

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE SAAD DAHLAB – Blida**

**FACULTE DES SCIENCES AGRO-VETERINAIRES**

**DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES**

**Contribution à l'étude physicochimique et  
organoleptique  
du son de seigle en vue de son incorporation dans un  
produit diététique**

**Projet de fin d'étude en vue de l'obtention  
du diplôme de Master académique en sciences de la nature et de la vie**

**Filière : Sciences alimentaires  
Spécialité : Nutrition et Contrôle des Aliments**

Présentée par : BENALI Imane

**Devant le jury composé de:**

M <sup>r</sup> . HADJ SADOK	MCB	USDB	Président
M <sup>me</sup> . KOUIDRI AMEL.	MCB	USDB	Promotrice
M <sup>elle</sup> Meribai A	Chercheur	CRAPC	Co-promotrice
M <sup>me</sup> . ABDELLAOUI Z.	MAA	USDB	Examinatrice
M <sup>me</sup> OUTALEB T.	MAB	USDB	Examinatrice

ANNEE UNIVERSITAIRE 2012 / 2013

## *Remerciements*

On dit souvent que le trajet est aussi important que la destination. Les années de maîtrise m'ont permis de bien comprendre la signification de cette phrase toute simple. Ce parcours, en effet, ce n'est pas réalisé sans défis et sans soulever de nombreuses questions pour lesquelles les réponses nécessitent de longues heures de travail.

En préambule à ce mémoire, nous remercions le bon DIEU tout-puissant de m'avoir donné la foi, la volonté et la patience dans l'accomplissement de ce travail.

Je tiens à remercier en premier lieu, **Mme KOUIDRI A** ; MCB à l'université de Blida pour avoir accepté de m'encadrer et de me diriger ainsi que pour ses discussions enrichissantes, ses conseils qui m'ont permis d'évoluer dans ma vision de la recherche et de la façon de la mener, qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie également :

Ma co-promotrice **M<sup>lle</sup> Meribai A.**, chercheur au CRAPC (centre de recherche des analyses physico-chimiques à Bousmail) pour m'avoir honoré et aidé pour réaliser ce travail.

**M. HADJ SADOK**, MCB à l'université de Blida pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury.

**M. ABDELLAOUI Z.**, MAA à l'université de Blida pour avoir honoré et accepté d'examiner ce travail.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail ; en particulier le responsable de la boulangerie de l'ITGC (Institut Technique de Grand Culture) Dahemoune Salim.

## *Dédicace*

Je dédie ce travail

À l'unique source de bonheur et de fierté, mes chers parents ;  
pour leurs soutiens, leur aide, leurs patiences, leur grand  
amour et affection, qu'allah les garde pour moi sains et saufs.

À mes très chers frères Hacem, Tarek, Djugurta.

À mes très chères sœurs : Tigounsefte, Dihia.

À mon très cher oncle Rachide.

À mes cousins Mohamed, Lokmane.

À mes cousines Sabah, Anisa, Rima, Meriouma et Nassima.

À mes amis intimes Hana, Asma, Baben, Aissa et surtout  
Karim.

Et à tout soucieux de ma réussite.

*IMANE*

# Résumé

Ce travail a pour objectif de valoriser les fibres alimentaires contenues dans les enveloppes des céréales dites communément « son ». Ce dernier, présente un grand intérêt dans la thérapie et la prévention de certaines maladies comme l'obésité.

Cette étude contribue à déterminer les différentes caractéristiques physico-chimiques du son de seigle, et la réalisation d'un pain à base de farine blanche avec différents taux d'incorporation de la fraction indigestible du seigle (15% ,20% ,25% et 30%). Les effets de l'addition du son sur les propriétés rhéologiques de la pâte et sur les paramètres de qualité de ce pain ont été étudiés.

Les résultats relatifs à la caractérisation physico-chimique du son de seigle ont été satisfaisants et dans les normes donc montre une amélioration de la valeur nutritionnelle en particulier en matière minérale (3,49%), en lipides (4,73%) et en amidon (21,32%).

La caractérisation rhéologique du couplet (farine et son de seigle) effectuée par l'alvéographe Chopin a montré qu'il ya une proportionnalité inverse des paramètres rhéologiques (W, P / L et G) en rapport avec l'addition du son de seigle.

Les tests de panification de la farine au son de seigle ont donné des pains de couleur, odeur et gout différents par rapport à celle de témoin (230,875/300) et de différents volumes spécifiques pour les pains (A),(B) et (C) avec des valeurs supérieur à (3cm<sup>3</sup>/g) donc l'ajout de son de seigle plus de 25% rend notre pain inacceptable par apport au volume et une alvéolisation de mie assez intéressante.

L'analyse organoleptique du pain au son a révélé de bon résultats par rapport a l'odeur et au goût. Par ailleurs, ce produit a présenté une couleur sombre comparée à celle du témoin.

**Mot-clé** : Seigle - Fibres alimentaires - Son – rhéologique -alvéolisation.

# *Summary*

This work has for objective to value the food fibers contained in the envelopes of said cereal collectively "sound". The latter, presents a big interest in the therapy and the prevention of the diseases.

This study contributed to determine the various physico-chemical characteristics of the sound of rye, and then we realized a formulation of the bread with white flour with various rates of incorporation of the sound of rye (15 %, 20 %, 25 % and 30 %). The effects of the addition (bill) of the sound of rye on the properties rheology of the dough and on the quality parameters of bread one was studied.

The rheologic characterization of couple (farine+son of rye) made by the alvéographe Chopin showed that he(it) ya a conversely proportional of the rheologic parameters (W, P / L and G) in touch with the addition(bill) of the sound of rye has the flour.

The tests of bread-making of the couples (farine+son of rye) gave breads of color, smell and gout different in that of witness(baton) and various specific volumes and alvéolisation of crumb.

The organoleptic analysis of the bread (farine+son of rye) we show a proportional relation for the smell and the gout but on the other hand we note a conversely proportional for the color and the texture.

**Key words:** Rye - Dietary fiber – Incorporation – Bran – Bread- Rheologic

الهدف من هذه الدراسة هو تثمين الألياف الغذائية المحتواة ضمن الغلاف الخارجي للحبوب و التي تعرف باسم " النخالة ". هذه الأخيرة تلعب دورا هاما في وقاية و علاج عدة أمراض.

محتوى دراستنا هذه اقتصر على معرفة بدقة عبر تحاليل مخبريه الخصائص الفيزيوكيميائية لنخالة الشيلم.

كما عمدنا إلى إضافة الألياف الغذائية لهذا النوع من الحبوب إلى مادة غذائية صحية تستهلك عند إتباع حمية غذائية معينة و التي تتمثل في خبز غني بالنخالة بنسبة 15 %، 20%، 25% و 30% و مقارنته بشاهد (خبز 100 % طحين).

وأظهرت الدراسة أن هناك التناسب العكسي من المعلمات الريولوجية (G و P / L ،W) للخبز الغني بالنخالة بنسبة 15 %، 20%، 25% و 30% مقارنته بشاهد (خبز 100 % طحين) ..

اظهرت نتائج التحاليل الفيزيوكيميائية أن نخالة الشيلم تحتوي على كمية معتبرة من مادتي دهن و النشاء كما تبين أنها جيدة من حيث النوعية.

المنتج النهائي يظهر مقبولية جيدة لدى المتذوقين. (الطعم , الرائحة , اللون والملمس)

**الكلمات الدالة : الشيلم - الألياف الغذائية - إضافة النخالة - الخبز.**

# Sommaire

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
Introduction	1
<b>Partie I : Etude bibliographique</b>	
<b>Chapitre I : Généralité sur le seigle</b>	
I. 1. Définition	3
I. 2. Culture et aspect botanique	3
I. 3. Morphologie et structure de grain du seigle	3
I. 4. Composition biochimique de seigle	5
I. 4. 1. Les glucides	6
I. 4. 2. Les protéines	6
I. 4. 3. Le gluten	7
I. 4. 4. Les lipides	7
I. 4. 5. Les sels minéraux	7
I. 4. 6. Les vitamines	7
I. 4. 7. Les fibres	8
I. 4. 8. Les phyto-œstrogènes	8
I. 4. 9. Les antioxydants	8
I. 5. Valeur nutritive	9
<b>Chapitre II : Les fibres alimentaires</b>	
II. 1. Définition	10
II. 2. Place des fibres alimentaires dans l'alimentation humaine	10
II. 3. Composition chimique des fibres alimentaires	11
II. 3. 1. La cellulose	11
II. 3. 2. Les hémicelluloses	12
II. 3. 3. La lignine	12
II. 3. 4. La pectine	12
II. 3. 5. Les $\beta$ - glucanes	13
II. 4. Propriétés physico-chimiques des fibres alimentaires	13
II. 4. 1. Solubilité	13
II. 4. 2. Pouvoir d'absorption et de rétention d'eau	14
II. 4. 3. Viscosité et pouvoir gélifiant	14
II. 5. Teneurs en fibres alimentaires des céréales et produits dérivés	14
II. 6. Ingestion des fibres alimentaires de seigle et d'autres céréales et relation avec de grandes pathologies	16
II. 6. 1. Troubles gastro-intestinaux	16
II. 6. 2. Métabolisme glucidique et lipidique	16
<b>Partie II : Etude expérimentale</b>	
<b>Chapitre I : Matériel et méthodes</b>	
I. 1. Matériel d'études	18
I. 1. 1. Obtention du son de seigle	18
I. 1. 1.1. Préparation des échantillons	18

I. 1. 1.2. Nettoyage .....	18
I .1.1.3. Conditionnement .....	19
I .1. 1.4. Mouture expérimentale .....	19
I. 1. 1.5. Prélèvement des échantillons .....	20
I.2. Méthodes d'analyses .....	20
I. 2.1. Analyses physico-chimiques .....	20
I. 2. 1.1. Dosage de l'humidité .....	20
I. 2. 1. Teneur en cendres .....	21
I. 2. 1. 3. Dosage de la matière grasse .....	23
I. 2. 1.4. Dosage de l'amidon .....	24
I. 2. 1.5. Dosage de la cellulose brute .....	25
I. 2.2. Propriétés rhéologiques des pâtes boulangères .....	25
I. 2.3. Test de panification .....	27
I. 2.4. Mesure des volume spécifiques des pains .....	32
I. 2.5. Analyse de l'aspect et la structure alvéolaire de la mie .....	33
I. 2.6. Analyses organoleptiques .....	33

## **Chapitre II : Résultats et discussion**

II. 1. Bilan de la première transformation du seigle .....	34
II. 2. Caractéristiques physico-chimiques du son de seigle .....	35
II.2. 1. L'humidité .....	35
II. 2. 2. Teneur en cendres .....	36
II. 2. 3. Dosage de la matière grasse .....	36
II. 2. 4. Dosage de l'amidon .....	37
II. 2. 5. Dosage de la cellulose brute .....	37
II.3. Résultat de l'alvéographe Chopin .....	38
II.3.1. Le gonflement « G » .....	38
II.3.2. Le rapport de configuration « P/L » .....	39
II.3.3. La force boulangère « W » .....	42
II. 4. Résultats du test de panification .....	42
II .5. Résultat du volume spécifique du pain .....	49
II. 6. Résultats des analyses organoleptiques .....	

