF4 et SSSF1 présentent des valeurs voisines qui sont de 35,72 %, 34,45 %, 34,89 % et 36,10 % respectivement. Les teneurs des échantillons en GS présentent des variations presque analogues à celles de GH, ce qui montre une corrélation entre le GH et le GS. Les résultats de gluten sec résumés sur le tableau XIV et illustrés par la figure 11 en annexes ne coïncident pas avec ceux de Michel (2004), qui indiquent des teneurs variant entre 12 % et 14 % pour la farine de blé dur et 8 % à 10 % pour la farine de blé tendre sauf pour l'échantillon SSSF1 et SSSF4.

Le gluten index renseigne sur la force de gluten, il peut varier entre 0 pour un gluten mou et 100 pour un gluten très résistant et tenace. Les valeurs comprises entre 60 % et 90 % sont données par un gluten équilibré et de bonne valeur technologique (Gresle, 2000), ce n'est pas notre cas, sauf pour les échantillons de SSSF2, SSSF3 et SSSF4.

Le calcul du gluten index des échantillons a donné des valeurs comprises entre 43,8 % et 90,1 % pour la farine de blé dur et entre 99 % et 97,5 % pour la farine de blé tendre.

La CH varie entre 63,12 % (SSSF2) et 58,69 % (F3) pour la farine de blé tendre et dur. Les échantillons F2 et F3 présentent des valeurs voisines qui sont respectivement de 58,90 % et 58,69 %. Les autres échantillons de la SSSF et la F ne présentent pas de différences significatives en capacité d'hydratation (tableaux XV, Figure 13 en annexes).

L'augmentation de l'alimentation en azote minérale favorise la production des protéines de réserve (les gliadines et gluténines) (Dupont *et al.*, 2006).

Les relations entre propriétés rhéologiques et composition de la farine sont essentiellement basées sur les protéines de haut poids moléculaires (gluténines) (Uthayakumaran, 2002).

Les protéines de réserve de la farine de blé dur se trouvent dispersées et ont moins de chance de s'associer et de former un réseau viscoélastique capable de retenir le gaz de fermentation ce qui donne un pain moins développé (Balla, 2008), c'est la qualité de gluten qui a un rôle primordial en panification pas la quantité.

Les gluténines sont responsables de la bonne qualité de la panification en plus les gluténines à haut poids moléculaire sont meilleures (Shewry, 1992). Les gliadines sont quantitativement les plus importantes des protéines de réserve (Dupont et Altenbach, 2003 ; Anonyme 2, 2007).

Tableau XIV: Taux de GH, GS et GI de la SSSF et de la farine en pourcentage.

Échantillon	GH : M±Et	Significatio n	GS : M±Et	Significatio n	GI : M± Et	Significatio n
SSSF1	36,10± 2,57	b	13,80± 0,65	d	43,8 ± 0,98	d
SSSF2	41,15± 1,44	a	15,67± 0,52	c	90,1 ± 1,2	b
SSSF3	42,96± 4,53	a	17,42± 2,88	a	85,5 ± 0,65	c
SSSF4	34,89± 0,98	b	13,04± 0,90	e	84,7 ± 0,02	c
F1	40,56± 1,27	a	16,42± 0,95	b	99 ± 1,03	a
F2	27,86± 2,38	c	11,45± 1,35	f	98,2 ± 0,77	a
F3	34,45± 3,65	b	13,93± 2,80	d	97,5 ± 0,32	a
F4	35,72± 3,84	b	13,03± 0,05	e	98,6 ± 0,09	a

Tableau XV : CH de la SSSF et de la farine en pourcentage.

Échantillon	M± Et	Signification
SSSF1	62,4± 0,75	ab
SSSF2	63,12± 1,28	ab
SSSF3	59,64± 2,53	c
SSSF4	62,64± 1,66	ab
F1	60,58± 1,37	b
F2	58,90± 4,63	c
F3	58,69± 2,68	c
F4	63,28± 3,34	a

V.3.2. Indice de sédimentation

Les résultats consignés sur le tableau XVI illustrés par la figure 14 en annexes montrent que l'indice de Zeleny varie de 29,5 mL et 33 mL. Une différence non significative est notée entre

la farine 2 et la farine 3. Les valeurs sont conformes aux valeurs données par Berland et Roussel (2005), les blés ont de très bonne force boulangère.

La valeur de l'indice de sédimentation serait reliée à la force boulangère des farines, cette valeur est influencée par la teneur en protéines (Feillet, 2000).

L'indice de sédimentation de Zeleny renseigne sur la capacité des protéines à former un agrégat en milieu acide (liée à la teneur en gluténines) (Anonyme 2, 2007). La formation d'un gel protéique est due à l'agrégation des unités élémentaires de gluténines après extraction des protéines solubles, le volume de ce gel renseigne sur la force de gluten.

Tableau XVI: Indice de Zeleny en ml

Échantillon	M± Et	Signification	(Berland et Roussel, 2005)
F1	33± 0	a	- Moins de 18 ml : Force insuffisante
F2	29,5± 1.5	b	- 18 à 28 ml : Bonne force
F3	29,5± 0.5	b	- 28 à 38 ml : Très bonne force boulangère Plus de 38 ml : Blé améliorant

V.3.3. Indice de chute de Hagberg

Les résultats représentés sur le tableau XVII illustrés par la figure 15 en annexes oscillent entre 317 S (SSSF1) et 413,3 S (F3) pour la farine de blé dur et tendre, ils corroborent avec les résultats de Boyacioglu et D'Appolonia (1994), qui signalent que l'activité enzymatique est fonction de la nature de l'amidon, sachant que la SSSF présente des valeurs plus élevées que la farine.

La mesure de l'activité amylasique revêt un intérêt capital, en particulier celle des α amylases qui est corrélée positivement avec la qualité du pain (Pomeranz, 1983).

La teneur en α amylase est inversement proportionnelle au temps de chute de Hagberg. Cette méthode permet de déterminer indirectement la teneur en Alpha amylase d'une farine. Considérant que plus la teneur en Alpha amylase de la farine est élevée, plus l'amidon est hydrolysé, plus la consistance de l'empoi formé lors du chauffage de la suspension est faible, et plus le viscosimètre descend rapidement dans le produit. Les faibles valeurs d'indice de chute dans les produits de mouture sont donc dues en grande partie à l'élimination des tissus périphériques riches en Alpha amylase (D'Appolonia, 1994).

Tableau XVII: Indice de chute de la SSSF et de la farine en secondes

Échantillon	M± Et	Signification
SSSF1	413,33± 10,59	a
SSSF2	412± 0	a
SSSF3	351± 0	b
SSSF4	404,66± 7,5	a
F1	336,66± 2,88	c
F2	325± 1,73	d
F3	317± 0	d
F4	336,33± 5,5	c
BBD	418± 1,73	a

V.4. Analyses rhéologiques

V.4.1. Force boulangère (W)

Les résultats montrent des W (tableau XVIII) variant entre $69 \cdot 10^{-4}$ J (SSSF1) et $111 \cdot 10^{-4}$ J (SSSF2) pour la farine de blé dur et entre $173 \cdot 10^{-4}$ J et $215 \cdot 10^{-4}$ J pour la farine de blé tendre, ces résultats restent inférieures à ceux de Bar (1995), pour qui les bons w oscillent entre $220 \cdot 10^{-4}$ J et $260 \cdot 10^{-4}$ J.

W indique la force boulangère qui dépend de la variété et la teneur en protéines, la teneur en protéines est devenue un critère déterminant, les meilleures valeurs de W sont enregistrées pour F1 et SSSF2. Selon Calvel (1986), le W chiffre la valeur globale des qualités plastiques. Il est principalement lié à la teneur en protéines (Renard et Thery, 1998). Martin (1994), rapporte un accroissement linéaire des valeurs de W avec l'augmentation du taux de protéines.

V.4.2. Tenacité (P)

Les valeurs obtenues de P (tableau XVIII) pour la farine de blé dur sont comprises entre 51 et 75 mm et varient entre 79 et 83 mm pour la farine de blé tendre, ces résultats ne corroborent pas avec ceux trouvés par Boyacioglu et D'Appolonia (1994), qui stipulent une valeur de 118 mm.

La valeur de P est en relation avec la capacité d'hydratation qui augmente avec l'augmentation de taux d'amidon endommagé et selon Ammar *et al.* (2000), l'augmentation du travail de déformation, résulte de l'élévation de la tenacité.

Lorsque le pourcentage de l'amidon endommagé augmente, la résistance augmente et le P devient plus fort (Roussel, 1991).

Les travaux de Ammar *et al.* (2000), effectués sur les produits de blé dur, montrent que la faible caractéristique du gluten produit des pâtes très tenaces et moins extensibles. Ce n'est pas le cas pour nos échantillons.

Tableau XVIII: Résultats des analyses rhéologiques.

Échantillon	W (10^{-4} J)	P (mm)	L (mm)	G (mm)	P / L
SSSF1	69	51	61	17.4	0.82
SSSF2	111	75	40	14.2	1.85
SSSF3	84	52	63	17.6	0.84
SSSF4	97	72	39	14	1.84
F1	215	83	72	18.9	1.16
F2	173	79	58	16.9	1.37
F3	177	81	56	16.6	1.46
F4	179	80	59	17.1	1.35
SSSF1(50%)+ F1(50%)	198	78	61	17.4	1.27

V.4.3. Gonflement (G)

Nos résultats varient entre 14 (SSSF4) et 18,9 (F1) mm pour la SSSF et la farine de blé tendre. Les bons G se situent entre 19 et 23 mm (Roussel, 1980). Ce n'est pas le cas pour nos échantillons. Les faibles valeurs de G proviendraient de leur pauvreté en gliadines (Feillet, 2000). Dacosta (1986), explique l'extensibilité par le glissement des molécules les unes sur les autres, mouvement favorisé par les gliadines peu agrégées. Selon Ammar *et al.* (2003), le gonflement G est positivement corrélé au volume du pain.

L'indice de gonflement qui représente l'extensibilité des pâtes est une expression de la capacité de l'extension des protéines et permet d'apprécier l'aptitude du réseau du gluten à retenir le gaz carbonique (Kittissou, 1995).

V.4.4. Rapport de configuration (P/L)

Nos résultats oscillent entre 1,16 (F1) et 1,46 (F3) pour une farine de blé tendre et ne corroborent pas avec ceux de Mauzé *et al.* (1972), qui sont entre 0,45 et 0,55 pour une farine panifiable. Liu *et al.* (1996), ont rapporté que la farine de blé dur présentant des valeurs du rapport de configuration comprises entre 0,8 et 0,2, donnent généralement de bons pains et de

bonnes pâtes alimentaires, c'est le cas de nos échantillons pour qui les valeurs varient entre 0,82 (SSSF1) et 1,85 (SSSF2).

Les gluténines à haut poids moléculaire et les gliadines sont responsables de la variabilité des paramètres alvéographiques (Renard et Thery, 1988).

V.5. Essai de panification

V.5.1. Appréciation des Pâtes

La pâte est appréciée en la caractérisant par le choix d'un adjectif pour chaque critère observé (Tableau II en annexes).

V.5.1.1. Au pétrissage

Pomeranz, (1983), a constaté que la farine de blé dur renferme des teneurs élevées en amidon endommagé, ce qui contribue à l'augmentation du taux d'absorption des farines ; ce que montre nos résultats, nos pâtes ont des taux d'hydratation supérieurs par rapport à ceux apportés par la méthode CNERNA.

Nos pâtes de farine de blé dur sont élastiques, peu tenaces, peu extensibles et collantes. Par contre les farines de blé tendre sont tenaces, collantes, élastiques et peu extensibles.

V.5.1.2. Au pointage et au façonnage

Dans cette étape de travail, le collant ne disparaît pas. L'aspect des surfaces des farines au façonnage est lisse et ferme.

V.5.1.3. A l'apprêt

Aucun déchirement de la surface des pâtons, la pâte de la farine de blé tendre n'est pas poreuse comparée à celle de la farine de blé dur.

V.5.2. Appréciation des pains

Après une heure de refroidissement, on apprécie les pains (la croûte et la mie) illustrés par les figures (8, 9,10). Les farines pauvres en enzymes produisent des pains présentant une croûte pâle et une mie sèche et friable. Les farines riches en enzymes produisent des pains présentant une couleur de croûte trop foncée et une mie humide et collante (Ugrinovitsetm et Schmerikon, 2004).

Nos pains de farine de blé dur présentent une croûte molle, fine d'une couleur rouge. Une mie de couleur jaune ambré qui est due à la forte teneur en pigments caroténoïdes et à alvéolage irrégulier de paroi épaisse. Aussi, une flaveur caractéristique des pains de la farine de blé dur. Par contre la mie des pains de blé tendre est de couleur blanche, d'un alvéolage uniforme, fin

et serré, vu que les alvéoles ne sont pas développés à cause de l'échappement de gaz. Ces observations s'accordent avec celles données par Dexter et Marchylo (2000).



1-SSSF1
2-SSSF2
3-F2
4-F1
5-F3

Figure 8: Pains de la SSSF et de la farine (Deuxième cuisson)



1-F1 avec améliorant
2-F2
3-SSSF4
4-F4
5- SSSF2 avec améliorant

Figure 9: Pains de la SSSF et de la farine (Première cuisson)



Figure 10: Pains de la SSSF, de la farine et du broyat de blé dur (Deuxième cuisson)

V.6. Analyse sensorielle

Afin de compléter l'appréciation des pains, nous les avons soumis à une analyse sensorielle, les résultats obtenus en pourcentage d'appréciation par le panel de dégustation sont représentés dans les tableaux XIX, XX respectivement pour l'appréciation de l'aspect extérieur (croûte et mie) et l'appréciation de la saveur (goût et odeur) des pains (Figure 16, 17, 18, 19 en annexes).

Tableau XIX : Couleur de la croûte et la mie en pourcentage.

Échantillon (%)	Croûte supérieure			Mie		
	normale	rouge	jaune	normale	blanche	jaune
F1	40	-	60	-	100	-
F2	30	20	50	90	10	-
SSSF1	40	50	10	-	-	100
SSSF2	50	50	-	-	-	100
F3	40	10	50		100	-
SSSF3	50	50	-	90	10	-
F4	50	10	40	-	100	
SSSF4	60	30	10	90	-	10
F5	60	10	30	100	-	
SSSF5	60	40	00	-	-	100

Les résultats enregistrés dans le tableau XIX montrent que la couleur de la croûte des pains de la SSSF est appréciée normale avec un pourcentage entre 60% et 40 % et rouge avec un pourcentage de 44 %. La croûte de la farine de blé tendre est appréciée jaune avec un pourcentage entre 60% et 30%, normale avec un pourcentage de 44 % et rouge avec des taux entre 0 et 20 %.

Lindahl et Eliasson (1992), rapportent que la couleur rouge de la croûte peut être due à la teneur élevée de sucres réducteurs qui après cuisson subissent la réaction de Maillard.

La couleur de la mie est appréciée presque de la même manière pour la SSSF et la farine par l'adjectif normal avec un pourcentage qui est de 36 % et 38 % respectivement. Elles sont appréciées avec un même pourcentage 62 % par l'adjectif jaune pour la farine et blanc pour la SSSF.