50

Conclusion générale .....	57
---------------------------	----

Références bibliographiques

Annexes

*Liste des tableaux*

<b>Tableau I :</b> Composition biochimique des grains de céréales (%) .....	5
<b>Tableau II :</b> Teneur en fibres alimentaires des aliments (pour 100g d'aliment) .....	15
<b>Tableau III :</b> La formulation des ingrédients suivis dans la panification.....	29
<b>Tableau IV :</b> Formulation de pain témoin et des pains à des différents taux d'incorporation de son du seigle .....	29
<b>Tableau V :</b> Diagramme de fabrication pour l'essai de panification par la méthode BIPEA.....	30
<b>Tableau VI :</b> Bilan de la mouture de seigle.....	34
<b>Tableau VII :</b> Résultats d'analyses rhéologiques.....	38
<b>Tableau VIII:</b> Notes obtenues au cours de la panification par le test BIPEA.....	43
<b>Tableau IX:</b> Résultats de l'analyse organoleptique du pain (A).....	51
<b>Tableau X :</b> Résultats de l'analyse organoleptique du pain (B).....	52
<b>Tableau XI:</b> Résultats de l'analyse organoleptique du pain (C).....	53
<b>Tableau XII:</b> Résultats de l'analyse organoleptique du pain (D).....	54
<b>Tableau XIII :</b> Résultats de l'analyse organoleptique du pain (E).....	55

*Liste des figures*

<b>Figure 1</b> : La structure du grain des céréales .....	5
<b>Figure 2</b> : Structure moléculaire de la cellulose .....	11
<b>Figure 3</b> : Structure moléculaire de la lignine .....	12
<b>Figure 4</b> : Grain de seigle variété RC9 (originale) .....	18
<b>Figure 5</b> : Moulin expérimental « CHOPIN » .....	20
<b>Figure 6</b> : Alvéographe de Chopin .....	25
<b>Figure 7</b> : Alvéogramme de pâte de blé tendre sur l'Alvéographe Chopin (DEL FRATE 2005).....	27
<b>Figure 8</b> : Son de seigle (originale).....	34
<b>Figure 9</b> : Composition biochimique du son de seigle exprimé en %.....	35
<b>Figure 10</b> : Alvéogramme de la farine (A).....	39
<b>Figure 11</b> : Alvéogramme de la farine (B).....	40
<b>Figure 12</b> : Alvéogramme de la farine (C).....	40
<b>Figure 13</b> : Alvéogramme de la farine (D).....	41
<b>Figure 14</b> : Alvéogramme de la farine (E).....	41
<b>Figure 15</b> : La pâte (A) en fermentation .....	44
<b>Figure 16</b> : Pain (A) après cuisson.....	44
<b>Figure 17</b> : La pâte (B) en fermentation .....	44

## LISTE DES FIGURES

---

<b>Figure 18 :</b> Pain (B) après cuisson .....	44
<b>Figure 19 :</b> La pâte (C) en fermentation .....	45
<b>Figure 20:</b> Pain (C) après cuisson .....	45
<b>Figure 21 :</b> Pain (D) après cuisson .....	45
<b>Figure 22:</b> Pain (E) après cuisson .....	45
<b>Figure 23 :</b> La pâte (D) en fermentation .....	46
<b>Figure 24:</b> La pâte (E) en fermentation .....	46
<b>Figure 25a :</b> Aspect de la mie du pain (D).....	47
<b>Figure 25b :</b> Structure alvéolaire de la mie (D) .....	47
<b>Figure 26a :</b> Aspect de la mie du pain (E).....	47
<b>Figure 26b :</b> Structure alvéolaire de la mie (E).....	47
<b>Figure 27a :</b> Aspect de la mie du pain (A).....	48
<b>Figure 27b :</b> Structure alvéolaire de la mie (A).....	48
<b>Figure 28a :</b> Aspect de la mie du pain (B).....	48
<b>Figure 28b :</b> Structure alvéolaire de la mie (B).....	48
<b>Figure 29a :</b> Aspect de la mie du pain (C).....	48
<b>Figure 29b:</b> Structure alvéolaire de la mie (C).....	48
<b>Figure 30 :</b> Représentation des volumes spécifiques ( $V_{sp}$ ) des pains à différents taux d'incorporation de son de seigle.....	50

## *Introduction générale*

De nos jours, un retour au « naturel » et une préférence « santé » sont observés dans les habitudes de consommation de la population. Les consommateurs cherchent de plus en plus des aliments faits à partir d'ingrédients qui apportent des bénéfices pour la santé. Les céréales sont des constituants importants d'une multitude d'aliments que l'on retrouve sur le marché (pain, céréales, biscuits, gâteaux, etc.).

Le seigle est parmi les céréales reconnues pour ses qualités nutritives et gustatives. Les pains de seigle entier sont généralement peu volumineux et leur texture est plus grossière qu'un pain fait à partir de farine de blé raffinée (blanche) (Moore, 1999).

La connaissance de l'effet de la composition du son sur la rhéologie de la pâte pourrait permettre de mieux comprendre la performance de certaines variétés de céréales comme le seigle lors de la fabrication des pains.

Les pains de blé entier sont aujourd'hui très populaires (environ 80% dans marché algérien) et il faut maintenant mieux connaître l'effet du son sur leur qualité : comme l'effet de son de seigle (De Kock *et al.*, 1999).

Les fibres alimentaires représentent près de 50 % de la composition du son de seigle (Mongeau et Brassard, 1993). Les fibres seraient des composés importants pouvant jouer un rôle dans la fabrication boulangère.

Ces composés préviennent plusieurs problèmes de santé telle la constipation, l'appendicite, le diabète, le cancer du gros intestin.

L'objectif de notre étude se résume comme suit :

- Une analyse physico-chimique du son de seigle, par la détermination de leurs propriétés physico-chimiques suivantes : l'humidité, teneur en cendres, dosage de la matière grasse, dosage de l'amidon et dosage de la cellulose brute ;

## **INTRODUCTION**

---

- Un test de la rhéologie de la pâte à différents taux d'incorporation (15, 20, 25 et 30 %) du son de seigle et les comparer au témoin ;
- Un essai de panification qui résume la valeur boulangère de chaque type de pain testé.
- La mesure du volume spécifique de chaque pain à différents taux d'incorporation ;
- La caractérisation organoleptique de chaque pain après la cuisson.

## Chapitre I : Généralité sur le seigle.

### I. 1. Définition :

Le seigle, (*Secale cereale*) est une plante annuelle appartenant à la famille des poacées (graminées), il fait partie des céréales à paille.

C'est la deuxième céréale servant à la production de pain juste après le blé. Elle possède également une valeur fourragère ; exploitée pour faire de la paille et du foin. Les purées de seigle broyé sont utilisées pour fabriquer du whisky de seigle (Bushuk, 2001).

### I. 2. Culture et aspect botanique :

Le seigle est bien adapté aux régions pauvres et froides à terres acides (supporte un sol à un pH voisin de 5.5, la plante peut être définie par les caractères suivants :

**a. Appareil racinaire :** il est comparable à celui du blé un peu plus chevelu et développé, ce qui lui permet comme à l'avoine de tirer parti de terres médiocres.

**b. Tige et feuilles :** la tige est très longue (60 à 200 cm), creux, riches en cellulose et très souples, les feuilles sont très étroites et pointues.

**c. L'épi :** l'inflorescence est constituée d'un long épi, de structure semblable à celui du blé, plus court, toujours barbu, il est formé d'épillets, chaque épillet comporté 3 fleurs, dont la médiane est stérile et qui ne porte donc que deux graines (Prats et *al*, 1970., Simon et *al*, 1989).

### I. 3. Morphologie et structure du grain du seigle :

Le grain de seigle est plus léger et plus long et élancé que le grain de froment. Il pèse environ 20 mg, et fait de 4.5 à 10 mm de long, quant à la largeur, elle varie entre 1.5 et 3.5mm (Bushuk, 2001).

Sa couleur varie entre le brun, le brun-gris et le vert, son extrémité est poilue et sa section est de forme triangulaire (Simon et *al*, 1989).

La structure du grain de toutes les céréales est assez semblable, il est constitué de

l'enveloppe, l'albumen amylicé (amande farineuse) et le germe (Figure 1).