Tableau XX:Odeur et goût du pain en pourcentage

Échantillon	Odeur			Goût		
	Normale	Bonne	Peu agréable	Normal	Bon	Peu agréable
F1	20	80	-	20	80	-
F2	60	30	10	20	80	-
SSSF1	30	10	60	20	30	50
SSSF2	90	10	-	30	60	10
F3	60	30	10	70	30	-
SSSF3	60	-	40	10	40	50
F4	20	80	-	20	80	-
SSSF4	30	10	60	40	40	20
F5	10	90	-	-	100	-
SSSF5	40	10	50	30	60	10

L'odeur du pain de la SSSF est appréciée normale à 50 %, pour la farine est appréciée bonne à 62 % et peu agréable avec un pourcentage de 04 %. L'odeur du pain de la SSSF est peu agréable avec un pourcentage de 42 %.

Le goût du pain est apprécié bon avec un pourcentage de 74 % et 46 % pour la farine et SSSF respectivement, aussi avec un pourcentage de 26 % et 22 % par l'adjectif normal. Pour l'adjectif bon, il est de 74 % pour la farine et de 46 % pour la SSSF.

Le goût de la SSSF est en majeure partie peu agréable dont les pourcentages d'appréciation varient entre 50 % et 10 %.

En conclusion l'analyse sensorielle fait ressortir les pains de la farine de blé tendre comme étant les plus appréciés, qui sont destinés à la panification. Vu nos habitudes alimentaires et culinaires, font que le pain de blé tendre l'emporte sur les autres, mais ce qui ne laisse pas dire que les pains de farine de blé dur sont rejetés, bien au contraire sont assez appréciés. Et l'échantillon qui semble le plus accepté avec 90% des dégustateurs le qualifiant d'une odeur normale et à 60 % d'un bon goût est l'échantillon SSSF2. En parallèle c'est l'échantillon qui a présenté les meilleures caractéristiques rhéologiques.

Conclusion

Cette étude nous a permis la caractérisation physicochimique, biochimique et rhéologique de la farine de blé dur. Les résultats obtenus nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

Sur le plan nutritionnel, de part sa consommation la farine de blé dur est une source importante de protéines 12,97 %, de sels minéraux 1,14 % et de matières grasses 3 %.

L'aptitude de la farine de blé dur à la panification est limitée en raison de la valeur de P (52 mm) et W ($84 \cdot 10^{-4}$ J) faibles, malgré sa richesse en gluten, cela est dû à la qualité de protéines de réserve.

L'essai de panification de la farine de blé dur demande des teneurs en eau élevées au cours de l'étape de pétrissage vu le taux d'amidon endommagé, le caractère collant ne disparaît pas au cours de toutes les étapes de panification.

L'analyse sensorielle, révèle que les pains de farine de blé dur sont moins préférés que ceux de la farine de blé tendre, cependant le jury de dégustation fait ressortir, que l'échantillon de la SSSF2 présente des caractéristiques proches à celle du pain de farine de blé tendre, qui présente un W élevé ($111 \cdot 10^{-4}$ J) et une teneur en protéines de 12.96 %.

Les pains de la farine de blé dur présentent des caractéristiques acceptables ; une croûte de couleur rouge, une mie de couleur crème et une odeur caractéristique. Ces pains ont des volumes peu développés par rapport à ceux de la farine de blé tendre.

Le gluten ou protéines de réserve est responsable des propriétés viscoélastiques de la pâte, un coupage de 50 % farine et 50 % de SSSF aboutit à un meilleur taux de gluten (GH= 65 %) par rapport à sa teneur dans la farine (GH = 40,56) et la SSSF (GH= 34,89). Le W du mélange 50 % farine et 50 % SSSF ($198 \cdot 10^{-4}$ joule) est supérieur au W de la farine ($179 \cdot 10^{-4}$ J) et la SSSF ($97 \cdot 10^{-4}$ J).

Perspectives

L'utilisation de la farine de blé dur en panification française devra faire l'objet de travaux plus approfondis tels:

- L'explication de l'origine des variations de la composition biochimique des fractions de mouture, sachant qu'elles sont originaires d'un même blé.
- L'étude de l'origine du caractère collant du pain au cours des étapes de panification.
- Des incorporations judicieuses permettant d'obtenir une farine recomposée par rapport aux paramètres biochimiques et rhéologiques proches des farines de blé tendre.
- La recherche d'amélioration variétale sur le végétal (teneur en protéine), celles ci influent prioritairement sur les qualités technologiques de la farine et donc sur la panification. Cette recherche sera plus approfondie avec l'utilisation de l'électrophorèse pour l'extrait pur du gluten pour distinguer les poids moléculaires. Il semblerait intéressant d'étudier en détail le rapport gliadines / gluténines. En effet, il a été démontré que la teneur en protéines d'un blé et la mesure de W restent des critères insuffisants pour rendre compte de l'aptitude à la panification d'un blé.
- Le contrôle du procédé de mouture du blé dur afin d'aviser une farine de pureté déterminée.

Références

Références bibliographiques:

A

- Abecassis J.** 1987. La mouture d'essai de blé dur: Recherches et applications industrielles. Mémoire d'ingénieur. Ed. Ecole nationale supérieure de meunerie et des industries céréalières. 146p.
- Abecassis J.** 1991. La mouture de blé dur. In les industries de première transformation des céréales. Ed. Tec Doc – Apria: 362-393.
- Abecassis J.** 1993. Nouvelles possibilités d'apprécier la valeur meunière et la valeur semoulière des blés. Industrie des céréales 81 : 25-35.
- Abecassis J.** 1996. Comprendre la qualité : La valeur semoulière. Comment s'explique-t-elle ? I.N.R.A. Montpellier France : 37-57.
- Abecassis J. et Feillet P.** 1985. Pureté des semoules de blé dur, taux de cendres et réglementation. Industrie des céréales 36 : 13-18.
- AFNOR.** 1986. Céréales et produits céréaliers. Ed. Tec Doc. 259p.
- Ajisse J.** 2000. Guide de bonne pratique d'hygiène dans l'industrie de semoulerie de blé dur. Ed. Les journaux officiels. 166p.
- Alais C. et Linden G.** 1997. Abrégé en biochimie Alimentaire. Ed. Masson. 130-141p.
- Altenbach S.B.** 2006. Differential accumulation of sulfur-rich and sulfur-poor wheat, our proteins is affected. Food Chemistry 36: 145-156.
- Ammar K., Kronstad W.E. et Moris C.F.** 2000. Breadmaking quality of selected durum wheat genotype and its relation schip with high molecular weigh glutenin subunits allelic variation and gluten protein polymeric composition. Cereal Chemistry 77 (2): 230-236.
- Anonyme 1.** 2001. Guide pratique des céréales : Blé, riz, maïs. Ed. CACQE. 55p.
- Anonyme 2.** 2007. Effects of variety and fertiliser nitrogen on alcohol yield, grain yield, starch and protein content, and protein composition of winter wheat. Journal of Cereal Science 48: 46.57.

B

- Bard M.** 1997. Le cahier de charges des farines. Industrie des céréales 103 : 7-15.
- Bean S. R. et Lookhart G. L.** 2000. Ultrafast capillary electrophoretic analysis of cereal storage proteins and its applications to protein characterization and cultivar differentiation. Journal of Agricultural and Food Chemistry 48(2): 344–353.
- Belitz D.H.** 2004. Proteins of *Triticum Eastivum*. Food chemistry 46: 125-150.

Bernardin J.E. et Kasarda D.D. 1989. The microstructure of wheat protein fibrils. *Cereal Chemistry* 50: 736-745.

Blanco A., Giovanni C., Laddomada B., Sciancalepore A., Simeone R., Devos K.M. et Gale M.D. 1996. Quantitative trait loci influencing grain protein content in tetraploid wheats. *Plant breeding* 116: 310–316.

Boyacioglu M.H. et d'Appolonia B.L. 1994. Durum wheat for bread making: Comparison of chemical, rheological and baking properties between breadwheat flours and durum wheat flours. *Cereal Chemistry* 71(1):21-27.

Boudreaux G. et Multon.J. 1989. L'emballage des denrées alimentaires de grande consommation. Ed. APRIA. 327p.

Bushuk W. 1986. Wheat: Chemistry and uses. *Cereal Foods World* 31 (3): 258-262.

C

Calvel R. 1986. La boulangerie moderne. Ed. APRIA. 527p.

Campbell C.A. et Davidson H.R. 1989. Effect of temperature, nitrogen fertilization and moisture stress on yield, components, protein content and moisture use efficiency of Manitou springwheat. *Cereal Chemistry* 59:963-974.

Cheftel J.C. et Cheftel H. 1986. Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Ed. Tec Doc –Lavoisier 381p.

Colas A. 1991. Définition de la qualité des farines pour les différentes utilisations. In: Les industries de première transformation des céréales. Ed. Tec Doc- Lavoisier : 578-623.

D

Dacosta Y. 1986. Le gluten de blé et ses applications. Ed. Tec Doc- Apria: 25-42.

Daniel C. et Triboi E. 2000. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin content and composition. *Journal of Cereal Science* 32: 45–56.

Dexter J.E. et Matsuo R.R. 1980. Relationship between durum wheat protein properties pasta dough rheology and spaghetti cooking quality. *Journal of Food Chemistry* 28:899-902.

Dexter J. E., Preston K.R., Martin D.G. et Gander E.J. 1994. The effect of protein content and starch damage on the physical dough properties and breadmaking quality of canadian durum wheat . *Journal of Cereal Science* 20: 139-151.

Drapron R. et Genet C. 1979. Les lipides des céréales. *Industrie Alimentaire Agricole* 96 : 1257-1273.

Drapron R. et Godon .1987. Role of enzymes in Baking In : Cereal Technology: 281-324

DuPont F.M. et Altenbach S.B. 2003. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. Journal of Cereal Science 38: 133–146.

F

Feillet P. 2000. Le grain du blé : composition et utilisation. Ed. INRA. 308p.

Feliachi K. 2000. Programme de développement de la céréaliculture en Algérie. In actes du premier symposium international sur la filière blé. Ed. Office Algérien Interprofessionnelle des Céréales : 21-27.

Field J.M. 1983. Solubisation and characterization of wheat gluten proteins: Correlations between the amount of aggregated proteins and baking quality. Food Agriculture 34: 370,377.

G

Godon B.1991. Biotransformation des produits céréaliers. Ed. Lavoisier. 598p.

Godon. 1992. Le gluten modifications technologiques, nouveaux produits, nouveaux débouchés .INRAA. 65 p.

Godon B. et Willm C. 1998. Les industries de première transformation des céréales. Ed. Lavoisier. 656p.

Gray J.A. et Bemiller J.N. 2003. Bread staling: molecular basis and control. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 2: 1–21.

Gresle E.2000. Les caractéristiques des blés de la récolte. Industrie des céréales 58 : 20-27.

Gugerli R., Breguet V., Stockar U. et Marison IW. 2004. Immobilization as a tool to control fermentation in yeast-leavened refrigerated dough. Food Hydrocoll 18(5):703–15.

Guinet R. et Godon B. 1994. Les farines et les mixes. In : La panification française. Ed. Tec Doc – Lavoisier Paris: 100-130.

Gupta R.B. 1995. Biochemical basis of flour properties in bread wheats. Food Chemistry 21:103-116.

H

Hargreaves. 1995. Gluten viscoelasticity is not lipid mediated . A rheological and molecular flexibility study on lipid and non – prolamin protein de pleted glutens. Food Chemistry 43: 1170-1176.

Houliaropoulos E 1981. Produit de mouture de blé dur : coloration et caractéristique culinaire. Industrie des céréales 12:3-13.

Huang X.Q., Cloutier S., Lycar L., Radovanovic N., Humphreys D.G., Noll J.S., Somers D.J. et Brown P.D. 2006. Molecular detection of QTLs for agronomic and quality traits in a doubled haploid population derived from two Canadian wheats (*Triticum aestivum*). Theoretical and Applied Genetics 113: 753–766.

J

J.O.R.A. n° 002 DU 08-01-1992. Décret exécutive N° 91-572 du 31 décembre 1991 relatif à la farine de panification et au pain. 43p.

Jacotot B.J. et le Parco C.L. 1992. Nutrition et alimentation. 2^{ème} édition. Masson. 311p.

Jensens S.A. et Martens H. 1983. The Botanical constituents of wheat and wheat milling fractions. Quantification by aminoacids. Cereal Chemistry 6:172-177.

K

Kasarda. 1989. Wheat proteins. Advances in cereal science technology. Cereal Chemistry 8:17-20.

Khelifi D. 2007. Caractéristiques biochimiques et technologiques des blés cultivés en zone semi-aride. Food Chemistry 12:143-160.

Kittissou P. 1995. Un nouveau paramètre alvéographique (Indice d'élasticité). Industrie des céréales : 08-32.

L

Larreta V-Garde.1997. Enzymes en agro alimentaire, paris. Tec Doc. Lavoisier. 68p

Leroy F. et De Vuyst L. 2004. Lactic acid bacteria as functional starter for the food fermentation industry. Trends Food Science Technology 15(2):67–78.

Lindahl L. et Eliasson A.C.1992. A comparison of some rheological properties of durum and wheat flour doughs. Cereal Chemistry 69: 30-34.

Lintas C. 1988. Carbohydrates of durum wheat. In durum wheat chemistry and technology: 121-139.

Liu C.Y., Shepherd K.W. et Rathjen A.T. 1996. Improvement of durum wheat pasta making and breadmaking qualities. Cereal Chemistry 73 (2): 155-165.

M

Marchylo. 1980. Alpha amylase isoenzymes in canadian wheat cultivars during Kernel growth and maturation . Food Chemistry 60: 433-443.

- Mauze C., Richard M. et Scotti G.** 1972. Guide pratique : contrôle de la qualité des blés. Ed. ITCF.160p.
- Meignen B., Onno B., Gélinas P., Infantes M., Guilois S. et Cahagnier B.** 2001. Optimization of sourdough fermentation with *Lactobacillus brevis* and baker's yeast. *Food Microbiology* 18(3):239–245.
- Messens W. et De Vuyst L.** 2002. Inhibitory substances produced by *Lactobacilli* isolated from sourdough. In *Journal Food Microbiology* 72 (1–2):31–43.
- Mifflin.** 1983. Cereal storage proteins and their effects on rheological properties. In : *Journal Seed Proteins*: 223-253
- Mignolet G.** 1985. *Technologie des aliments*. Ed. Plantyn. 189p.
- Mohtadji C. et lambalais.** 1989. *Les aliments*. Ed. Maloine. 203p.
- Morisson W.R.** 1978. Cereal lipids. In *cereal science and technology vol II*: 221-348.
- Multon J.L.** 1982. Conservation et stockage des grains et des graines et produits dérivés céréales, oléagineux, protéagineux aliments pour animaux. Ed. APRIA. 589p.

O

- Olewnik M.C., Dempster R.E. et Smail V.W.** 2004. Development of a controlled dough mixing system. *Conference Proceedings of Cereal and Bread Congress* 69. (45): 619–623.