Le grain de seigle comprend les parties suivantes :

**a. Les enveloppes :**

Les enveloppes représentent 10 à 15 % du grain, comprennent à la fois celles du fruit en périphérie et celles de la graine liées aux premières :

- Le tégument du fruit (péricarpe), comprend l'épicarpe, le mésocarpe et l'endocarpe.
- Le tégument de la graine, comprend le tégument séminal (testa) et la bande hyaline.
- La couche à aleurone qui se caractérise par sa teneur élevée en protéines.

Cette carapace externe du grain, riche en éléments nutritifs, n'est que faiblement incorporée aux farines blanches : elle forme le « son ».

**b. L'endosperme:**

L'endosperme (80 à 85% du grain) se présente sous forme de cellules contenant des granules d'amidon autour desquels apparaissent des matrices protéiques. C'est la fraction qui sera réduite en farine.

**c. Le Germe:**

Le germe représente 2 à 3% du grain, comprend l'embryon et constitue une source très importante de protéines, de vitamines et de lipides (Aman, 1997., Bushuk, 2001., Jeantet et al, 2007).

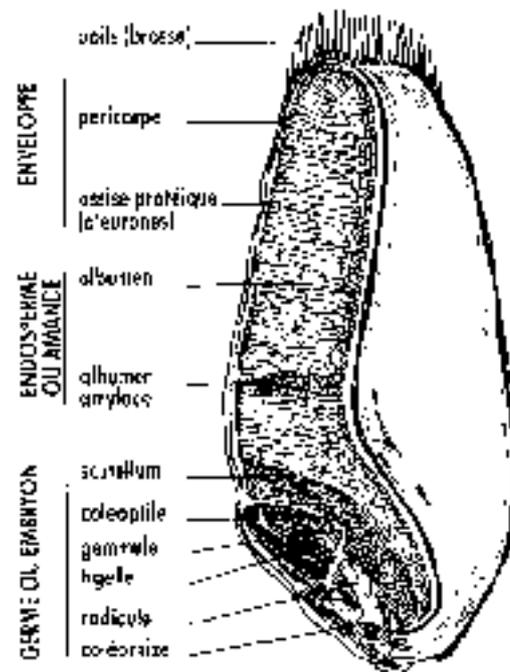


Figure 1 : La structure du grain des céréales.

**I. 4. Composition biochimique du seigle :**

Les grains des céréales ont des compositions voisines ; classés dans les produits amyloés, ils se caractérisent par leur richesse en amidon, des taux de protéines moyens et des faibles teneurs en lipides, le tableau -I- résume la composition biochimique du grain de seigle et d'autres céréales.

**Tableau I :** Composition biochimique des grains de céréales (%).

Espèce	Eau	Amidon et petits glucides	protéines	Lipides	Fibres	Minéraux (taux de cendres)
<b>Avoine</b>	13-15	50-54	12-13	5,0-6,0	14-15	2,5-3,0
<b>Blé tendre</b>	13-15	64-68	10-12	1,7-1,9	5,0-5,5	1,7-1,9
<b>Orge</b>	13-15	57-63	10-11	2,0-2,5	10-11	2.5-2,7
<b>Seigle</b>	13-15	62-66	9-11	1,7-1,8	7-8	1,9-2,1

(Jeantet et al, 2007)

En comparant le grain de blé à celui du seigle, ce dernier renferme des proportions en amidon et en protéines inférieures à celles retrouvées dans le blé, contrairement aux teneurs en sucre et en fibres alimentaires qui sont plus élevés chez le seigle (Aman et al, 1997).

#### **I. 4. 1 Les glucides :**

Les glucides représentent environ 80% de la matière sèche des graines et sont constitués essentiellement d'amidon qui se présente sous forme de granules, il existe deux types:

- Des granules larges, lenticulaires de 35µm de diamètre.
- Des granules petits, sphériques de 10 µm de diamètre.

L'amidon du seigle constitue près de 68% de la farine totale. Il gélatinise à une température plus basse (56°C) que celle du blé (60°C) et apparaît aussi moins résistant à l'attaque enzymatique (Kouidri, 1996 et Bushuk, 2001).

Parmi les sucres simples, ce sont les fructo-oligosaccharides et le saccharose qui prédominent avec des pourcentages de 2.7% et 2.9% (Aman et al, 1997).

#### **I. 4. 2. Les protéines :**

La couche à aleurone du grain de seigle constitue la fraction la plus riche en protéines suivie de l'amande, le germe puis le péricarpe.

Les protéines de seigle sont multiples et complexes certaines d'entre elles sont solubles dans l'eau ou dans les solutions salines, il s'agit principalement de l'albumine et la globuline qui se concentrent dans la périphérie de la graine. D'autres telles que la gluténine et la sécaline, sont insolubles dans l'eau s'associent en milieu hydraté pour former le gluten, elles se trouvent principalement dans l'albumen du grain (Kouidri, 1996., Jeantet et al, 2007).

Contrairement aux autres céréales, le seigle contient une quantité considérable en lysine, cela fait du tryptophane le facteur limitant de la farine de seigle (Bushuk, 2001).

### **I. 4. 3. Le gluten :**

Le gluten constitue l'ensemble des protéines de l'amande des céréales, composé de glutéline et de prolamine (deux familles des protéines du monde végétal). Sa valeur nutritionnelle est toujours faible en raison des déséquilibres en acides aminés des prolamines (Adrian et *al*, 2003).

Ce complexe protéique élastique, reste après l'extraction de l'amidon du blé et d'autres céréales comme l'orge, le seigle et l'avoine, l'agglutination de ces protéines confère à la pâte ses propriétés visqueuses et élastiques : elle peut alors s'étendre pour former une membrane capable de retenir les gaz de fermentation lors de la panification (Ivarsson, 2005., Jeantet et *al*, 2007).

Le pourcentage en protéines formatrices de gluten dans le seigle est nettement moins élevé que celui du froment (Anonyme, 2006).

L'intolérance au gluten pour le blé se porte plus spécifiquement sur une fraction du gluten : la gliadine. Dans le cas de l'orge, l'intolérance concerne l'hordéine. Pour le seigle c'est la sécaline qui est toxique (Bontems et *al*, 2000).

### **I. 4. 4. Les lipides :**

La teneur en lipides du grain de seigle varie entre 2 et 3,5%. Ce sont surtout les lipides de réserve localisés dans la couche à aleurone et dans le germe. Environ 50% des lipides du seigle sont composés d'acide linoléique (Kouidri, 1996).

### **I. 4. 5. Les sels minéraux :**

La fraction minérale varie entre 2 et 3% de la matière sèche, le phosphore, le potassium, le magnésium et le calcium sont les principaux éléments, on retrouve également le fer, le manganèse, le cuivre, le fluor, le zinc et le sélénium (Bushuk, 2001).

### **I. 4. 6. Les vitamines :**

Le seigle constitue une bonne source de vitamines, elles se trouvent essentiellement au niveau du germe et la couche à aleurone, il s'agit principalement de l'acide nicotinique,

l'acide pantothénique, la thiamine, la pyridoxine, la riboflavine, et le tocophérol (Bushuk, 2001).

#### **I. 4. 7. Les fibres :**

Le contenu moyen en fibres de seigle est d'environ 16 g par 100 g de seigle. La majeure partie de ces fibres est composée d'arabinoxylanes (60 %), de celluloses (15 %) et de bêta-glucanes (9 %) (Leinonen et *al*, 2000).

Le seigle a des teneurs en arabinoxylanes et en bêta-glucanes plus élevées que celles du blé, les teneurs en cellulose et en lignine sont similaires dans les deux céréales (Aman et *al*, 1997).

#### **I. 4. 8. Les phyto-œstrogènes :**

On retrouve dans le seigle des lignanes végétales et des isoflavonoïdes, deux types de phyto-œstrogènes qui pourraient avoir des effets préventifs contre certains cancers (Adlercreutz, 2002).

Ils sont présents dans les végétaux sous forme de glycosides isoflavoniques inactifs, mais hydrolysables sous l'effet de la flore intestinale. Les aglycones libérés offrent une activité œstrogénique (Adrian et *al*, 2003).

#### **I. 4. 9. Les antioxydants :**

Les antioxydants sont des composés qui réduisent les dommages causés par les radicaux libres dans le corps. Ces derniers sont des molécules très réactives qui seraient impliquées dans l'apparition des maladies cardiovasculaires, de certains cancers et d'autres maladies liées au vieillissement (Anonyme, 2006).

**a. Les alkylrésorcinols :** les alkylrésorcinols sont des gras phénoliques (des molécules que les plantes produisent afin de se protéger contre les bactéries et les champignons) présents en grande quantité dans la couche externe du blé et du seigle, ils ont été reportés comme étant des antioxydants et auraient des activités anticancéreuses (Ross et Kamal-Eldin, 2003).

**b. Les acides phénoliques :** les acides phénoliques extraits du son de seigle pourraient agir de façon synergique pour contribuer aux effets antioxydants du seigle.

L'acide férulique est le principal acide phénolique du son de seigle. Il est reconnu pour avoir un potentiel antioxydant en empêchant l'oxydation du LDL-cholestérol parmi les acides phénoliques du seigle, c'est l'acide caféique qui a le plus grand pouvoir antioxydant. Il est suivi par l'acide sinapique qui serait aussi un antioxydant potentiel. Vient en dernier lieu l'acide coumarique qui aurait moins d'effet antioxydant que les trois autres (Andreasen *et al*, 2001).

**c. Les stérols :** le seigle contient aussi plusieurs classes de stérols dont des stérols combinés avec de l'acide férulique (St-Fer). Bien que les St-Fer soient la classe de stérols la moins abondante dans le grain entier de seigle, leur présence est importante parce qu'ils sont considérés comme étant de potentiels antioxydants (Lampi *et al*, 2004).

### **I. 5. Valeur nutritive :**

Le seigle procure de la force musculaire, de l'énergie et de l'endurance. Les substances nutritives essentielles du seigle et leurs composants (vitamines, enzymes, oligo-éléments) forment un complexe harmonieusement équilibré :

➤ Le bon rapport entre les vitamines du groupe B permet une assimilation optimale des substances nutritives. La vitamine B1, en particulier, constitue un facteur de sécurité dans l'assimilation des hydrates de carbone et enlève à ceux-ci le pouvoir de faire grossir.

➤ Les phosphatides (surtout la lécithine) et la phytostérine que contient le seigle, constituent des mécanismes de protection de la structure lipoïdique des cellules, des tissus et des organes.

➤ Si la teneur en grasse du seigle est relativement faible, ses graisses renferment par contre de nombreux éléments précieux dont les principaux sont des acides gras poly-insaturés du type de l'acide linoléique.

➤ Le seigle est un véritable accumulateur de minéral précieux, principalement le fer qui sert à régénérer le sang, et le fluor, qui est un élément important dans la formation de l'email des dents (la teneur en fluor du seigle est de dix fois supérieures à celle du pain blanc) (Anonyme, 2000).

## Chapitre II : Les fibres alimentaires

### II. 1. Définition :

Plusieurs définitions ont été proposées, les fibres alimentaires ont été définies comme des résidus de la paroi des cellules végétales non hydrolysés par les enzymes digestives de l'homme (Trowell, 1970., Trowell 1974).

Le terme fibres alimentaires désignait les glucides hétérogènes des parois végétales, tel que la cellulose, l'hémicellulose ou la pectine ayant la propriété d'être peu ou pas digérer dans l'intestin grêle mais étant susceptibles d'être dégradés par la flore microbienne du gros intestin (Remesy, 1994).

D'après Burton (2000), le terme de fibres alimentaires est utilisé pour décrire l'ensemble des résidus de la paroi végétale non hydrolysés par les enzymes digestives de l'homme et de certains animaux. Ils comprennent des polysaccharides non amylacés à savoir, la cellulose, l'hémicellulose, les  $\beta$ -glucanes, les pectines, mucilages et gommés plus une substance non polysaccharidique : la lignine.

### II. 2. Place des fibres alimentaires dans l'alimentation humaine :

L'alimentation courante comporte de nombreux produits pauvres en fibres à base de céréales raffinées (pain blanc, pâtes, Riz, etc.), ou dépourvus de fibres (produits d'origine animale, huiles, sucres, etc.) (Remesy, 1994).

Des études épidémiologiques indiquent que la consommation de grains serait reliée à un risque moindre de maladies cardiovasculaires et de diabète et même de certains cancers et d'obésité (Jacob et *al*, 2004., Williams et Campos, 2005).

La consommation de fibres est actuellement inférieure à la quantité recommandée de 35g par jour et par personne (Burton, 2000). L'arrivée des produits raffinés ainsi que la modification des habitudes alimentaires ont progressivement diminué leur apport (Arnink et Verstegen, 2007).

### II. 3. Composition chimique des fibres alimentaires :

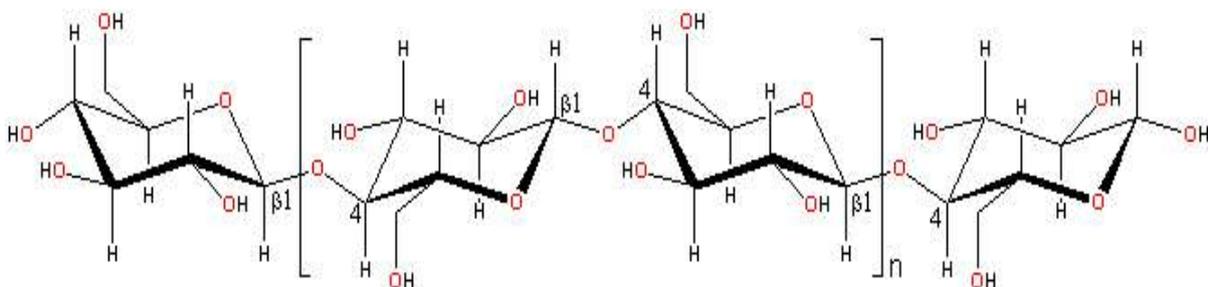
Les fibres alimentaires sont un groupe très hétérogène d'un point de vue chimique qui englobe une grande diversité de polymères glucidiques non hydrolysables dans l'intestin grêle et dont la nature est très variable:

Ce sont des polymères végétaux provenant des parois cellulaires des végétaux supérieurs (celluloses, hémicelluloses, pectines), des polymères cytoplasmiques de plantes terrestres et marines (gomme arabique, alginates, etc.), des polysides microbiologiques comme la gomme xanthane. Une fraction de l'amidon résistant à l'amylolyse. Enfin, la lignine qui constitue le composant le moins dégradé par la flore, même chez le ruminant (Adrian *et al*, 2003., Danièle *et al*, 2006).

#### II. 3. 1. La cellulose :

Il s'agit d'un homopolysaccharide linéaire, les monomères de D-glucose. Le degré de polymérisation peut aller de 500 à 15 000 unités /molécule qui sont unis par des liaisons O-glycosidiques.

La cellulose a des propriétés radicalement différentes de l'amidon, puisqu'en effet la molécule d'amylose est hélicoïdale, soluble dans l'eau et facilement hydrolysée par les enzymes, alors que la cellulose est plane, insoluble dans l'eau et difficilement hydrolysable. La cellulose est douée d'une grande inertie chimique : insoluble dans les solvants aqueux, elle possède tout de même un caractère hydrophile lui conférant des propriétés de rétention d'eau et de gonflement (Adam, 2002., Moussard, 2007). La figure 2 présente la structure moléculaire de la cellulose.



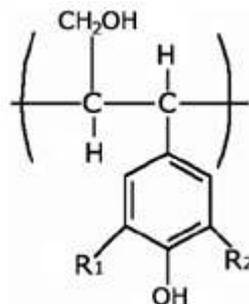
**Figure 2 :** Structure moléculaire de la cellulose (Tiré de Chaplin ; 2004).

### II. 3. 2. Les hémicelluloses :

Ce sont des polysaccharides complexes et très hétérogènes formés d'une chaîne principale constituée du même ou de différents oses et portant des chaînes latérales de composition osidique variée. Les oses constitutifs sont des pentoses (xylose, arabinose), des hexoses neutres (mannose, galactose, glucose) ou acides (acide galacturonique, glucuronique). La dénomination des hémicelluloses dépend du ou des oses constituant la chaîne principale. On parle ainsi de xylanes, mannanes, galactanes, arabinogalactanes ou glucanes (Brown et Saxena, 2000).

### II. 3. 3. La lignine :

La lignine est une substance polymérisée de nature non glucidique qui se dépose dans la paroi secondaire de certaines cellules végétales et renforce notablement leur solidité mécanique et osmotique en constituant une armature dense avec les fibres de cellulose. On la trouve donc dans tous les végétaux parvenus à maturité ou elle représente 25 à 30 % de la matière organique). Selon Carpita et Mccann (2000), Elle est formée par la polymérisation des dérivés de phénylpropane (figure 3).



**Figure 3 :** Structure moléculaire de la lignine (Tiré de Kuzmanovic 2004)

### II. 3. 4. La pectine :

Substance gélifiante présente dans de nombreux produits végétaux, principalement dans les pommes et les écorces d'agrumes. Elle est composée de polymères d'acide D-galacturonique avec des insertions de rhamnose et des branchements arabinogalactanes (Adrian *et al*, 2003).

Les acides galacturoniques sont liés en ( $\alpha 1 \rightarrow 4$ ). Cette chaîne forme l'acide polygalacturonique ou acide pectique (Bertrand, 2007).

### II. 3. 5. Les $\beta$ - glucanes :

Ce sont des polysaccharides linéaires constitués d'unités de D-glucofuranose liées par des liaisons ( $\beta 1 \rightarrow 3$ ) et ( $\beta 1 \rightarrow 4$ ). Le rapport entre les liaisons ( $\beta 1 \rightarrow 3$ ) et ( $\beta 1 \rightarrow 4$ ) est variable selon la nature des céréales (Antoine, 2003).

## II. 4. Propriétés physicochimiques des fibres alimentaires :

Les fibres ont des propriétés physico-chimiques caractéristiques à savoir : la solubilité, la viscosité, le pouvoir gélifiant, l'absorption, la rétention d'eau et le pouvoir fermentaire. Ces propriétés déterminent leur comportement physiologique qui exerce une influence sur le fonctionnement de l'appareil digestif (Danièle et *al*, 2006).

### II. 4. 1. Solubilité :

D'après Saettel (2000), les fibres sont divisées en deux catégories (solubles et insolubles) et la plupart des aliments riches en fibres apportent un mélange de ces deux catégories. Les fibres solubles (FS) regroupent la pectine, les gommes, les mucilages et certaines hémicelluloses telles que les  $\beta$  - glucanes. Les fibres insolubles (FI) regroupent la lignine, la cellulose et d'autres hémicelluloses (les arabinoxylanes).

Des études scientifiques ont mis en évidence le rôle bénéfique des fibres insolubles sur la régulation du transit intestinal et le rôle des fibres solubles pour la réduction du taux de cholestérol et du pic d'insuline (Galvin et *al*, 2001).

Les fibres solubles se dissolvent dans l'eau ainsi que dans le tractus intestinal. Elles y forment un gel en absorbant et se gonflant d'eau. Par contre les fibres insolubles ne se dissolvent pas dans l'eau et dans le liquide stomacal et intestinal. Cependant, elles ont un pouvoir d'absorber l'eau (Saettel, 2000., Confortini, 2001).

**II. 4. 2. Pouvoir d'absorption et de rétention d'eau :**

La capacité d'absorption d'eau (Water Binding Capacity) est reliée au pouvoir de gonflement des fibres, alors que la capacité de rétention d'eau fait plutôt référence à la conservation d'une quantité d'eau contre une force, les fibres solubles présentent le pouvoir de rétention d'eau le plus élevé (Mc Cleary, 2003).