P

- Payne P.I., Nightingale M.A., Krattiger A.F. et Holt L.M.** 1987. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 40: 51–65.
- Pixton S.W., Hill S.T.** 1967. Long term storage of wheat. In. *Journal Science Food Agriculture* 18: 94-98.
- Plessas a S., Bekatorou a A., Gallanagh b J., Nigam b P., Koutinas a A.A. et Psarianos a E.** 2007. Evolution of aroma volatiles during storage of sourdough breads made by mixed cultures of *Kluyveromyces marxianus* and *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus* or *Lactobacillus helveticus*. *Food chemistry* 26:113-126.
- Pomeranz Y.** 1983. Molecular approach to breadmaking an update and new perspectives. *The bakers digest*: 72-86.
- Popineau Y.** 1994. Study by infrared spectroscopy of the conformation of gluten proteins differing in their gliadin and glutenin compositions. *Food chemistry* 20 :15-22.

Q

Quaglia G.B. 1988. Other durum wheat products. In: Durum wheat. Chemistry and Technology: 263-282.

R

Reichelt J.R. 1983. Baking. In: Godfrey and Reichelt . Industrial Enzymatology: 211-220.

Renard C. et Thery S. 1998. Détermination des méthodes physicochimiques pour prédire la qualité biscuitière et boulangère des blés français. Industries des céréales 109: 31-36.

Rival A.2000. Guide les aliments sous labels. Origine, sécurité, qualité. RIA.268p.

Rocherette M. 1974. Généralités sur les produits alimentaires. 524p.

Romain-Guitirrez A., Abecassis J. et Cuq B. 1999. Facteurs physicochimiques d'hydratation des farines. Industrie des céréales 114: 11-14.

Roussel PH. 1980. Caractéristique boulangères des blés de la nouvelle campagne. Industrie des céréales 6 : 33-43.

Roussel PH.1991. L'analyse alvéographique des blés. Industrie des céréales : 35-36.

S

Shewry P.R., Tatham A.S. et Lazzeri P.1997. The structural and evolutionary relationship of the prolamins storage, proteins of barley, rye and wheat. Journal Science Food Agriculture 73 (397).

Shewry P.R., Tatham A.S., Forde J., Kreis M. et Mifflin B.J. 1986. The classification and nomenclature of wheat gluten proteins. Journal Cereal Science 4:97-106.

Silano V., Pocchiari F. et Kasarda D.D. 1980. Physical characterisation of alpha amylase inhibition from wheat. Biochemical.Biophysical 317:139-148.

T

Tremoliere J. 1984. Manuel d'alimentation humaine. Les aliments. 9 ème édition. 356p.

U

Ugrinovistm M. et Schmerikon. 2004. Premélanges pour four, mélanges de farine, farine instantanée.245p.

Uthayakumaran S.,Newberry M., Phan Thien N. et Tanner R. 2002. Small and large strain rheology of wheat gluten. Rheol. Acta 41: 162-172.

Y

Yan Y. M., Yu J. Z., Jiang Y., Hu Y. K., Cai M. H. et Hsam S. L. K. 2003. Capillary electrophoresis separation of high molecular weight glutenin subunits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and related species with phosphate-based buffers. *Electrophoresis*, 24(9): 1429–1436.

Références électroniques

Anonyme 1 : www.afssa.fr. Dernière consultation 12-03-2009.

Anonyme 2: www.boulangerie.net. Dernière consultation 25-06-2009

Anonyme 3: www.salines.com. Dernière consultation 14-04-2009

Anonyme 4: www.unifa.be. Dernière consultation 25-05-2009

Anonyme 5: [wikipedia.org/wiki/Ficelle_\(pain\)](http://wikipedia.org/wiki/Ficelle_(pain)). Dernière consultation 19-07-2009

Annexes

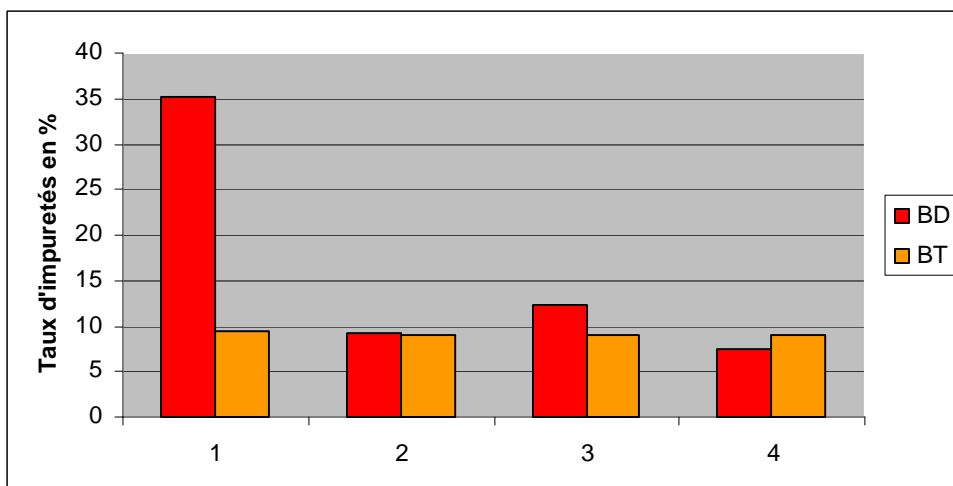


Figure 1: Taux d'impuretés des blés en pourcentage.

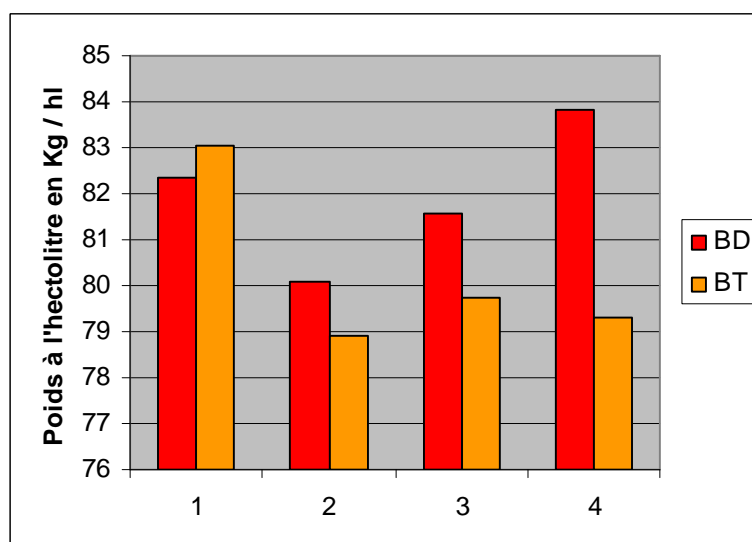


Figure 2 : Poids à l'hectolitre des blés en Kg / hl.

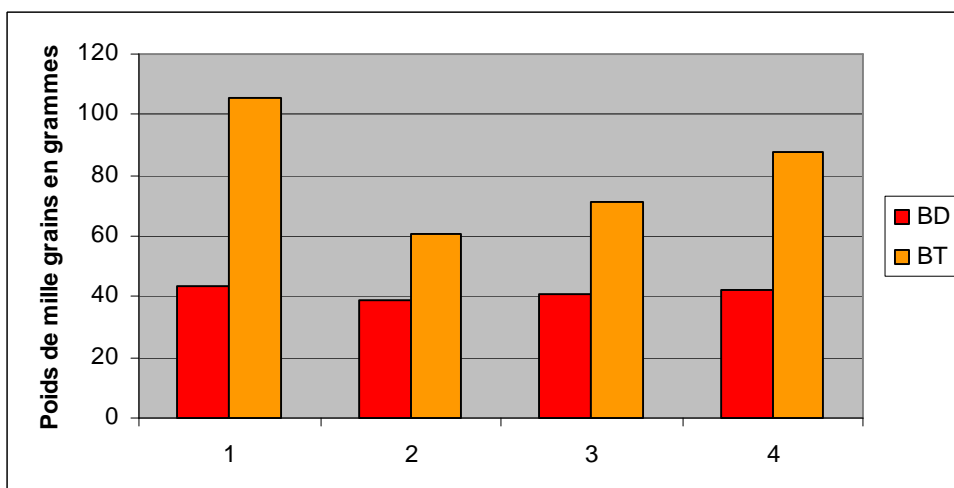


Figure 3: Masse de mille grains des blés en grammes.

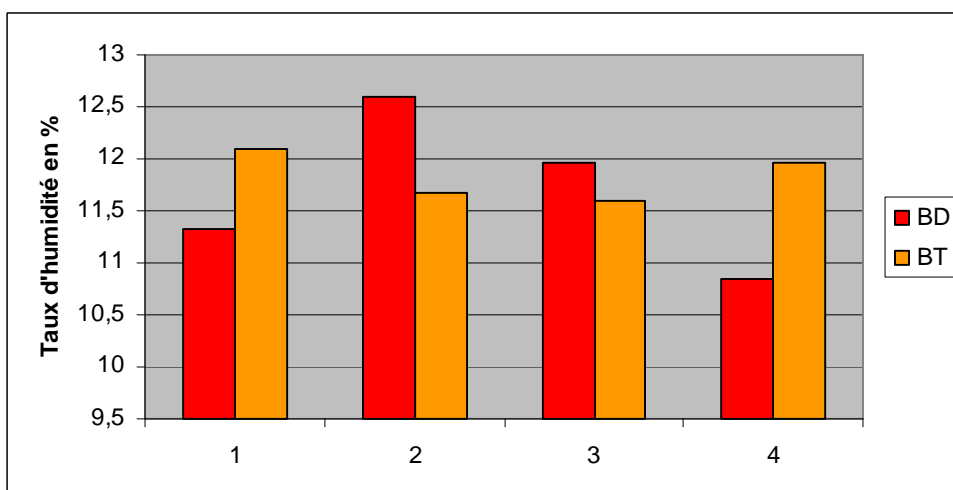


Figure 4 : Taux d'humidité de blé dur et tendre en pourcentage.

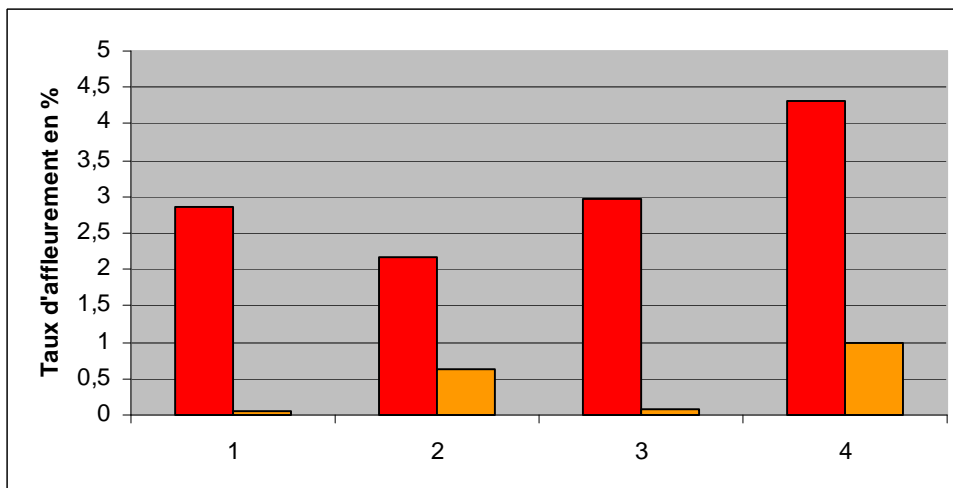


Figure 5 : Taux d'affleurement des farines et des SSSF en pourcentage.

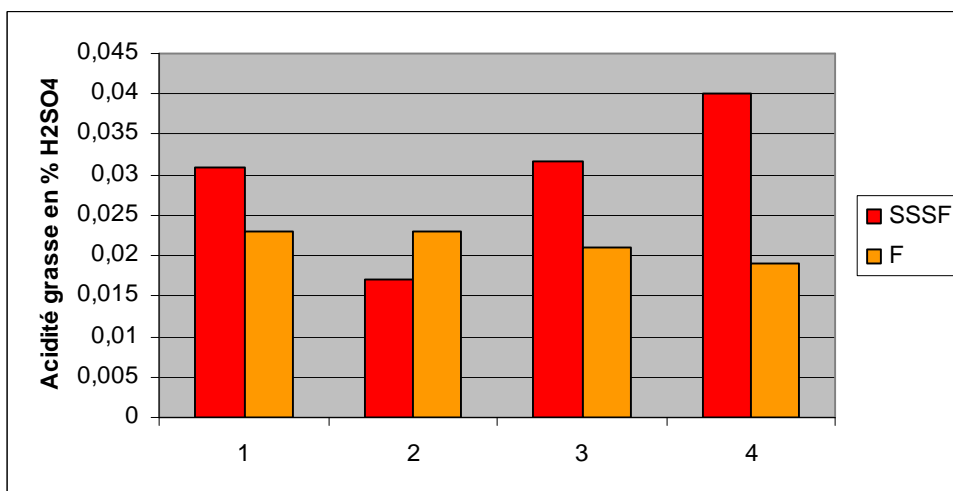


Figure 6 : Taux en acidité grasse des farines et des SSSF en % H₂SO₄.