**II. 4. 3. Viscosité et pouvoir gélifiant :**

Les fibres solubles absorbent une grande quantité d'eau et forment soit des solutions épaisses de viscosités importantes, comme les gommes ou l'hémicellulose de l'orge et de l'avoine, soit des gels comme les pectines de fruits et alginates des algues. De cette façon, elles ralentissent la vidange gastrique, elles procurent une satiété précoce et elles diminuent la vitesse d'absorption des glucides (et aussi des lipides) dans l'intestin grêle (Saettel, 2000).

**II. 5. Teneurs en fibres alimentaires des céréales et produits dérivés:**

Il apparaît que les aliments les plus riches en fibres alimentaires sont les céréales complètes et les légumes secs (légumineuses). A l'intérieur du grain de céréale, les fibres sont essentiellement présentes dans les couches périphériques qui constituent le son (environ 15% de la masse du grain).

Les teneurs en fibres alimentaires des farines sont donc directement corrélées au taux d'extraction lors du raffinage, c'est-à-dire la quantité des fractions les plus externes du grain utilisé. En outre les céréales représentent la seule classe d'aliments dont les teneurs en lignine, substances végétales peu dégradables, sont importantes (Lopez et al, 2007). Le tableau II représente la teneur en fibres alimentaires de certains aliments.

**Tableau II** : Teneur en fibres alimentaires des aliments (pour 100g d'aliment).

	<b>Catégories d'aliments</b>	<b>Teneur en fibres alimentaires pour 100g d'aliments</b>
<b>Produits Céréaliers</b>	Son	44.0
	Farine complète	9.5
	Pain complet	8.5
	Maïs en grain	5.7
	Pain blanc	2.7
	Riz blanc	2.4
	Farine de seigle	1.5
	Farine d'avoine	0.9
<b>Légumes secs</b>	Haricots secs	25.5
	Pois cassés	23.0
	Lentilles	12.0
	Pois chiches	2.0
<b>Fruits secs oléagineux</b>	Figues sèches	18.3
	Amandes	14.0
	dattes	8.7
	Cacahuètes	7.5
	Noix	5.0
	Olives	5.0
<b>Fruits frais</b> Les plus riches en fibres	Framboises	7.4
	Groseilles	6.8
	Poires (non épluchée)	2.4
	Pêches	2.3
	La plupart des fruits	0.5-2
<b>Légumes verts</b> Les plus riches en fibres	Epinards	6.0
	Petits pois	6.0
	Mâches	4.3
	Artichauts	4.2
	Pomme de terre	3.5
	La plupart des légumes	1.4- 4

(Hébuterne, 2002)

## **II. 6. Ingestion des fibres alimentaires de seigle et d'autres céréales et leurs relations avec de grandes pathologies :**

### **II. 6. 1. Troubles gastro-intestinaux :**

La consommation d'une quantité normale de pain à base de farine complète de seigle dans une alimentation équilibrée aurait des effets favorables sur la fonction intestinale (Grasten et *al*, 2000).

Les fibres pourraient aider à prévenir la constipation en augmentant la fréquence et la quantité de selles excrétées, en diminuant le temps de transit (de passage) intestinal et en rendant la défécation moins difficile (Hongisto et *al*, 2006).

La diverticulose colique se manifeste par un certain nombre de symptômes: constipation ou diarrhée, flatulences, mucus et sang dans les selles. Elle a pour origine une augmentation très importante de la pression dans le côlon. Or les fibres de l'alimentation par leur capacité d'hydratation ramollissent les matières et abaissent cette pression dite « intraluminale » (Danièle et *al*, 2006).

### **II. 6. 2. Métabolisme glucidique et lipidique:**

D'après plusieurs études, la consommation de produit céréalier contenant des grains de seigle diminue la réponse glycémique et insulinique (Laaksonen, 2005).

Des résultats révèlent que les besoins du corps en insuline sont plus faibles après la consommation de pain de seigle qu'après la consommation de pain blanc, ce qui serait bénéfique pour le contrôle du diabète. Les différences dans le contenu en fibres entre les pains blancs et celui de seigle pourraient expliquer ces résultats intéressants (Juntunen, 2003).

Les effets positifs des fibres du seigle sont nombreux, elles pourraient diminuer le taux de cholestérol en réduisant l'absorption des matières grasses (Pettersson, 1996).

Les hommes qui consommaient en moyenne 219 g de pain de seigle (huit à dix tranches par jour) ont vu leur LDL-cholestérol diminuer et leur concentration de

cholestérol sanguin total réduire de 8 %. Ces réductions dépendaient de la quantité de pain de seigle consommée par jour (Leinonen et *al*, 2000).

L'obésité Elle est définie comme étant l'hypertrophie du tissu adipeux sous-cutané qui correspond à un excès de poids de l'individu. Elle constitue la pathologie nutritionnelle la plus répandue dans les pays industrialisés (Kouidri, 1999 et Adrian et *al*, 2003).

Les fibres alimentaires procurent une sensation de satiété en retardant le retour à la fin (Burton, 2000). D'autres études montrent encore que le seigle facilite la perte de poids. En effet, (l'élimination des fibres de seigle de l'organisme nécessite une certaine consommation d'énergie qui favorise ainsi l'amaigrissement (Adlercreutz, 2002).

## Chapitre I : Matériel et méthodes.

Les analyses de notre étude expérimentale ont été réalisées au niveau du laboratoire physico-chimique et à la boulangerie de l'Institut Technique de Grande Culture (ITGC) d'El-Harrach.

### I. 1. Matériel d'études :

L'étude a porté sur une variété de seigle (RC9) qui nous a été fournie par la station ITGC, le choix s'est porté sur une céréale n'ayant pas subi de traitements chimiques (figure 4). Le matériel utilisé dans notre étude est résumé dans (Annexe 1).



Figure 4 : Grain de seigle variété (RC9) (originale).

#### I. 1. 1. Obtention du son de seigle :

##### I. 1. 1. 1. Préparation de l'échantillon :

D'après GODON(1991), les céréales utilisées pour la mouture sèche doivent être propres et convenablement hydratées pour donner un rendement maximal en farine. La préparation d'échantillon a été réalisée au niveau du laboratoire de physico-chimique, un nettoyage suivi d'un conditionnement a été d'abord effectué.

##### I. 1. 1. 2. Nettoyage :

Un nettoyage manuel à sec a été effectué dans le but d'éliminer les poussières, les déchets, ainsi que tous les grains suspectés afin d'éviter de contaminer le son ; objet de notre étude.

**I. 1. 1. 3. Conditionnement :**

Les grains des céréales une fois débarrassées de toutes les impuretés sont ramenés à une humidité comprise entre 16 et 18% selon leur dureté. Ceci afin de permettre une bonne séparation de l'amande farineuse des enveloppes lors de la mouture (GODON, 1991)

**I. 1. 1. 4. Mouture expérimentale :**

Les diagrammes classiques de mouture des céréales nécessitent des opérations de broyage et de réduction, qui sont suivies de blutage.

La mouture du seigle s'effectue de la même manière que celle du blé tendre, sur un moulin expérimental dit « CHOPIN». Elle est constituée de :

- 3 passages de broyage B1 (40+149), B2 (90+150) et B3 (70+150).
- 2 plansichters animés d'un mouvement oscillatoire pour le blutage.
- 3 passages de convertissage C1 (90+150), C2 (70+150), C3 (40+150).
- 1 ventilateur avec filtre pour aspirer les produits de chaque passage et qui seront transportés par un système pneumatique.
- 2 récepteurs pour remoulage et son (figure 5).

Il a été impératif de calculer le taux d'extraction qui détermine l'efficacité de la mouture, ce dernier est exprimé par la relation suivante :

$$\text{Taux d'extraction} = \frac{\text{Poids de farine obtenue}}{\text{Poids de seigle brut}} \times 100$$

Après la mouture, le son de seigle a été conservé dans un sac Kraft à une température de + 4°C pour permettre sa bonne conservation.



**Figure 5 :** Moulin expérimental « CHOPIN ».

#### **I. 1. 1. 5. Prélèvement des échantillons:**

Un prélèvement de 100g de son de seigle se réalise en utilisant une louche stérile dans un endroit proche du centre du sac de (1kg), la couche supérieure est écartée à l'aide d'un outil stérile.

L'échantillon est placé dans un récipient stérile et destiné à subir les différents examens physico-chimiques, test d'alvéographe et le test de panification de mélange farine et son de seigle à différents pourcentages.

#### **I.2. méthodes d'analyse :**

##### **I.2.1. Analyses physico-chimiques :**

##### **I. 2. 1.1. Dosage de l'humidité :** (Méthode internationale ISO-712, 1979).

La détermination de l'humidité conditionne la précision des résultats du fait qu'elle permet de rapporter les résultats par rapport à la matière sèche.

##### ➤ **Principe :**

La teneur en eau est déterminée après séchage du produit à une température comprise entre 130 et 133°C, pendant 1h30 à pression atmosphérique normale.

➤ **Mode opératoire :**

- Prise d'essai : peser 2g de l'échantillon pour essai et les verser dans la vase métallique,
- introduire la vase ouverte, contenant la prise d'essai, et le couvercle dans l'étuve pendant 2 heures,
- en opérant rapidement, retirer la vase de l'étuve, le couvrir et placer dans le dessiccateur,
- laisser refroidir la vase durant 30 minutes.

Effectuer au moins deux déterminations sur le même échantillon.

➤ **Expression des résultats :**

Les résultats s'expriment en pourcentage :

$$\text{Teneur en eau \%} = \frac{(m_0 - m_1)}{m_0} \times 100$$

Où:  $m_0$  : masse de la prise d'essai (en grammes).

$m_1$  : masse de la prise d'essai après étuvage (en grammes).

**I. 2. 1.2. Teneur en cendres:** (Norme AFNOR NF V 03-720,1981)

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.

➤ **Principe :**

Le principe repose sur l'incinération du produit dans une atmosphère oxydante à une température de 900°C (céréales et produits de mouture) jusqu'à combustion complète de la matière organique durant 1h15 min à 2 heures. La teneur en cendres est déterminée par la pesée du résidu.

➤ **Mode opératoire :**

❖ Préparation des nacelles a incinération :

Chauffer durant 10 minutes les nacelles dans le four réglé a 900 C° .laissait refroidir a température ambiante dans le dessiccateur et les peser a 0,1 mg.

❖ prise d'essai :

Dans la nacelle à incinération prépare comme indiqué précédemment. Peser 2 mg de l'échantillon.

❖ Prés incinération :

La porte du four étant ouverte, placer la nacelle et son contenu a l'entrée du four préalablement chauffé à 900 C°, jusqu'à ce que la matière s'enflamme.

❖ Incinération :

Aussitôt que la flamme est éteinte, placer avec précaution la nacelle à l'incinération dans le four, en général le temps d'incinération est de l'ordre de 1h a 1h30 minutes.

Une fois l'incinération terminée, retirer les nacelles du four, et les mettre à refroidir sur la plaque unie thermorésistante pendant une minute, puis dans le dessiccateur jusqu'à la température ambiante, la peser alors rapidement.

➤ **Expression des résultats :**

Les résultats sont exprimés à 0,01% près et rapportés à la matière sèche.

$$\text{Teneur en cendres \%} = m_1 \times \frac{100}{m_0} \times \frac{100}{100-H}$$

Où:

$m_0$  : masse de la prise d'essai (en grammes).

$m_1$  : masse du résidu (en grammes).

H : teneur en eau de l'échantillon (en pour-cent).

### I. 2. 1.3. Dosage de la matière grasse: (Norme NF V 03-713, 1980)

#### ➤ Principe et mode opératoire :

Le principe consiste à extraire les lipides libres par un solvant organique apolaire tel que l'hexane à la température du laboratoire pendant une durée de 3 heures dans un soxhlet. L'épuisement de l'échantillon est terminé au bout de trois heures et le solvant contenu dans le ballon préalablement taré est distillé à l'aide d'un évaporateur rotatif sous vide. La différence du poids constitue la matière grasse.

#### ➤ Expression des résultats :

La teneur en matières grasses totales, exprimée en masse du produit tel qu'elle est égale à :

$$S = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100$$

Où :

$m_0$  : est la masse, en grammes, de la prise d'essai.,

$m_1$ : est la masse, en grammes, du ballon.

$m_2$ : est la masse, en grammes, du ballon et du résidu.

**I. 2. 1.4. Dosage de l'amidon :** (Méthode polarimétrique d'EWERS, 1965)**➤ Principe et mode opératoire :**

Le principe consiste à disperser l'amidon de l'échantillon à chaud par l'acide chlorhydrique dilué après défécation et filtration, le pouvoir rotatoire de la solution est mesuré par polarimétrie. Le même traitement est effectué sur l'extrait éthanolique à 40 % de l'échantillon, extraction qui a pour but d'éliminer les glucides solubles susceptibles d'interférer en polarimétrie. La différence obtenue entre les deux mesures polarimétriques multipliées par un facteur spécifique à l'origine de l'amidon conduit à la teneur en amidon de l'échantillon.

**➤ Expression des résultats :**

La teneur en amidon pour 100g d'échantillon est calculée comme suit :

$$\% \text{ d'amidon} = 200 (P - P') / [a]_D^{20}$$

Avec :

P : Pouvoir rotatoire total en degrés d'arc.

P' : Pouvoir rotatoire en degrés d'arc donné par les substances dans l'éthanol à 40 %.

$[a]_D^{20}$  = Pouvoir rotatoire spécifique de l'amidon pur.

+184,6° : Amidon de maïs.

+182,7° : Amidon de blé.

+181,5° : Amidon d'orge.

+ 181,3° : Amidon d'avoine.

**I. 2. 1.5. Dosage de la cellulose brute:** (Norme NF V-03-040,1977).

L'échantillon est soumis à deux hydrolyses (30min chacune) en milieu acide et alcalin. Après neutralisation, le résidu insoluble est lavé, séché à poids constant à 105°C. Le produit obtenu est incinéré dans un four à moufle à 600°C et pesé. La différence entre les deux pesées représente la matière cellulosique brute.

**I. 2.2. Propriétés rhéologiques des pâtes boulangères:** (norme NF ISO 5530-4)**➤ Principe**

C'est un moyen d'évaluation de la valeur boulangère des pâtes destinées à la panification et de mesurer leurs force et élasticité à travers leur expansion sous forme d'une bulle par insufflation d'air sous une pression donnée. Ceci est réalisé par l'alvéographe de Chopin (figure 6).



**Figure 6 :** Alvéographe Chopin (Photo originales).

➤ **Choix des pâtes à tester**

La caractérisation des propriétés rhéologiques s'est faite sur cinq types de pâtes :

1. Sur la pâte du témoin (farine blanche) nommé (A). Dans ce travail, ce dernier est considéré comme la référence qui devrait présenter les meilleures caractéristiques alvéographiques (G, W et P/L).

2. Sur la pâte contenant 85% de farine et 15 % de son de seigle nommée (B).

3. Sur la pâte contenant 80% de farine et 20% de son de seigle nommée (C).

4. Sur la pâte contenant 75% de farine et 25% de son de seigle nommée (D).

5. Sur la pâte contenant 70% de farine et 30% de son de seigle nommée (E).

➤ **Mode opératoire**

Les pâtes destinées aux mesures à l'alvéographe Chopin ont été préparées sans ajout de levure, chaque éprouvette de pâte est testée individuellement. L'alvéographe Chopin utilisé à un insuffle de l'air sous une certaine pression à l'intérieur de la pâte. Celle-ci s'expansé en bulle.

Le temps d'expansion et de résistance à la rupture de cette dernière varie d'un échantillon à un autre. La pression à l'intérieur de la bulle de pâte est enregistrée comme une courbe sur un support en papier. Une courbe moyenne est tracée à partir des enregistrements des 5 pâtons.

➤ **Expression des résultats :**

La lecture de l'alvéogramme des pâtes (Figure 7) se fait à travers les paramètres suivants (NAEGA 2005) :

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

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

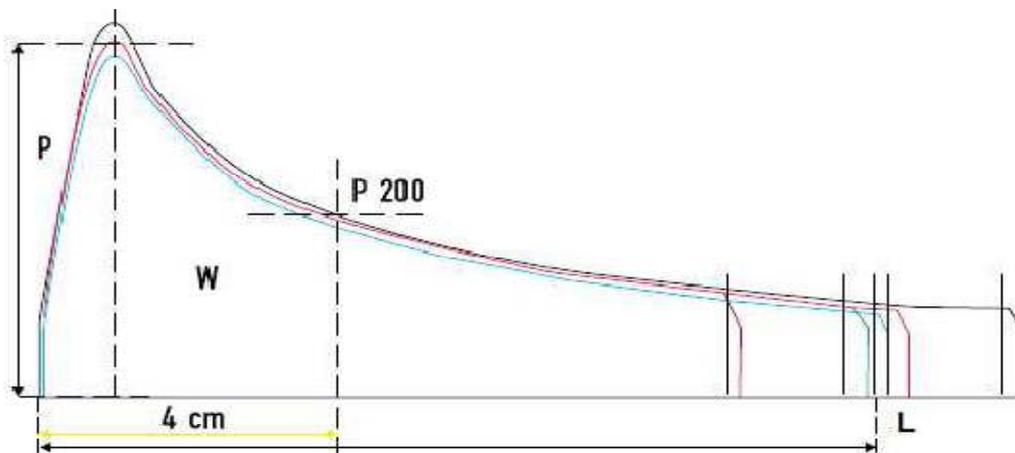
Cette grandeur exprime la force boulangère de la pâte.

Le "**P**" : correspond à la pression maximale d'air insufflé nécessaire à la déformation et donc à l'obtention de la bulle de pâte. Il exprime la ténacité de celle-ci et est donné en mm sur l'axe des ordonnées de l'alvéogramme.

Le "**L**" : Ce paramètre correspond à l'extensibilité de la pâte depuis le début du gonflement jusqu'à éclatement de la bulle. Il est donné en mm sur l'axe des abscisses de l'alvéogramme.

Le "**G**" : c'est la moyenne des indices de gonflement lus sur l'abaque de gonflement correspondant aux abscisses de rupture. Cette valeur est la racine carrée du volume d'air nécessaire pour développer la bulle jusqu'à rupture.

Le "**P/L**" : Ce rapport appelé "rapport de configuration de la courbe" où "rapport de ténacité au gonflement", représente l'équilibre entre la ténacité et l'extensibilité de la pâte.



**Figure 7** : Alvéogramme de pâte de blé tendre sur l'Alvéographe Chopin (DEL FRATE 2005).

### I. 2.3. Test de panification : (Norme AFNOR V03-716)

Le pain est le produit résultant de la cuisson de la pâte faite avec un mélange de farine, de levure, d'eau potable et de sel (ROUSSEL et CHIRON 2002).

Le processus de panification passe essentiellement par trois étapes : le pétrissage, la fermentation et la cuisson. Le pétrissage permet le mouillage des ingrédients, le

développement de la structure de la pâte l'introduction de l'air sous forme de micro nucléosphériques (JUNGE et HOSNEY 1981 ; BLOKSMA 1990b). Alors que la fermentation assure l'expansion gazeuse, la pâte passe de l'état liquide à l'état solide au cours de la cuisson (DAVIES, 1986).

La norme expérimentale AFNOR V03-716 sortie en 1982 et le résultat concret du travail de la commission Bipea.les principales modifications apportées ont été l'appréciation de la tolérance des pâtes à l'apprêt et la mise au four en procédant pour pâtons de même origine à deux enfournements différents. La norme définit aussi des termes de vocabulaire pour l'appréciation des caractéristiques des pâtes et des pains.