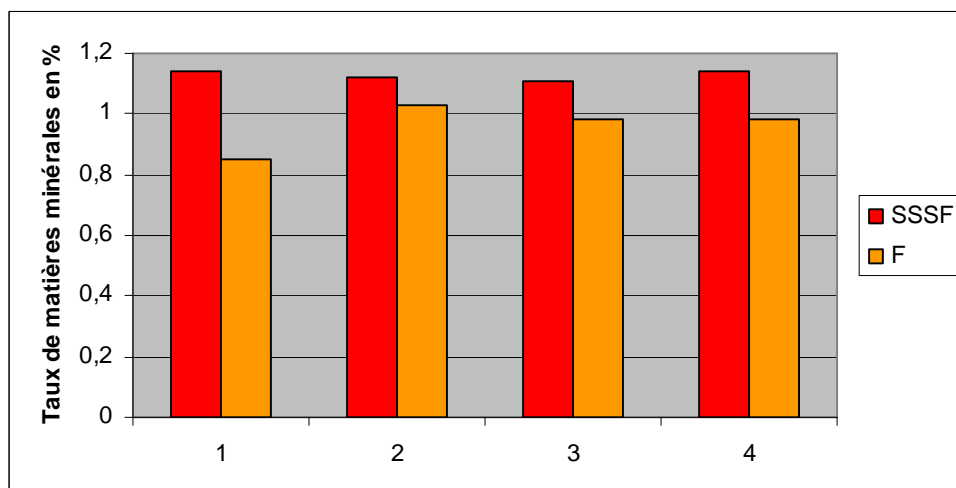


Figure 7 : Taux de matières minérales des farines et des SSSF en pourcentage

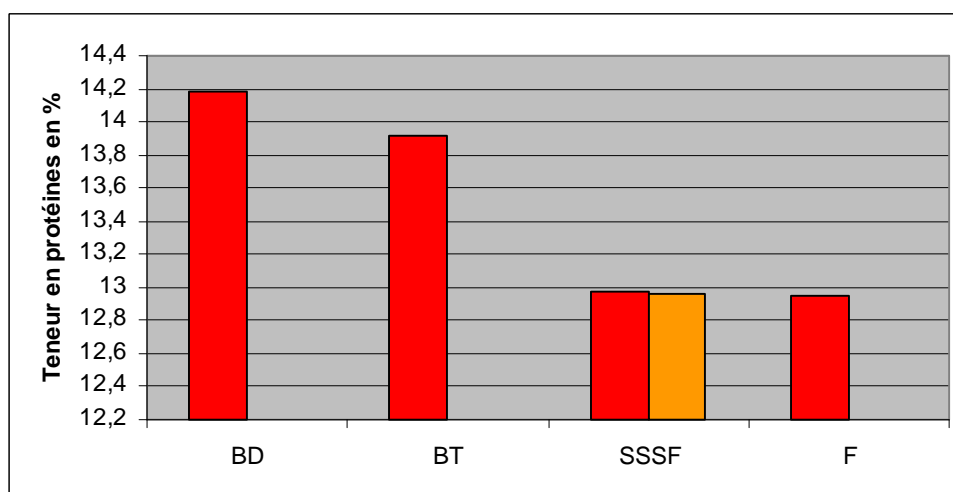


Figure 8: Taux de protéines de différents échantillons (BD, BT, SSSF, F) en %

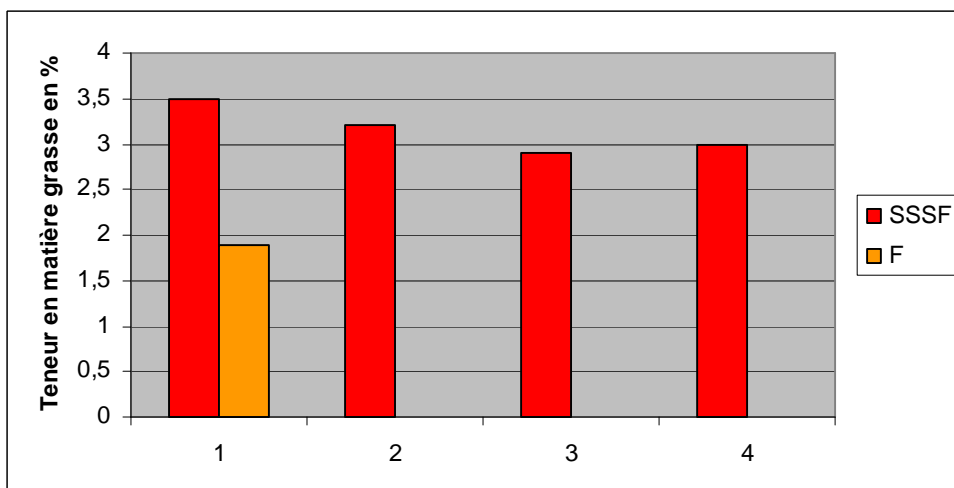


Figure 9 : Teneur en matière grasse de la SSSF et la farine en pourcentage

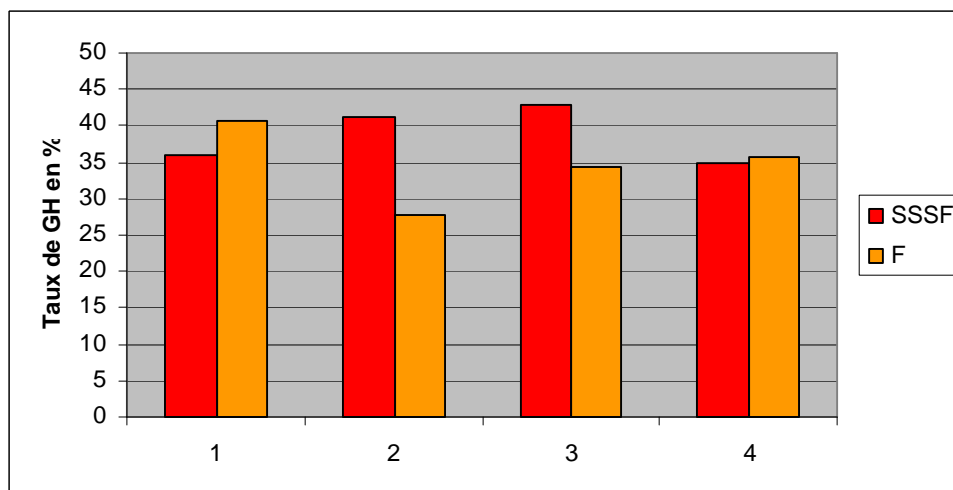


Figure10 : Taux de GH des farines et des SSSF en pourcentage.

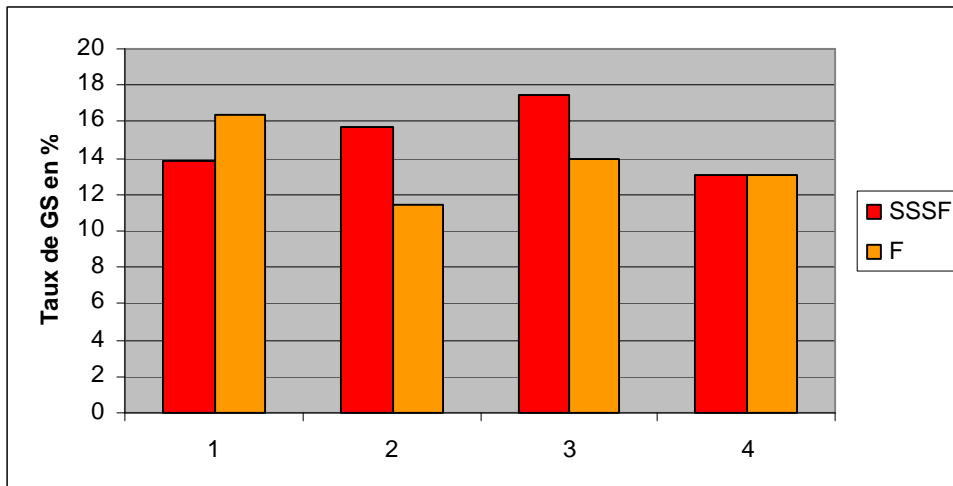


Figure 11: Taux de GS des farines et des SSSF en pourcentage.

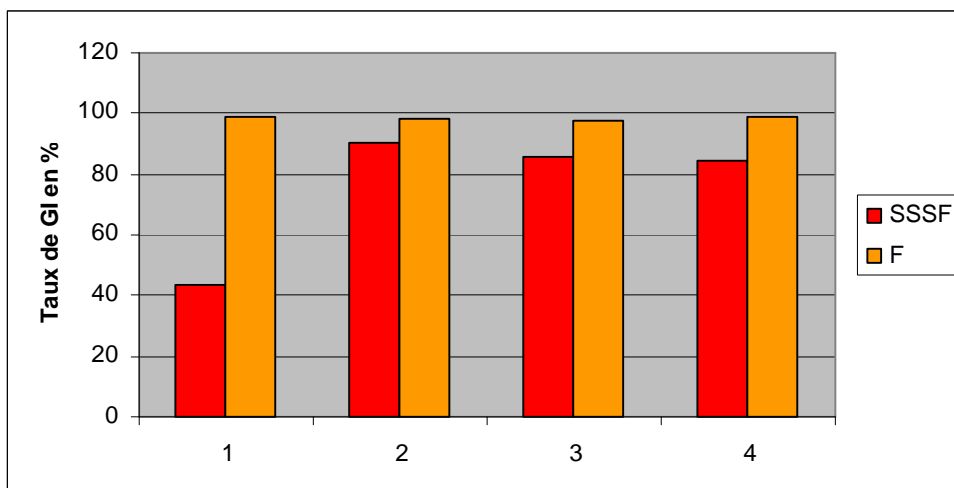


Figure12 : Taux de GI de la SSSF et F en pourcentage.

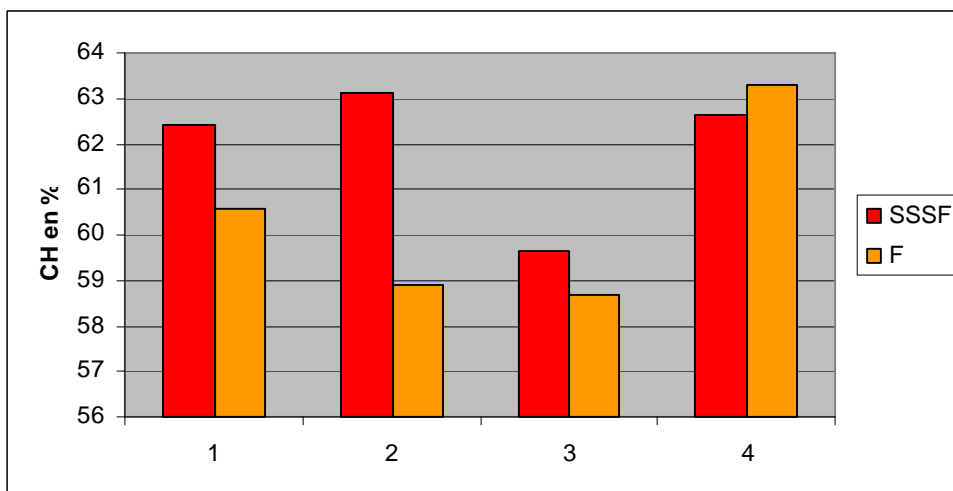


Figure13: CH des farines et SSSF.

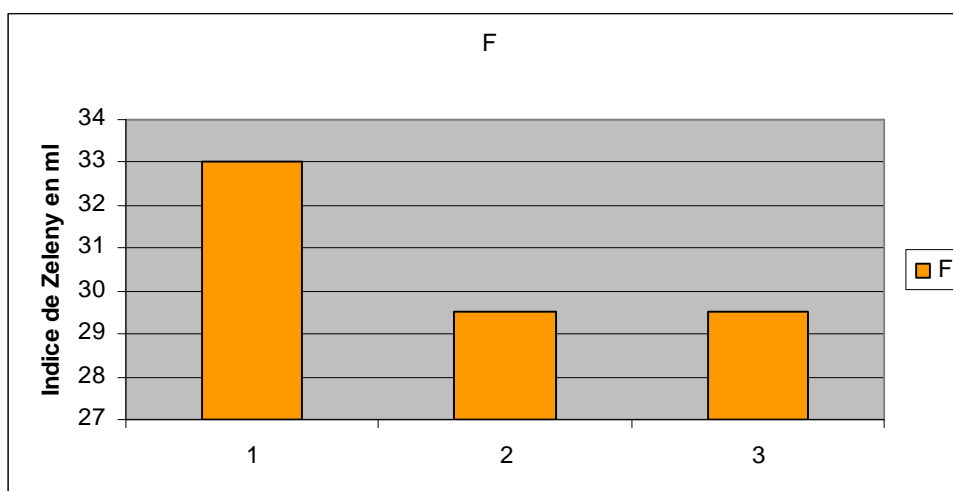


Figure14 : Indice de Zeleny des farines en ml

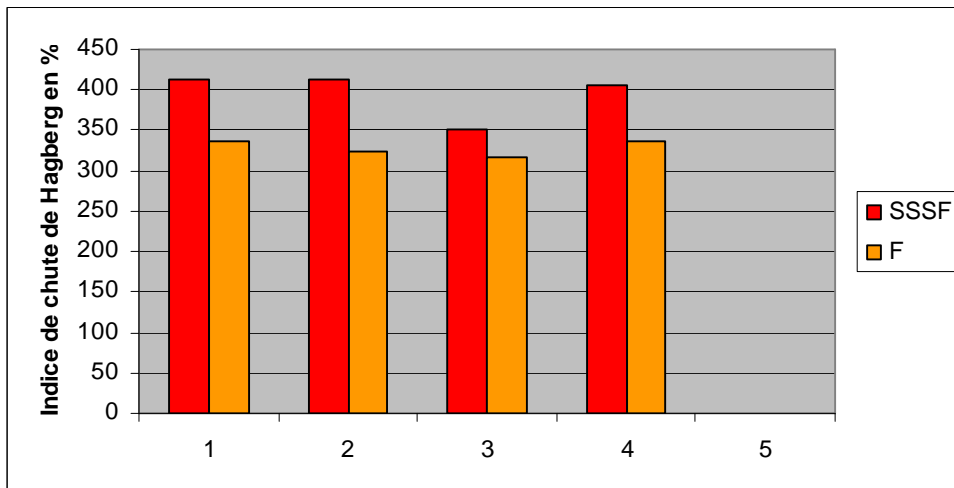


Figure 15: Indice de chute de Hagberg des F et des SSSF en secondes.

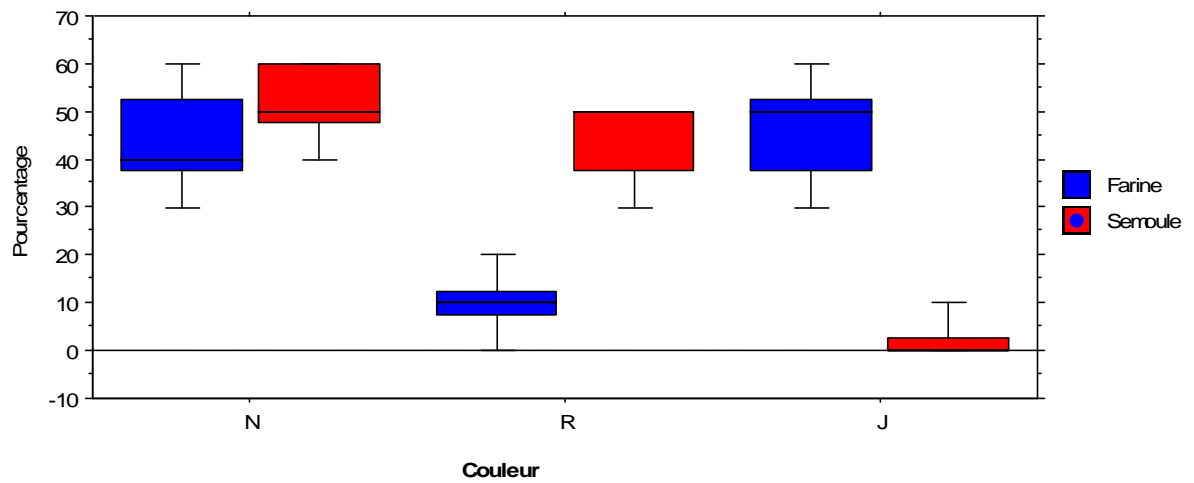
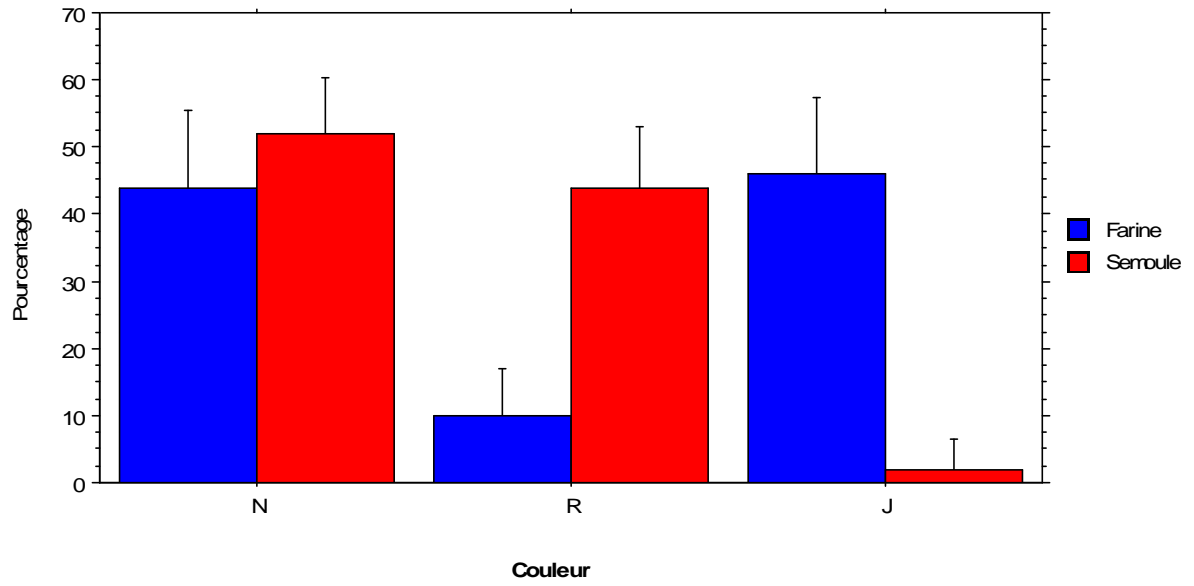


Figure 16: Couleur de la croûte de pain de la SSSF et de la farine en pourcentage

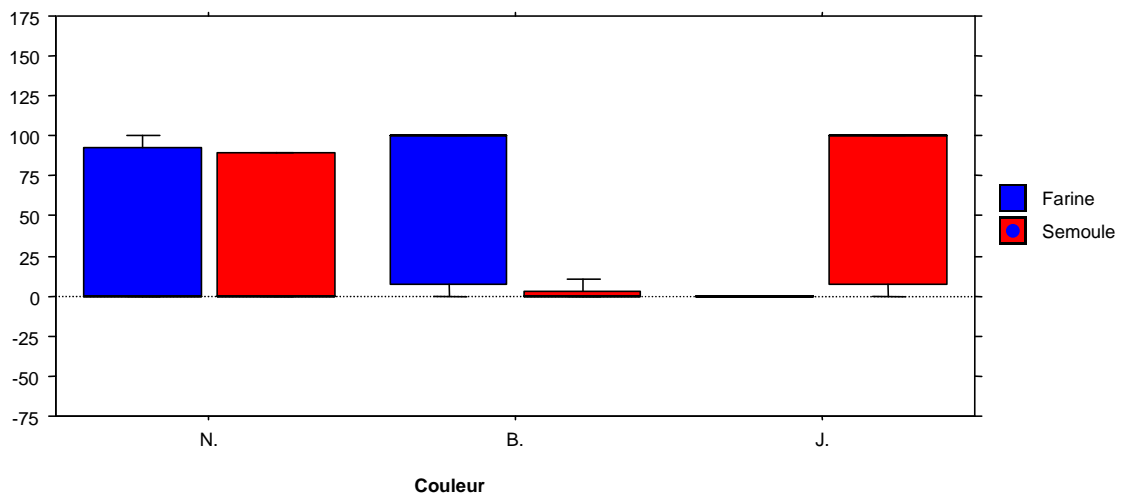
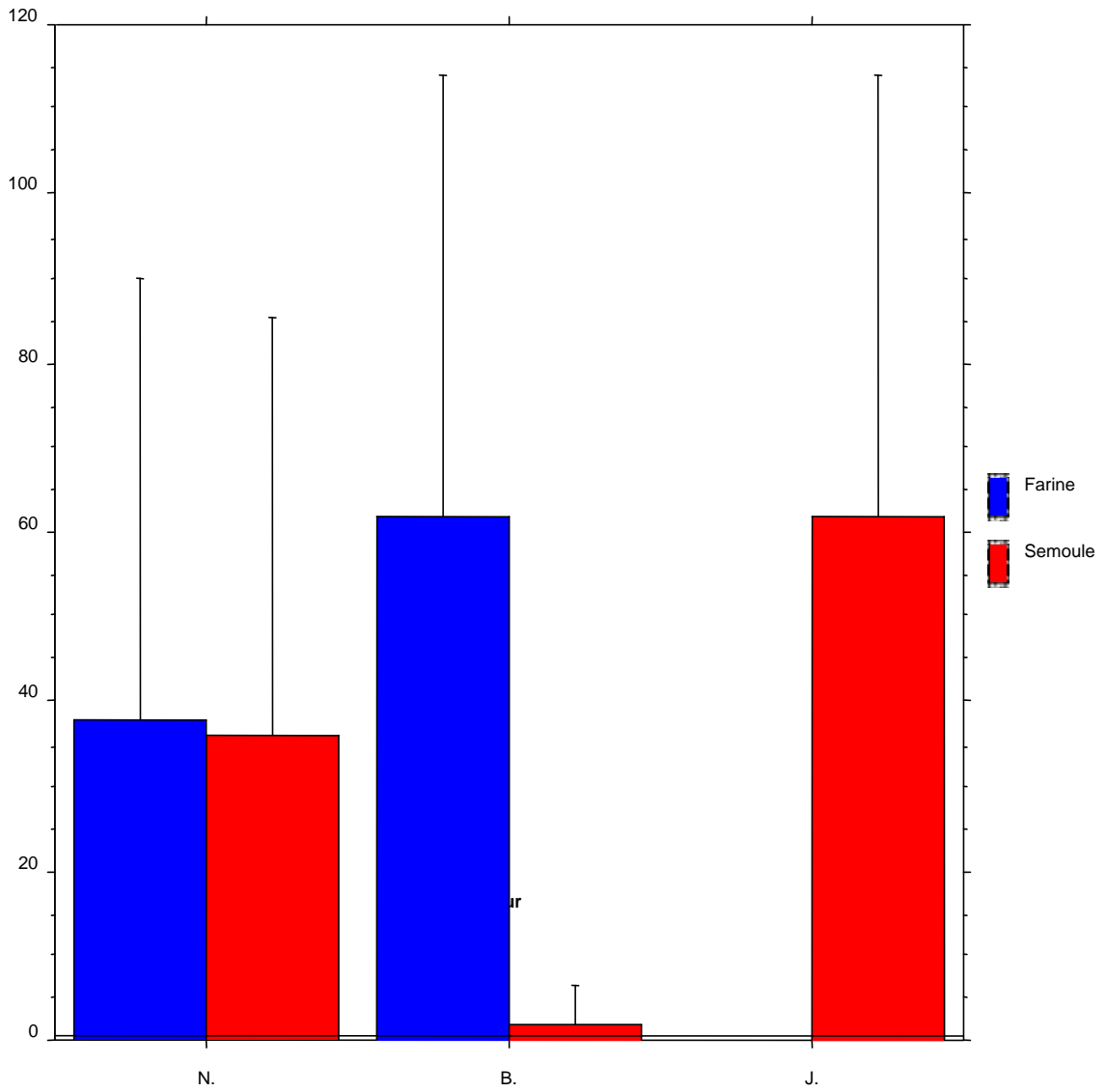


Figure 17: Couleur de la mie de pain de la SSSF et la farine en pourcentage.

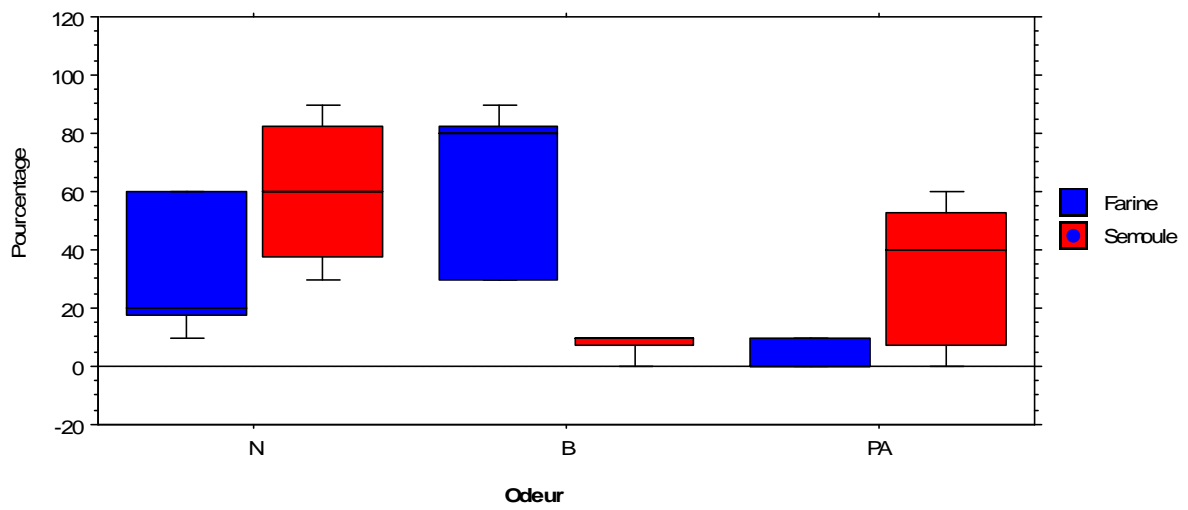
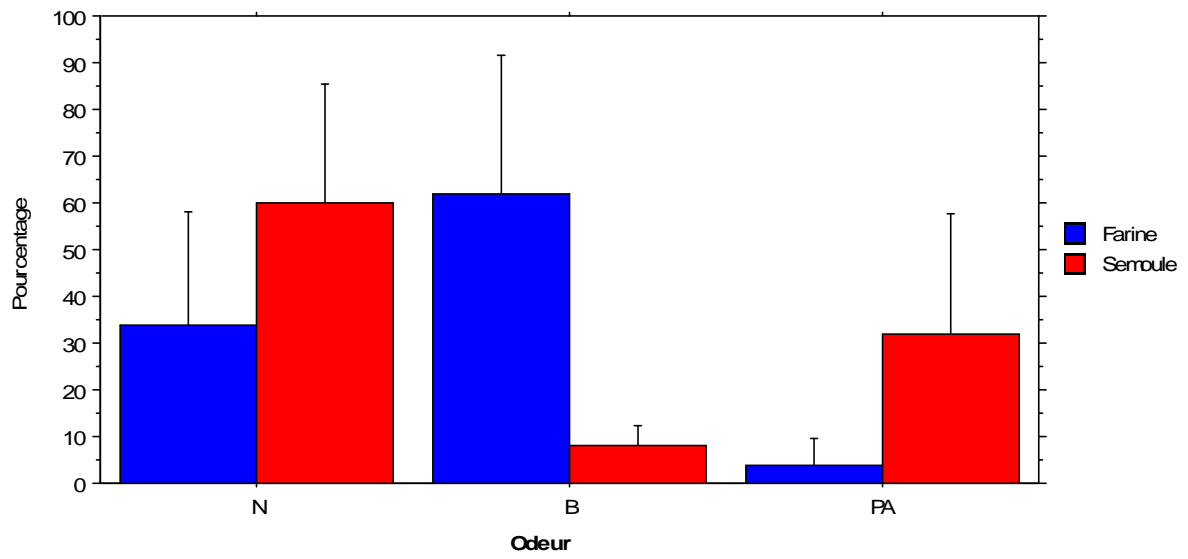


Figure 18: Odeur du pain de la farine et la SSSF en pourcentage.

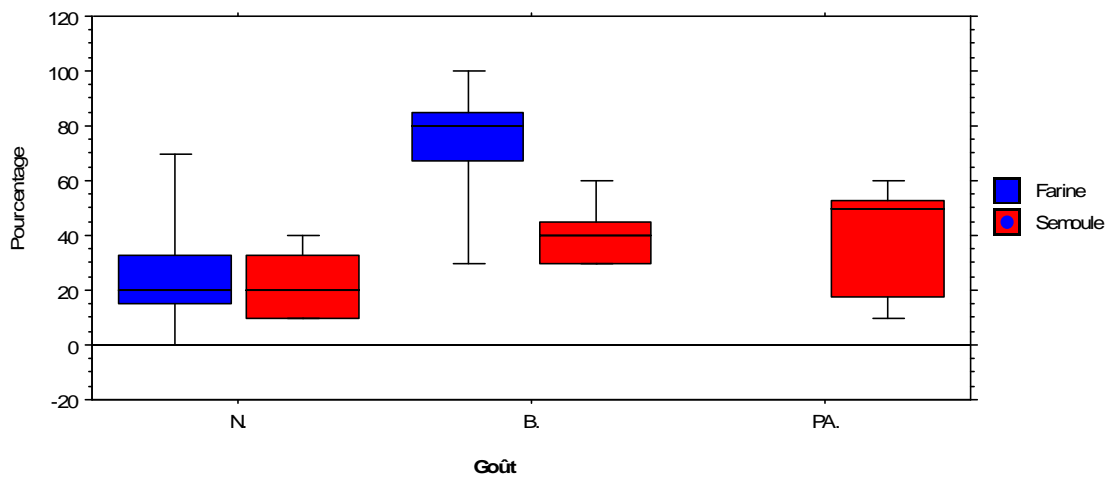
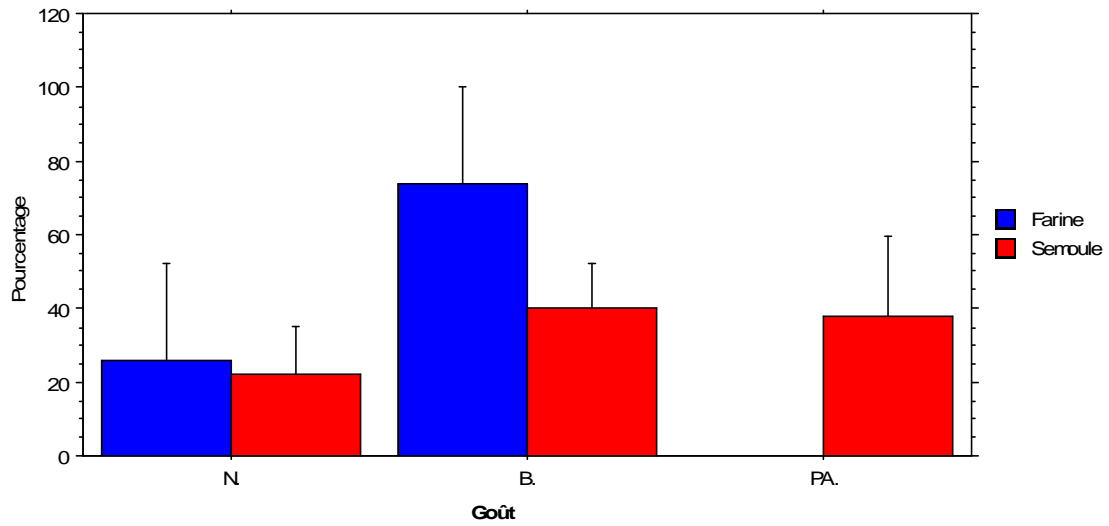


Figure19 : Goût du pain de la farine et de la SSSF en pourcentage.