➤ **Protocole de test de panification BIPEA :** (norme AFNOR V03-716).

Une méthode directe d'appréciation de la valeur boulangère d'une farine (aptitude d'une farine à être plus ou moins panifiable), est l'essai de panification.

Celle-ci est appréciée pour le pain par la méthodologie dite «BIPEA», normalisée sous la norme AFNOR V03-716. Le but de l'utilisation de cette méthode est, à travers l'étude du comportement rhéologique de pâtes à pain, de définir des indicateurs quantitatifs permettant de comparer les différentes farines biologiques entre elles et ainsi leur texture finale de pain liée au comportement de la pâte. En effet, les seules évaluations de la texture du pain, utilisées aujourd'hui par les boulangers sont obtenues lors de l'évaluation par la méthode BIPEA (norme AFNOR V03-716 ; ROUSSEL CHIRON, 2002). Le test BIPEA consiste en une notation de la pâte, de l'aspect du pain et de l'aspect de la mie. Ce test est donc relativement empirique et assez subjectif malgré des critères bien définis.

➤ **La formulation des ingrédients durant la panification :** (selon le diagramme de panification française V03-716).

Les farines sont panifiées selon la formulation décrite dans le tableau suivant (tableau III).

**Tableau III** : la formulation des ingrédients suivis dans la panification.

Ingrédients	Farine (g)	Sel(%)	Levure (%)	Eau (%)
Taux	1800	2,2	2,5	61 à 70

Le pourcentage d'eau à incorporer dans la farine sera décidé par le boulanger selon les valeurs obtenues à l'alvéographe (en particulier la valeur de P).

➤ **Préparation des échantillons des pains testés :**

Selon Burton (2000), la consommation de fibres est actuellement recommandée de 35g par jour et par personne c'est pour cela nous avons opté pour les pourcentages suivants (tableau IV).

**Tableau IV** : formulation de pain témoin et des pains à des différents taux d'incorporation de son de seigle.

Ingrédients %		Farine blanche	Son de seigle	Sel	Levure boulangère	Eau
Taux (%)	Pain A	100	0	2,2	2,5	64
	Pain B	85	15	2,2	2,5	65
	Pain C	80	20	2,2	2,5	65,5
	Pain D	75	25	2,2	2,5	66
	Pain E	70	30	2,2	2,5	67

La fabrication du pain s'opère en plusieurs étapes dont les critères sont définis par la méthode BIPEA (Tableau V).

**Tableau V** : Diagramme de fabrication pour l'essai de panification par la méthode BIPEA.

<b>Etapes de fabrication</b>	<b>Caractéristiques de Fabrication</b>	<b>Matériel utilisé</b>
Pétrissage	Pétrins :  Vitesse lente : 5 minutes  Vitesse rapide : 8 minutes  T°C pâte : 26°C	
Pointage	45 min à 27°C ± 2°C	Chambre de fermentation à 75% d'hygrométrie
Dévisage	Manuel, en pâtons de  - 350g ± 1g pour le pain  - 25g ± 1g pour le mesureur de pousse	
Boulage	Manuel	
Détente	Laisser les pâtons reposé 20 min à T° ambiante (20-22°C)	Chambre de fermentation
Façonnage	Manuel : longueur des pâtons 32cm ± 1cm	Façonneuse de boulangerie manuel
Apprêt	120 min à 27°C ± 2°C	
Mise au four	Scarification de 3 coups de lame.	Lame à scarification de boulanger.
Cuisson	25min à 260°C ± 10°C	Four à sole équipé d'un système de génération de vapeur d'eau

Les différentes étapes unitaires du protocole sont ensuite évaluées par une grille de notation (Annexe 2).

La notation par croix dans la grille permet de déterminer un profil qualité, correspondant à la dispersion des croix par rapport à la note 10 (caractère normal ou suffisant).

L'interprétation de cette grille est basée sur le principe suivant :

❖ Si la caractéristique jugée présente un défaut par excès, l'appréciation est notée dans la partie « excès » de la grille. Suivant l'intensité du défaut la case cochée sera :

- 7 si la caractéristique est jugée un peu excessive,
- 4 si la caractéristique est jugée excessive,
- 1 si la caractéristique est jugée très excessif.

❖ Si la caractéristique jugée présente un défaut en insuffisance, l'appréciation est notée dans la partie « insuffisance » de la grille.

Suivant l'intensité de défaut les notes 7, 4, et 1 pourront être attribuées pour les caractères un peu suffisant, insuffisant et très insuffisant.

Ce système de notation des observations proposé par P. Roussel (1989) dans le cadre du BIPEA est calqué sur les intensités de défaut qui sont souvent employées en boulangerie pour l'appréciation qualitative des pâtes et des pains. Il peut se rapprocher d'une base d'interprétation assez courante : 10 (bon), 7 (assez bon), 4 (médiocre), 1 (mauvais).

Si la grille permet de bien identifier les qualités et défauts aux différents stades de la fabrication, elle ne définit pas un niveau de qualité. La note globale où note de valeur boulangère sur 300 points est beaucoup plus facile à utiliser pour le classement, la sélection ou dans les contrats d'achat de blé.

Par un jeu de coefficients appliqués à chaque note individuelle de la grille, on détermine :

- une note de pâte exprimée sur 100 points.

Sont ainsi évaluées : la pâte au cours du pétrissage, au cours du façonnage, l'activité fermentative lors des deux temps de détente, et sa tenue à la mise au four.

- une note d'aspect extérieur de pain sur 100 points.

Cette note tient compte de la couleur du pain, de son épaisseur, du croustillant et du coup de lame.

- une note de mie sur 100 points.

Pour la mie, on teste sa texture, l'alvéolage, son odeur et sa couleur.

Le total sur 300 points exprime la valeur boulangère (ROUSSEL CHIRON 2002).

#### **I.2.4. Mesure des volumes spécifiques des pains : (GHERAIRIA N ,2007)**

##### **➤ Principe**

Le volume spécifique des pains ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) est mesuré indirectement par déplacement de grains solides sphériques de volume spécifique connu dans une éprouvette de volume connu.

##### **➤ Mode opératoire**

Prendre un récipient de volume plus grand que celui des pains et le remplir à ras avec des grains solides sphériques de volume spécifique connu ( $0,68 \text{ cm}^3/\text{g}$ ), de préférence de couleur noire pour assurer un maximum de contraste entre les pains, les mies et les grains sphériques. Déterminer le volume spécifique de ce récipient en pesant son contenu en grains dans une balance technique et en mesurant son volume. Pour la mesure en elle-même, on vide à moitié le récipient de son contenu en grains sphériques, on place notre pain et on verse dessus le reste du contenu en grains. Après arasement de la surface de la boîte de mesure, on récupère les grains sphériques débordants. Leur volume spécifique correspond à celui des pains.

➤ **Expression des résultats :**

Le volume spécifique des pains est exprimé par :

$$V_{sp} = V (\text{cm}^3) / M (\text{g})$$

Où :

$V_{sp}$  : Volume spécifique ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ).

$V$  : Volume du pain ( $\text{cm}^3$ ).

$M$  : Masse du pain (g).

### **I.2.5. analyse de l'aspect et la structure alvéolaire de la mie :**

Pour chaque type de pain (5 pains étudiés : A, B, C, D et E) ont été tranchés et dans chacune de ces tranches ont été prélevées des images dans la zone centrale. Les images des tranches ont été acquises avec l'œil nu.

### **I. 2.6. Analyse organoleptique: (Luquet et Corrieu, 2005).**

L'appréciation sensorielle est couramment utilisée pour le contrôle de la qualité et la mise au point de nouveaux produits alimentaires. Elle comprend l'examen visuel, olfactif et gustatif des produits alimentaires (Luquet et Corrieu, 2005).

L'essai sensoriel a permis de recueillir instantanément une impression détaillée, regroupant l'influence d'incorporation du son de seigle dans le pain diététique en tenant compte de ses interactions avec les autres constituants.

La dégustation a été réalisée au biais un groupe de sujets composée de 16 personnes, les caractères organoleptiques sont évalués séparément, chaque dégustateur donne son jugement séparément des autres et porte son avis sur une fiche de dégustation «Annexe 3». Seules les grandes classes sensorielles sont définies : couleur, texture, odeur et goût.

**Chapitre II : Résultats et discussion.**

En suivant les protocoles expérimentaux présentés en matériel et méthodes, nous avons analysé le son du seigle en déterminant ses caractéristiques physico-chimiques, son effet sur la rhéologie de la pâte et la panification du pain et ses caractéristiques organoleptiques.

**II. 1. Bilan de la première transformation du seigle:**

Le taux d'extraction obtenu lors de la mouture est indiqué dans le (tableau VI).