DATE: 06/04/2008		REFERENCE ECHANTILLON:	
HEURE: 10:49		NOM DE FICHIER : 04060001A108	
PARAMETRES		RESULTATS	
TEMP. LABO :	HYGRO. LABO :	P =	51 mmH2O
FARINE :	MOULIN :	L =	61 mm
HUMIDITE :		G =	17.4
PROTEINES :	T. CHUTE :	W =	69 10E-4J
A. E. :	W. A. :	P/L =	0.82
ZELENY :		Ie =	17.2 %
T. CENDRES :	T. EXTRAC :	W(0) =	0 10E-4J
GLUTEN :			
COMMENTAIRES			
V:d1.13A+5.3			

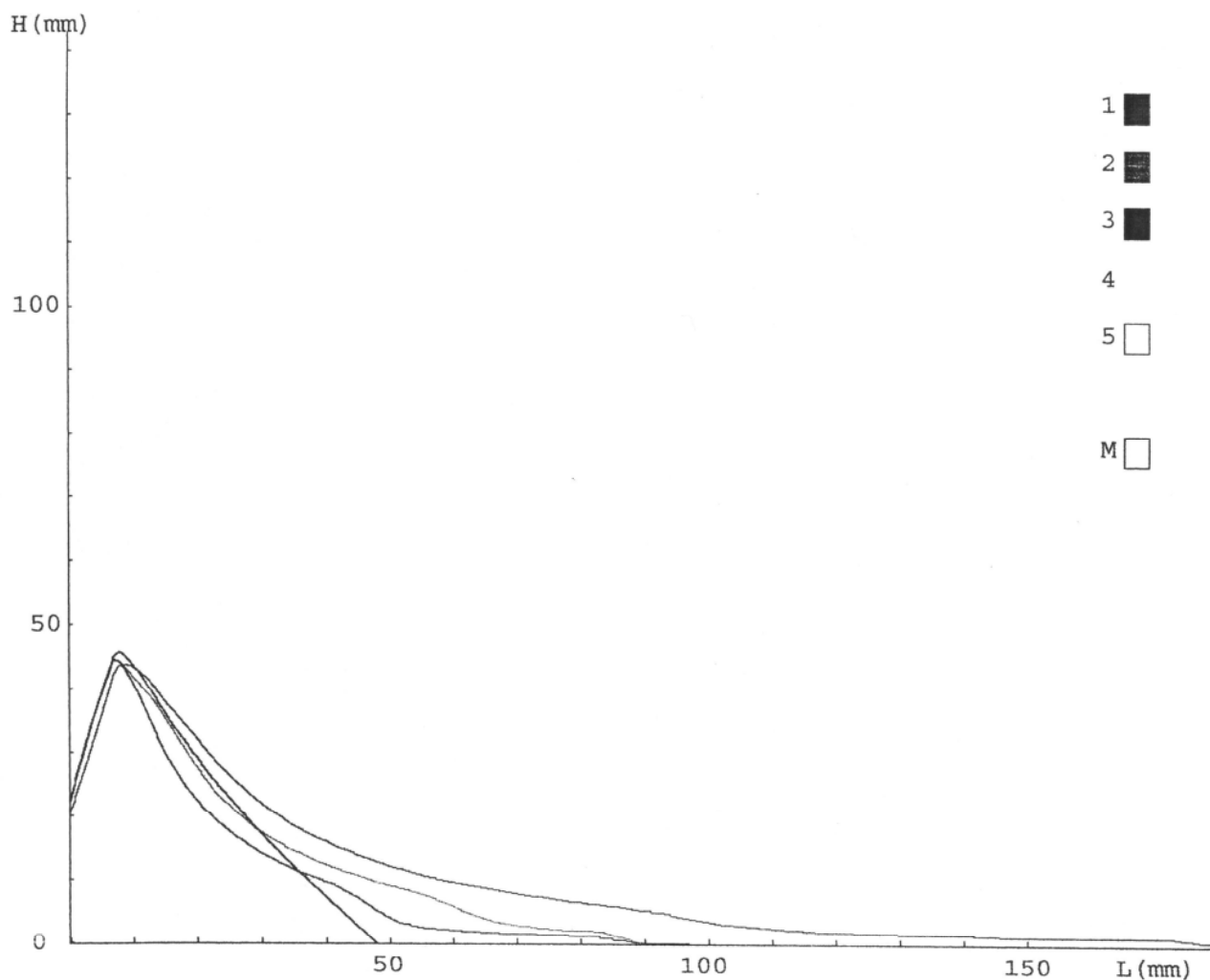


Figure 20: Alvéogramme de SSSF1

PARAMETRES		RESULTATS	
TEMP. LABO :	HYGRO. LABO :	P	= 75 mmH2O
FARINE :	MOULIN :	L	= 40 mm
HUMIDITE :		G	= 14.2
PROTEINES :	T. CHUTE :	W	= 111 10E-4J
A. E. :	W. A. :	P/L	= 1.85
ZELÉNY :		Ie	= 27.4 %
T. CENDRES :	T. EXTRAC :	W(0)	= 0 10E-4J
GLUTEN :			
COMMENTAIRES		V:d1.13A+5.3	

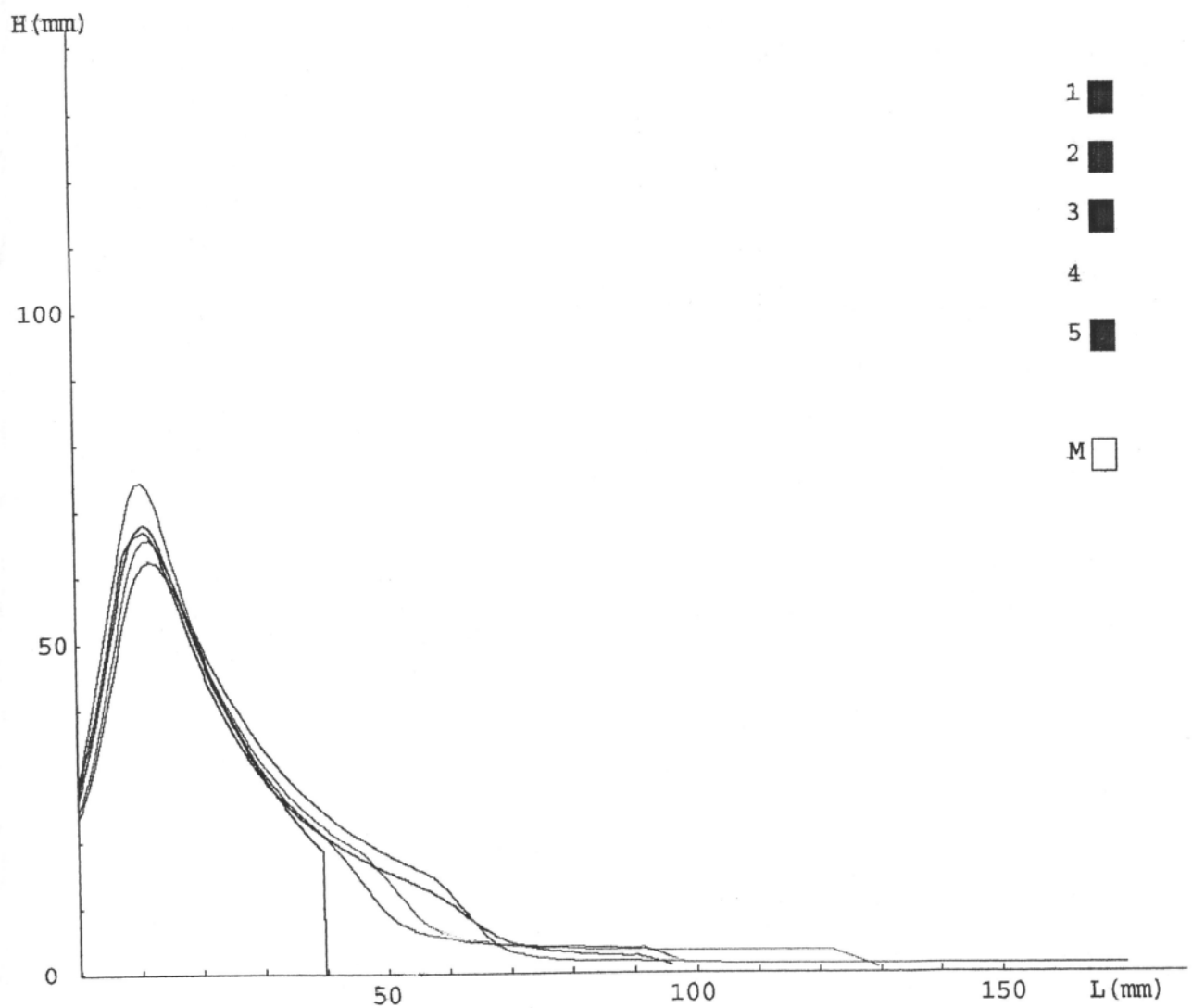


Figure 21: Alvéogramme de SSSF2

PARAMETRES		RESULTATS
TEMP. LABO :	HYGRO. LABO :	P = 52 mmH2O
FARINE :	MOULIN :	L = 63 mm
HUMIDITE :		G = 17.6
PROTEINES :	T. CHUTE :	W = 84 10E-4J
A.E. :	W.A. :	P/L = 0.84
ZELÉNY :		Ie = 25.1 %
T. CENDRES :	T. EXTRAC :	W(0) = 0 10E-4J
GLUTEN :		
COMMENTAIRES		
V:d1.13A+5.3		

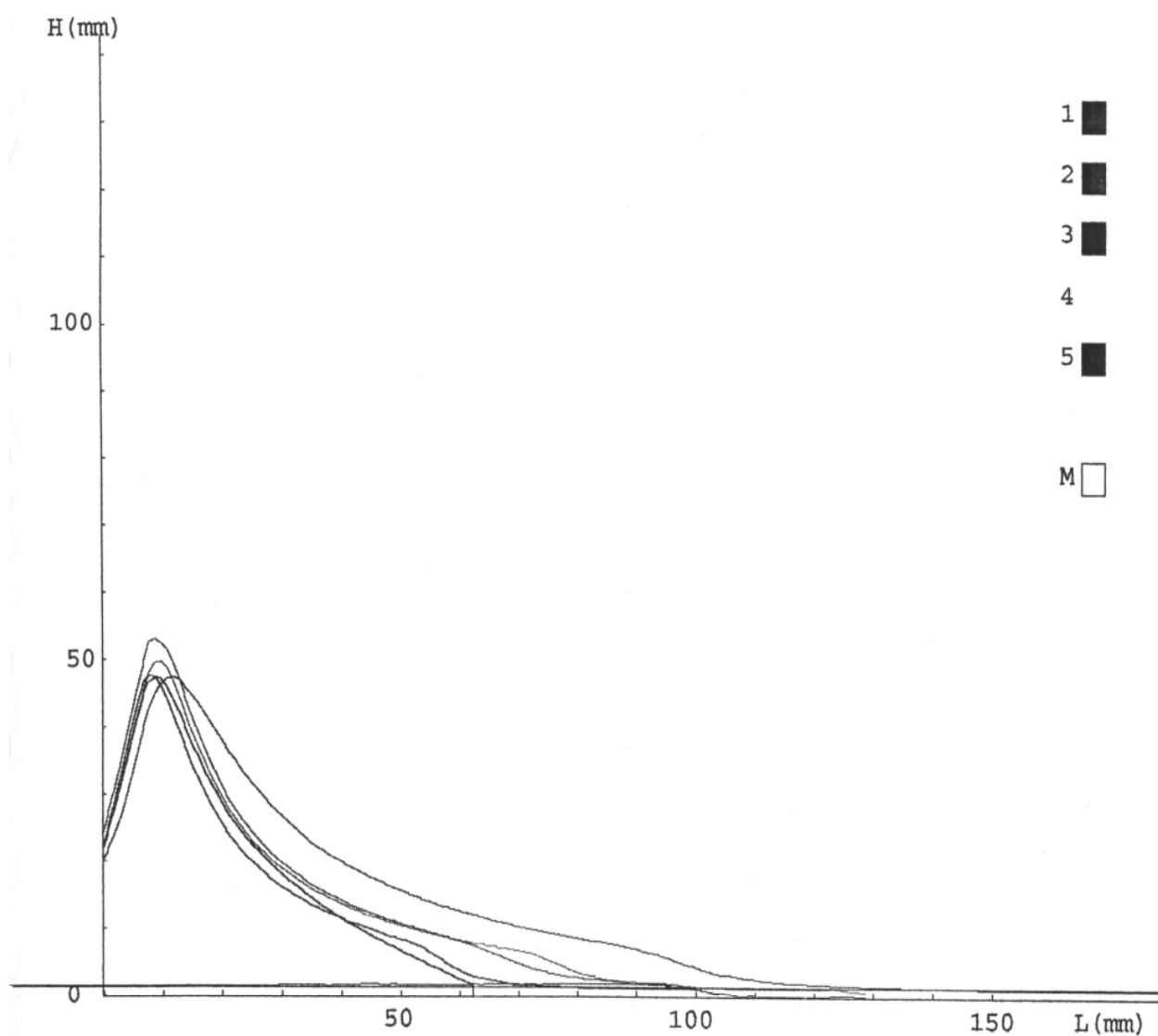


Figure 22: Alvéogramme de SSSF3

PARAMETRES		RESULTATS
TEMP. LABO :	HYGRO. LABO :	P = 72 mmH ₂ O
FARINE :	MOULIN :	L = 39 mm
HUMIDITE :		G = 14.0
PROTEINES :	T. CHUTE :	W = 97 10E-4J
A. E. :	W. A. :	P/L = 1.84
ZELÉNY :		Ie = 0.0 %
T. CENDRES :	T. EXTRAC :	W(0) = 0 10E-4J
GLUTEN :		
COMMENTAIRES		
V:d1.13A+5.3		

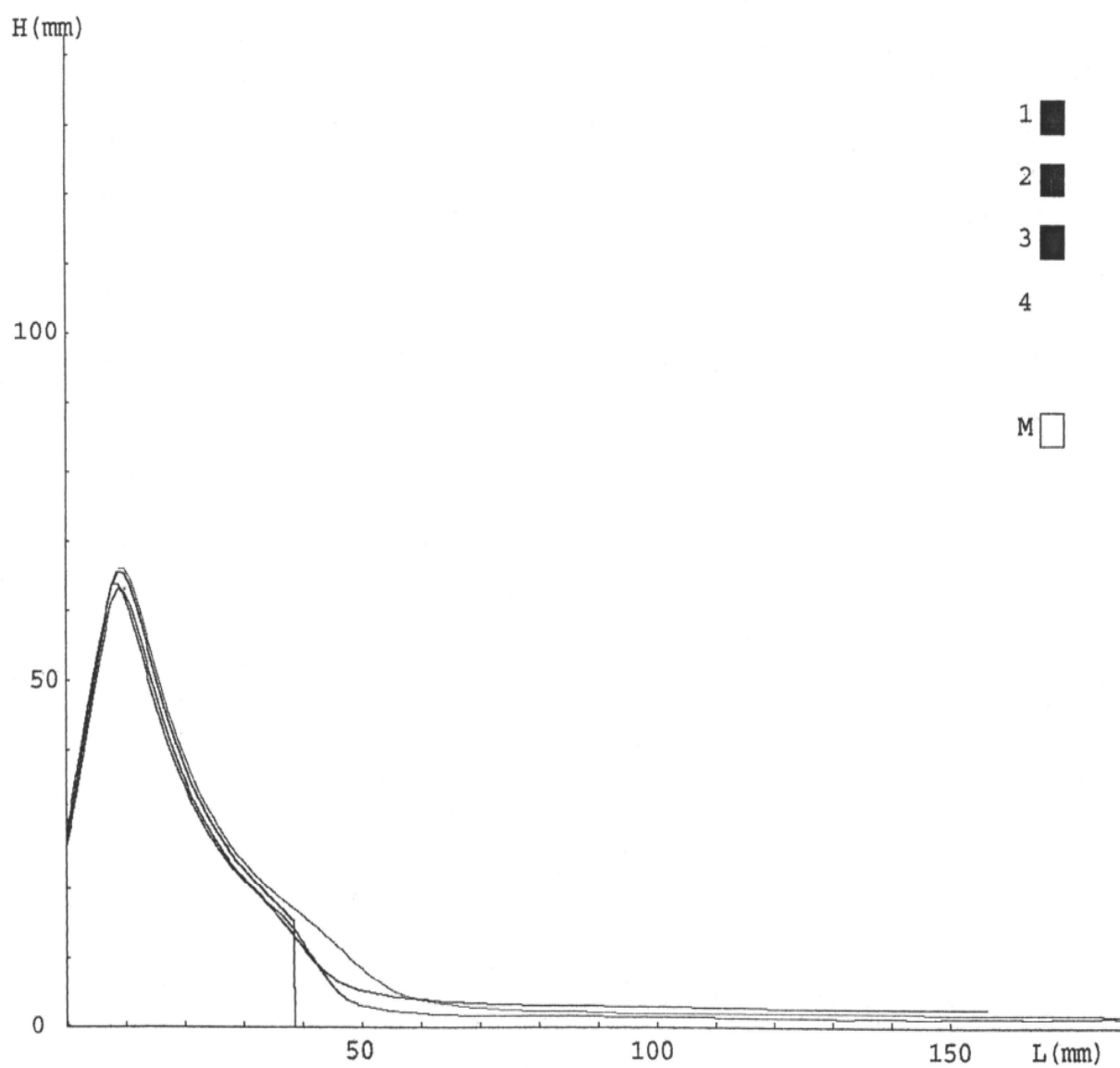


Figure 23: Alvéogramme de SSSF4

PARAMETRES		RESULTATS
TEMP.LABO :	HYGRO.LABO :	P = 83 mmH2O
FARINE :	MOULIN :	L = 72 mm
HUMIDITE :		G = 18.9
PROTEINES :	T.CHUTE :	W = 215 10E-4J
A.E. :	W.A. :	P/L = 1.16
ZELENY :		Ie = 54.8 %
T.CENDRES :	T.EXTRAC :	W(0) = 0 10E-4J
GLUTEN :		
COMMENTAIRES		V:d1.13A+5.3

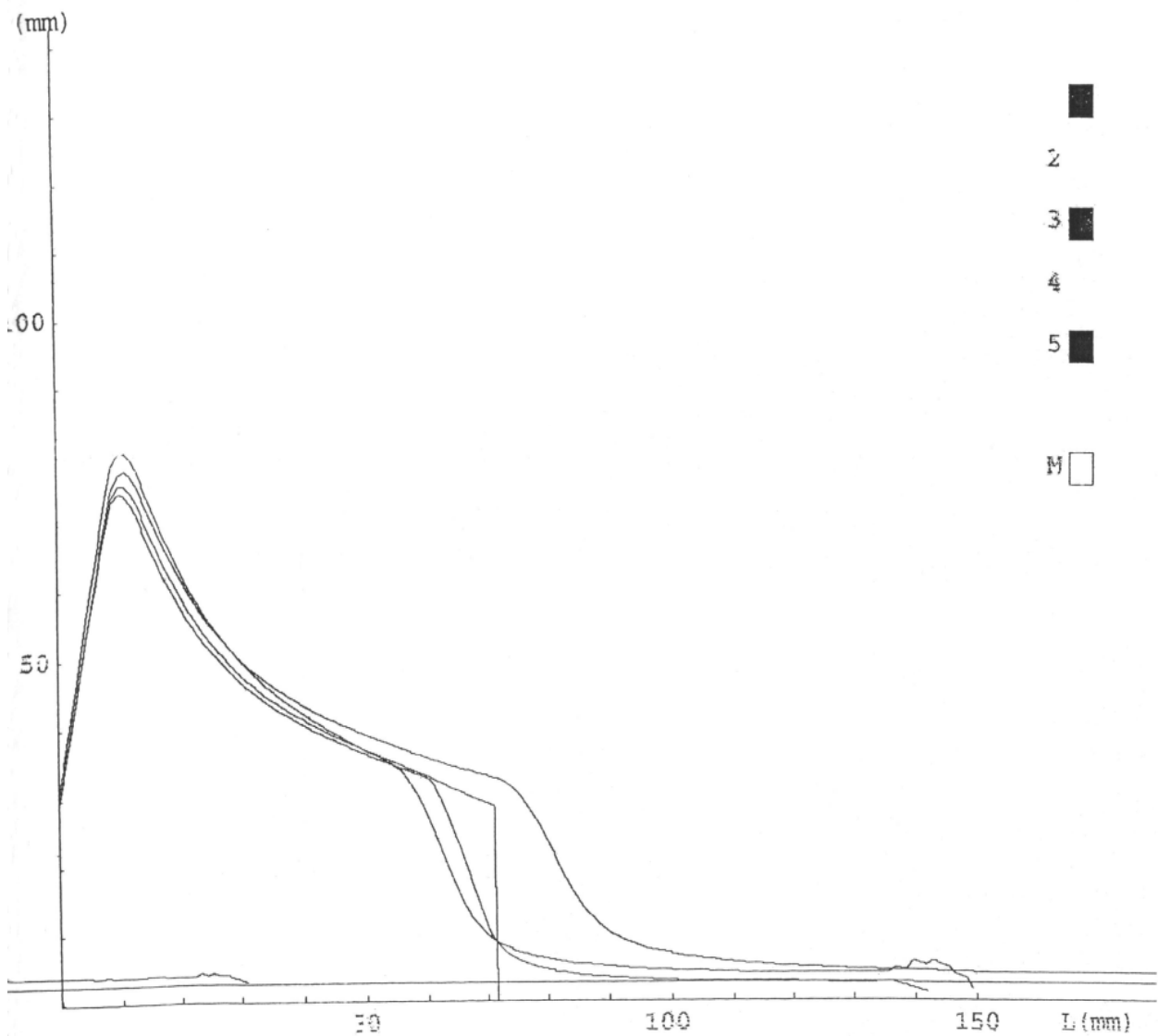


Figure 24: Alvéogramme de FI

PARAMETRES		RESULTATS
TEMP. LABO :	HYCRO. LABO :	P = 79 mmH ₂ O
FARINE :	MOULIN :	L = 58 mm
HUMIDITE :		C = 16.9
PROTEINES :	T. CHUTE :	W = 173 10E-4J
A.E. :	W.A. :	P/L = 1.37
ZELENY :		IC = 52.5 %
T. CENDRES :	T. EXTRAC :	W(0) = 0 10E-4J
GLUTEN :		
COMMENTAIRES		V:01.12A:5.2

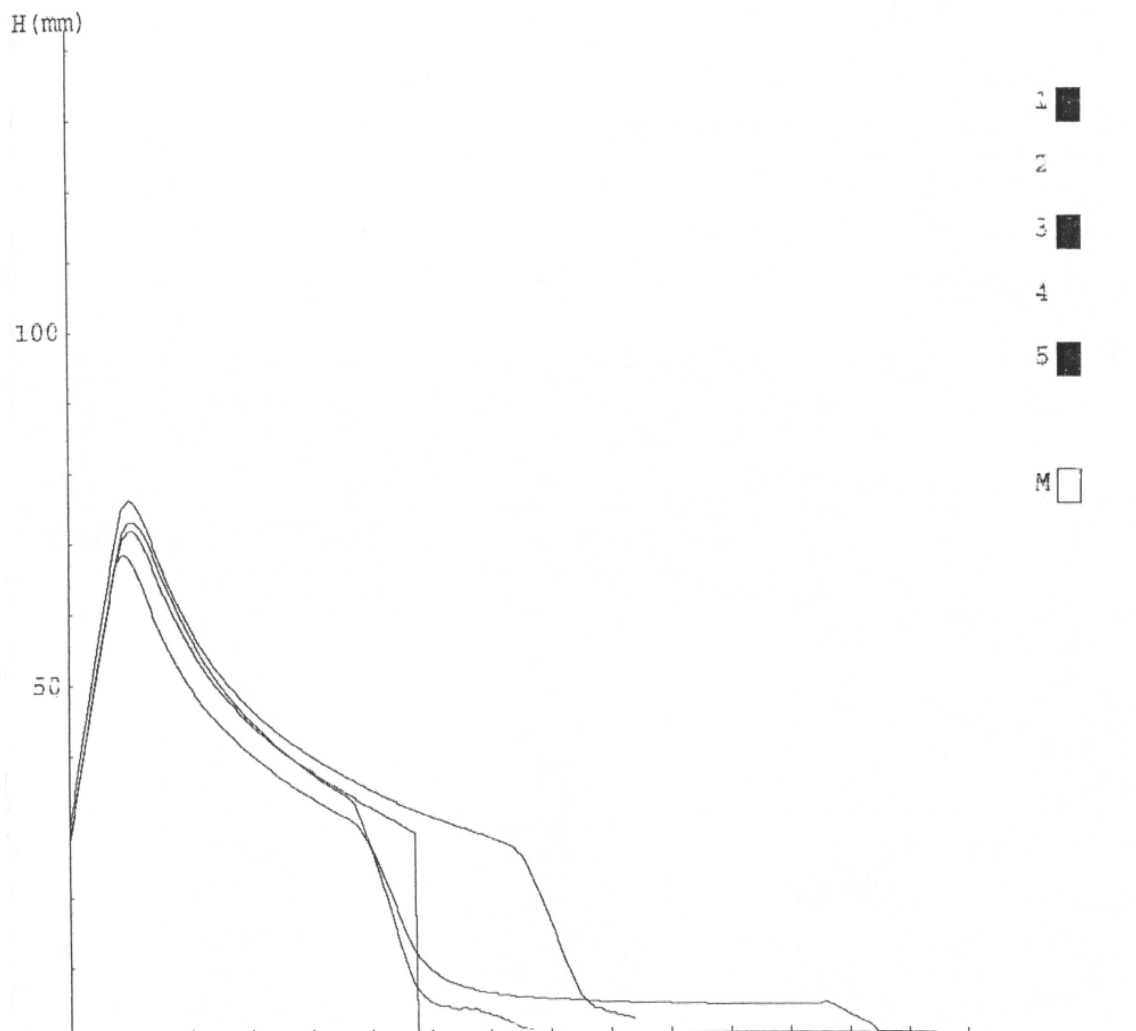


Figure 25: Alvéogramme de F2

PARAMETRES		RESULTATS	
TEMP. LABO :	HYGRO. LABO :	P	= 81 mmH2O
FARINE :	MOULIN :	L	= 56 mm
HUMIDITE :		G	= 16.6
PROTEINES :	T. CHUTE :	W	= 177 10E-4J
A.E. :	W.A. :	P/L	= 1.46
ZELÉNY :		Ie	= 55.0 %
T. CENDRES :	T. EXTRAC :	W(0)	= 0 10E-4J
GLUTEN :			
COMMENTAIRES			
V:d1.13A+5.3			

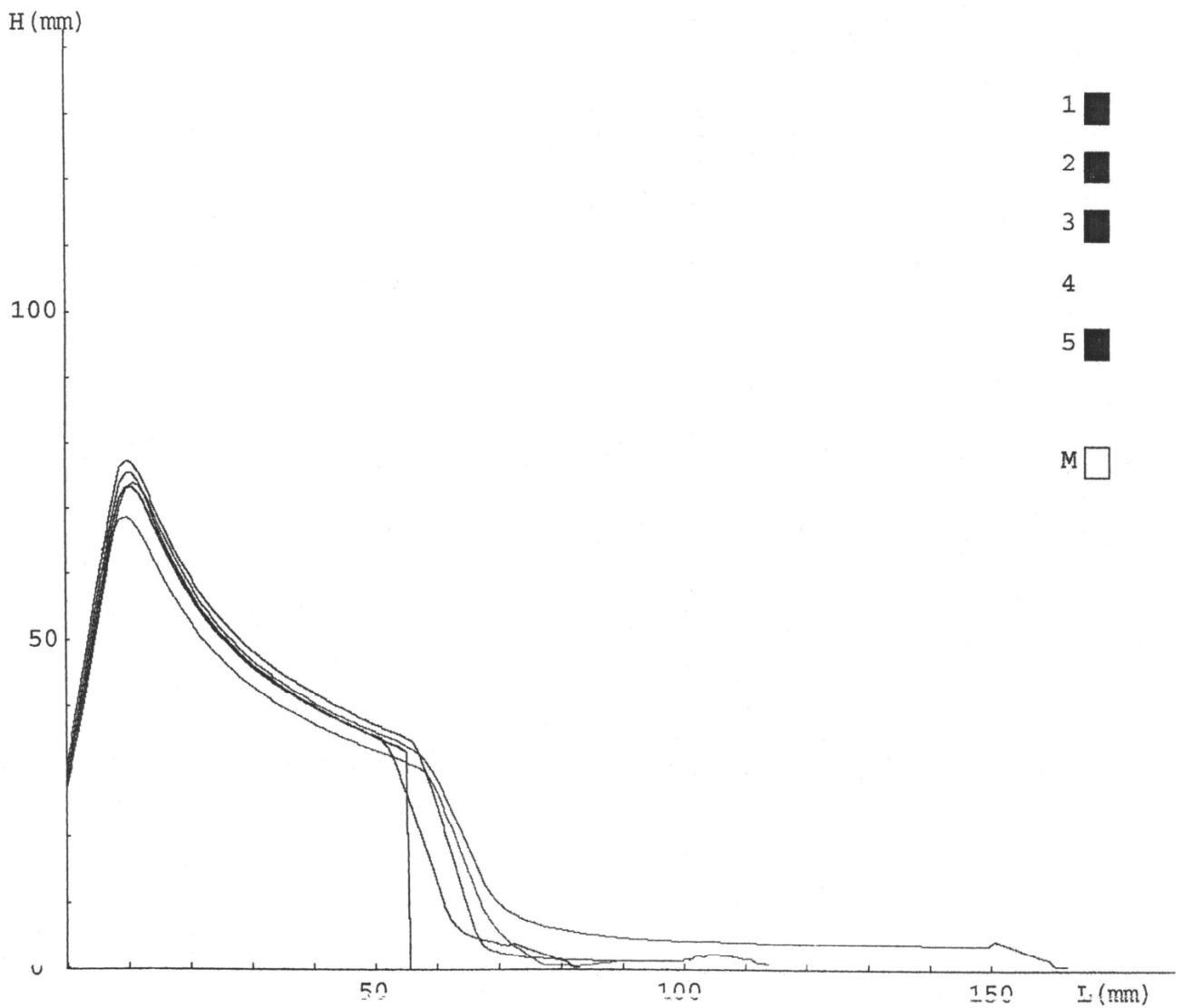


Figure 26: Alvéogramme de F3

PARAMETRES		RESULTATS	
TEMP. LABO :	HYGRO. LABO :	P	= 80 mmH ₂ O
FARINE :	MOULIN :	L	= 59 mm
HUMIDITE :		G	= 17.1
PROTEINES :	T. CHUTE :	W	= 179 10E-4J
A. E. :	W. A. :	P/L	= 1.35
ZELÉNY :		Ie	= 54.6 %
T. CENDRES :	T. EXTRAC :	W(0)	= 0 10E-4J
GLUTEN :			
COMMENTAIRES			
V:d1.13A+5.3			

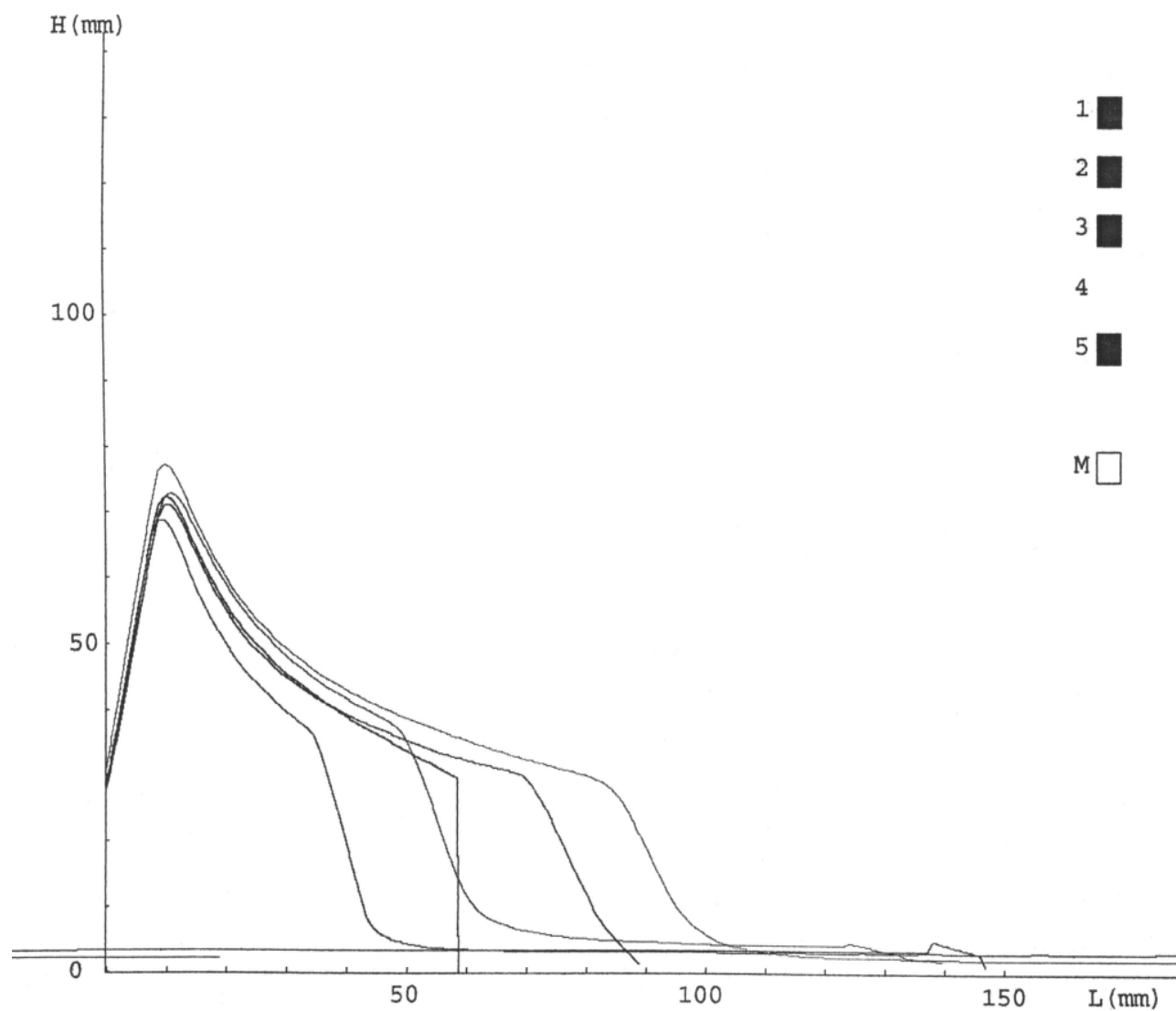


Figure 27: Alvéogramme de F4

PARAMÈTRES		RESULTATS	
TEMP. LABO :	HYGRO. LABO :	P	= 78 mmH ₂ O
FARINE :	MOULIN :	L	= 61 mm
HUMIDITE :		G	= 17.4
PROTEINES :	T. CHUTE :	W	= 198 10E-4J
A. E. :	W. A. :	P/L	= 1.27
ZELÉNY :		Ie	= 62.9 %
T. CENDRES :	T. EXTRAC :	W(0)	= 0 10E-4J
GLUTEN :			
COMMENTAIRES			
V:d1.13A+5.3			

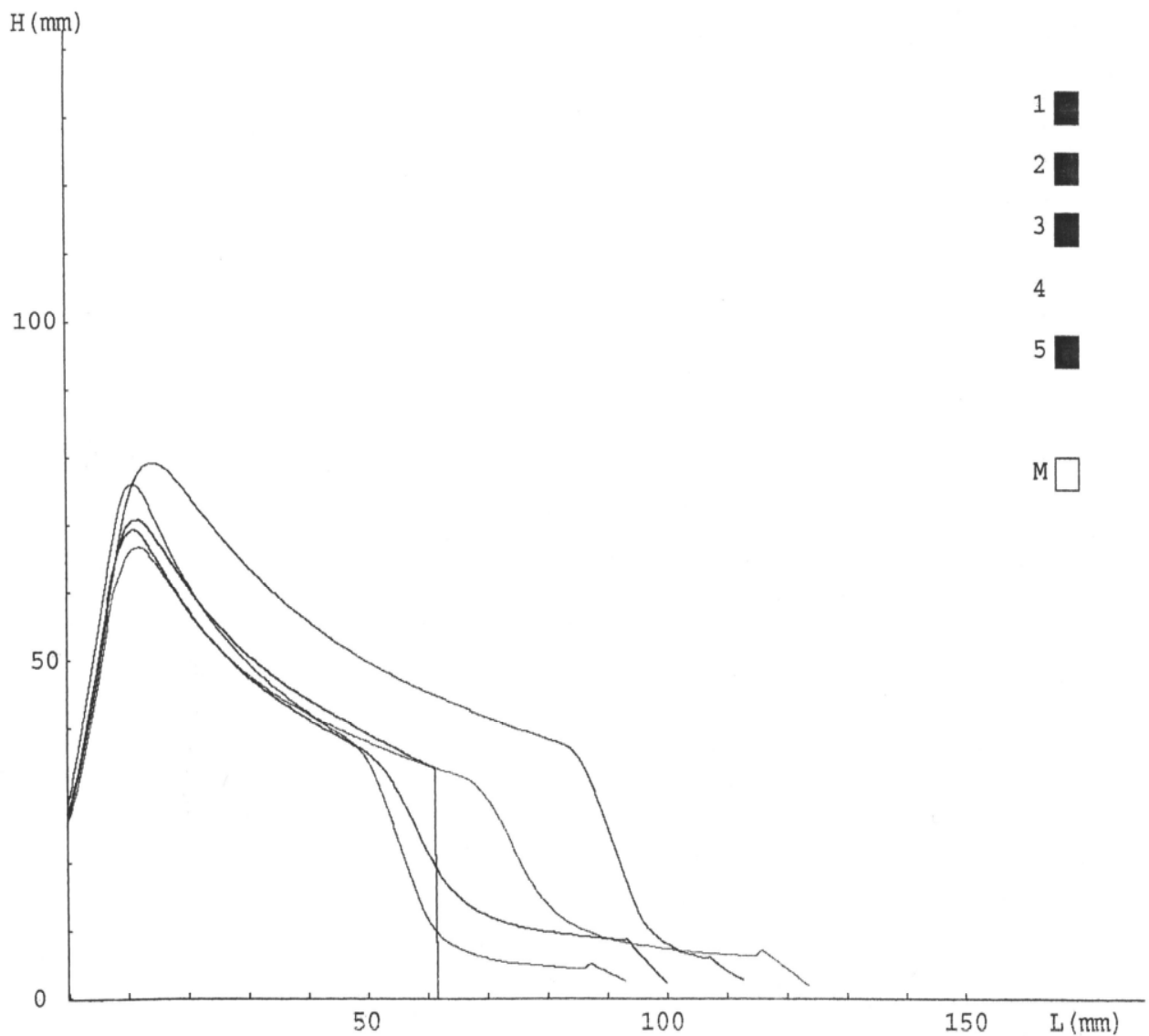


Figure 28: Alvéogramme (SSSF1 + F1)



- 1- F1
- 2-SSSF1
- 3-SSSF2
- 4-SSSF3

Figure 29 : Fermentation de la pâte de la SSSF et la farine.



- 1-F2
- 2-SSSF4
- 3-F3

Figure 30 : Façonnage de la pâte de la SSSF et la F

Tableau I : Matrice de corrélation pour les résultats physicochimiques et technologiques de la farine de blé tendre et dur (N = 24), (P = 0.05).

Variable	Tx d'aff	Acgrass	Mt minr	GH	GS	GI	CH	I chte
Tx d'aff	1	0.82	0.68	0.36	0.31	0.21	0.10	0.74
Acgrass	0.82	1	0.39	0.10	0.06	0.18	0.07	0.50
Mt minr	0.68	0.39	1	0.49	0.42	0.15	0.16	0.53
GH	0.36	0.10	0.49	1	0.88	0.32	0.25	0.26
GS	0.31	0.06	0.42	0.88	1	0.15	-0.22	0.23
GI	0.21	0.18	0.15	0.32	0.15	1	0.25	0.31
CH	0.10	0.07	0.16	0.25	-0.22	0.25	1	0.06
I chte	0.74	0.50	0.53	0.26	0.23	0.31	0.6	1

Tableau II : Appréciation des pâtes et des pains.

1-Pétrissage :

Pâte :

1-Sèche	Grasse	Collante	Normale
2-Très extensible	Extensible	Peu extensible	Tenace Cassante
3-Très élastique	Elastique	Peu élastique	Terreuse
4- Ne relachant pas			Relachant
5- Bon lissage			Mauvais lissage

2-Pointage :***Paton :***

1-Très rond	Rond	Plat non poreux	Plat poreux
-------------	------	-----------------	-------------

3-Façonnage :***Pâte :***

Raidit	Reste ferme	Relâche		
Très extensible	Extensible	Peu extensible	Tenace	Cassant
Très élastique	Elastique	Peu élastique	Terreuse	

4-Apprêt :***Paton :***

Très rond	Rond	Plat non poreux	Plat poreux
-----------	------	-----------------	-------------

Pâte :

Non déchirée	Déchirée
--------------	----------

5-Cuisson :***Pâte :***

Normale	Collante	Croûtée
---------	----------	---------

Pâton :

Très rond	Rond	Presque plat
-----------	------	--------------

II- pain :**-Section :**

Ronde	Normale	Plate
-------	---------	-------

-Couleur :

Pale	Normale	Rouge
Brillante	Terne	

-Finesse de la croûte :

Fine	Normale	Épaisse
------	---------	---------

Molle	Croustillante	Dure
-------	---------------	------

-Corps de lame :

Bien jetés	Peu jetés	Pas jetés
------------	-----------	-----------

Réguliers	Irrégulier	
-----------	------------	--

Lisses	Déchirés	
--------	----------	--

Aspect de la mie :**-Couleur :**

Blanche	Crème	Grise
---------	-------	-------

-Texture :

Aérée	Serrée	
-------	--------	--

Régulière	Irrégulière	
-----------	-------------	--

Non élastique	Elastique	Collante
---------------	-----------	----------

Parois fines	Parois épaisses	
--------------	-----------------	--

Flaveur :

Odeur	Saveur	
--------------	---------------	--

Résumé

Le blé dur est une céréale très consommée dans le monde. Sa transformation en semoule génère des sous produits, dont la farine de blé dur est la plus représentée. Notre travail de recherche s'intéressera plus particulièrement à mettre en évidence le potentiel technologique de la farine de blé dur, plus particulièrement son aptitude à la panification. Les résultats obtenus ont montré que cette farine est riche en protéines (12,97 %), en sels minéraux (1,14%) et en matières grasses (3%). Les analyses rhéologiques ont révélé que la farine de blé dur est élastique, peu tenace et peu extensible. Les pains de la farine de blé dur présente une croûte de couleur rouge et une mie de couleur crème, ce sont généralement des pains plats. L'analyse sensorielle fait ressortir que le pain de l'échantillon SSSF2 présente des caractéristiques semblables au pain de l'échantillon de farine de blé tendre, qui est destinée à la panification. Le pain fabriqué à partir de la SSSF est d'une flaveur caractéristique dévalorisé par le consommateur vu nos habitudes alimentaires et culinaires.

Mots clés: Gluten, céréales, blé dur, alveogramme, pain, SSSF, farine de blé dur, panification.

Abstract

Durum wheat is largely consumed in the world. Its conversion into semolina produces by-products, flour is the most of them. The aim of our study is to interest from flour of *Triticum Durum* and its technology potential and its capacity of panification. In this manner our study shows high level of proteins (12, 97 %), ash (1, 14 %) and fat matter (3 %). The rheology analysis of durum wheat flour studies revealed the flour is elastic, low extensible and low tenacious. The bread of durum wheat flour presents a red crust and cream crumb. Its generally flat bread. Sensory analysis bring out SSSF2 present a characteristic like a bread of flour of *Triticum Eastivum*, its destiny to breadmaking. The bread manufactured by flour of *Triticum Durum* has characteristic flavescence, loss in value by the consumer for our nutritious and culinary habit.

Key word: Gluten, durum wheat, alveogram, bread, flour of durum wheat, breadmaking.

الملخص

يعد القمح الصلب من الحبوب أكثر استهلاكاً في العالم. فالتحويل إلى صنف السميد تعطي مواد مشتقة أخرى أين الطحين يعتبر أكبر تمثيلاً. عملنا هذا ينصب اهتمامه على إعطاء أهمية للقدرة التكنولوجية للطحين الصلب بالخصوص استطاعته على صنع الخبز. دراستنا تبين أن الطحين غني بالبروتينات (12,97%)، الأملاح المعدنية (1,14%) و المواد الدسمة (3%). حيث بعض التجارب كشفت أن طحين القمح الصلب الاستيكي أقل قوة و امتداداً. فخبز الطحين للقمح الصلب له قشرة حمراء و لب يميل إلى الاصفرار الذي يمثل على العموم بالخبز المسطح. التجارب الحسية تبين أن العينة للخبز SSSF2 يقدم خصائص متشابهة للخبز المصنوع من طحين قمح *Triticum Eastivum* الموجه لصناعة الخبز. فالخبز المصنوع من SSSF ذو نكهة خاصة له قيمة غذائية مفقودة من طرف المستهلك نتيجة عاداتنا و امزجتنا الغذائية. مفتاح الكلمات: القمح، غلوتين، القمح الصلب، الفيورام، الخبز، صنع الخبز، طحين القمح الصلب.