**Tableau VI :** Bilan de la mouture de seigle.

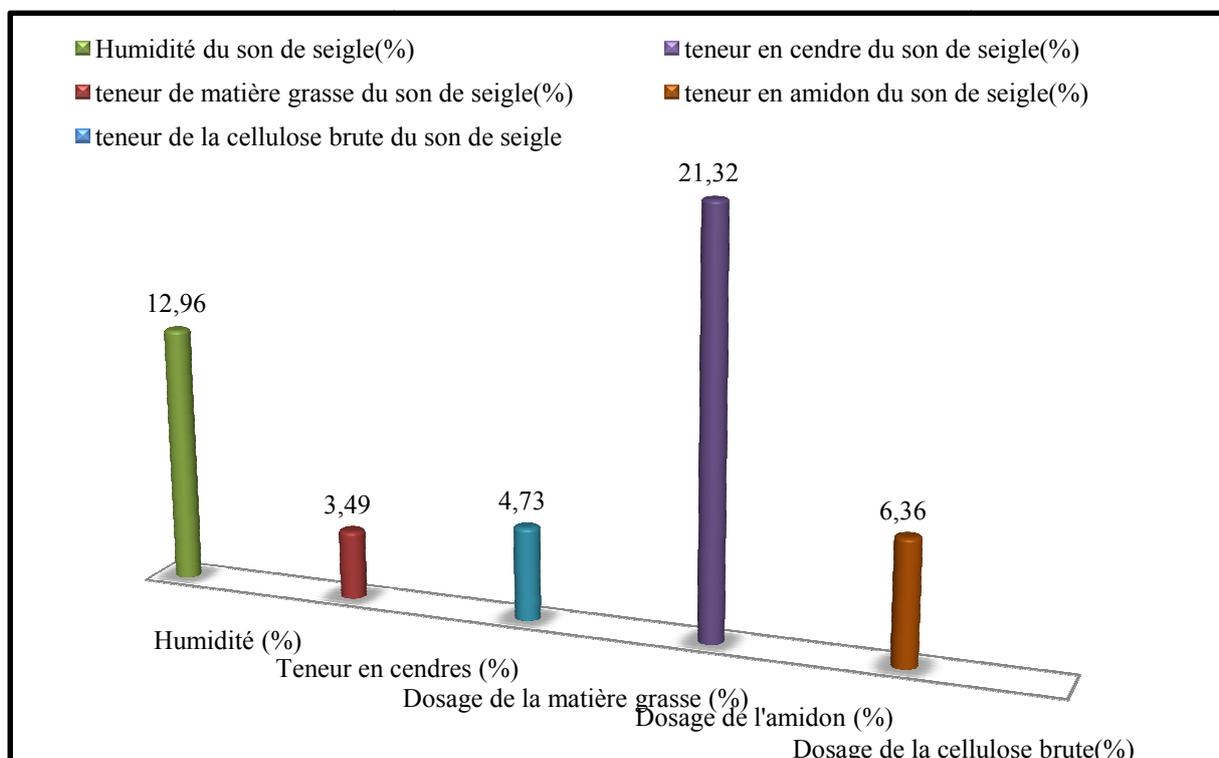
Seigle	Farine	Son	Remoulage	Perte
<b>Pourcentage (%)</b>	39.82	48.95	6.82	4.41

D'après le (tableau VI), on remarque que le taux d'extraction est 48.95%, la forte proportion de petits grains dont le seigle était composé explique ce taux d'extraction (Kouidri, 1999). La Figure 8 montre le son de seigle obtenu après la mouture.

**Figure 8 :** Son de seigle (originale).

## II. 2. Caractéristiques physico-chimiques du son de seigle :

Les résultats des analyses physicochimiques du son de seigle sont portés dans la Figure 9 :



**Figure 9 :** Composition biochimique du son de seigle exprimé en %.

La teneur en eau est le premier paramètre mesuré au laboratoire, car on l'utilise pour des paramètres ultérieurs (teneur en cendres, matière grasse).

### II. 2. 1. L'humidité :

La détermination de l'humidité nous permet de ramener tous nos résultats à une même échelle de grandeur à savoir la matière sèche, cependant la connaissance de l'humidité est très importante car elle constitue un facteur essentiel dans la prolifération des micro-organismes.

Le résultat obtenu montre que la teneur en eau de son de seigle est de l'ordre 12.96%, et d'après Kiger (1967) le son des céréales varié entre 12 et 16%, ceci implique que le son de seigle présente une teneur en eau normale (Figure 9).

Le dosage de l'humidité permet de statuer sur les risques d'altération lors du conditionnement et du stockage des aliments. C'est un facteur crucial dans l'évolution des phénomènes biologiques notamment la prolifération des microorganismes (Feillet, 2000).

### **II. 2. 2. Teneur en cendres :**

Vu la relation étroite existant entre les minéraux et les fibres alimentaires en général et celles des céréales en particulier, nous avons jugé important de déterminer la teneur en matière minérale du son de seigle.

Le résultat obtenu montre que la teneur en matière minérale est de l'ordre de 3,49%, une valeur inférieure à celle trouvée par (Aouir, 2003) qui est de l'ordre de 4,00% mais elle corrobore celle trouvée par (Kouidri et Benabdeldjalil, 1999) soit 3,45% et 3,6% (Figure 9).

La teneur en cendres varie en fonction du type du sol, des conditions de culture, des engrais utilisés et de la variété.

Il est à signaler que les cendres totales ne recouvrent pas rigoureusement la somme pondérale des sels minéraux contenus dans les sons céréaliers, car un grand nombre des sels minéraux sont détruits, modifiés ou se volatilisent à la température d'incinération (900°C). C'est pour cette raison qu'on peut estimer des teneurs en éléments minéraux beaucoup plus élevées aux valeurs trouvées (Sabegh et Tsouri ben Tsouri, 2006).

### **II. 2. 3. Dosage de la matière grasse :**

Le dosage de la matière grasse a pour but de déterminer la proportion des lipides totaux que renferment le son analysé et ses conditions de conservation.

Dans notre cas, le taux de lipides trouvé est de 4,73 %. En relevant que la teneur en matière grasse de son est inférieure à la valeur maximale normativement définie qui est de 6% (figure 9), on peut dire que l'échantillon est conforme aux valeurs normalisées. Cependant, il est possible qu'une teneur supérieure à 6 % avec un taux d'humidité moyen de 12 à 15 % puisse nuire à la bonne conservation du produit (Aouir, 2003).

#### II. 2. 4. Dosages de l'amidon :

Il ressort que la teneur en amidon du son de seigle analysé dans nos conditions expérimentales est 21,32 % ce qui est acceptable et répond aux exigences normalisées (Figure 9).

Les sons des céréales sont les moins pourvus en amidon comparés aux autres sous-produits de meunerie (Amruthmahal et *al*, 2003).

Le centre de contrôle de la qualité et de la recherche agronomique tolère une teneur d'amidon pour les sons entre 21 et 22%.

#### II. 2. 5. Dosages de la cellulose brute :

L'analyse faite sur le son révèle une teneur de 6.36%. Cette valeur corrobore celle trouvée par (GODON ET WILLM., 1991) et (Kouidri., 1999) qui est de 6.51% (Figure 9).

La cellulose est concentrée dans la couche périphérique des céréales. Elle varie suivant les espèces considérées (Rouau et Thibault, 1987).

La fraction indigestible ou cellulose brute que contiennent les céréales, notamment le son de seigle joue un rôle prépondérant dans la réduction de certaines pathologies digestives (constipation, diverticulose) et de certains troubles métaboliques tels que le diabète et l'obésité (Leinonen et *al*, 2000 ., Laaksonen, 2005).

D'après les résultats physico-chimiques de notre échantillon, on peut conclure que le son de seigle analysé présente des résultats répandant aux exigences de la panification.

#### II.3. Résultat de l'alvéographe Chopin :

Le test de l'alvéographe Chopin illustré par les figures (10,11, 12,13 et 14) résumé dans le (tableau VII) permet de prédire la qualité boulangère d'une farine. Il présente un intérêt pratique très apprécié par les professionnels de la seconde transformation du fait qu'il rend compte par le biais de différents paramètres alvéographiques mesurés, de

l'aptitude d'une farine à être travaillée en fonction de sa force boulangère pour une finalité précise (BERLAND et ROUSSEL, 2003).

### II. 3. 1. Le gonflement « G » :

L'indice de gonflement (G) renseigne sur l'extensibilité de la pâte, permet d'apprécier l'aptitude de la pâte à retenir le gaz carbonique (SAKR et HAJJ MOUSSA, 2007).

**Tableau VII** : Résultats d'analyses rhéologiques.

échantillons paramètres	Faine (A)	Farine (B)	Farine (C)	Farine (D)	Farine (E)
W ( $10^{-4}$ J)	212	206	220	250	261
G ( $\text{cm}^3$ )	17,5	17,5	15,8	15,6	14,6
P (mm)	94,5	97,6	100	100,5	114,4
L (mm)	63	62	50	43	43
P / L	1,5	1,57	2	2,33	2,66

La valeur de gonflement de la farine témoin (A) de  $17,5 \text{ cm}^3$  est inférieure aux normes Algériennes (J.O.R.A, 1991) et Française de panification (GUINET et GODON, 1994) et a celles apportées par (BERLAND et ROUSSEL, 2000), qui sont de 20 à  $24 \text{ cm}^3$ .

En note aussi que l'indice de gonflement de la farine (B) est identique à celle du témoin, et pour les autres farines (C), (D) et (E) leur indice de gonflement est inférieur à ce dernier, ce qui explique que l'ajout de son du seigle plus de 15 % dans la farine, influence le gonflement, donc l'augmentation de pourcentage de son de seigle diminue la valeur de l'indice de gonflement.

### II. 3. 2. Le rapport de configuration « P / L » :

Le rapport de la configuration de la courbe « P / L » ou le rapport de ténacité au gonflement, représente l'équilibre entre la ténacité et l'extensibilité des pâtes formées (COLAS, 1991).

Le rapport de configuration « P/L » l'enregistrer pour la farine (A), (B) et (C) sont de (1,74 / 1,57 / 2). D'après LIU et *al* (1996), notre farine témoin (A) et les deux autres (B) et (C) peut-être orientées à la panification car leur rapport de configuration se situent dans l'intervalle de [0,8 à 2]. Cependant elle reste supérieure à la gamme des valeurs des normes Algériennes de panification (J.O.R.A.1991) [0,45 à 0,65] et normes Françaises de panification (GUINET et GODON, 1994) [0,5 à 0,7].

Le rapport de configuration des autres farines (D) et (E) est trop élevé comparativement à ceux de (A), (B) et (C) et des normes algériennes (J.O.R.A.1991) et Française de panification (GUINET et GODON, 1994) renseignant sur la forte ténacité et la faible extensibilité de ces pâtes.

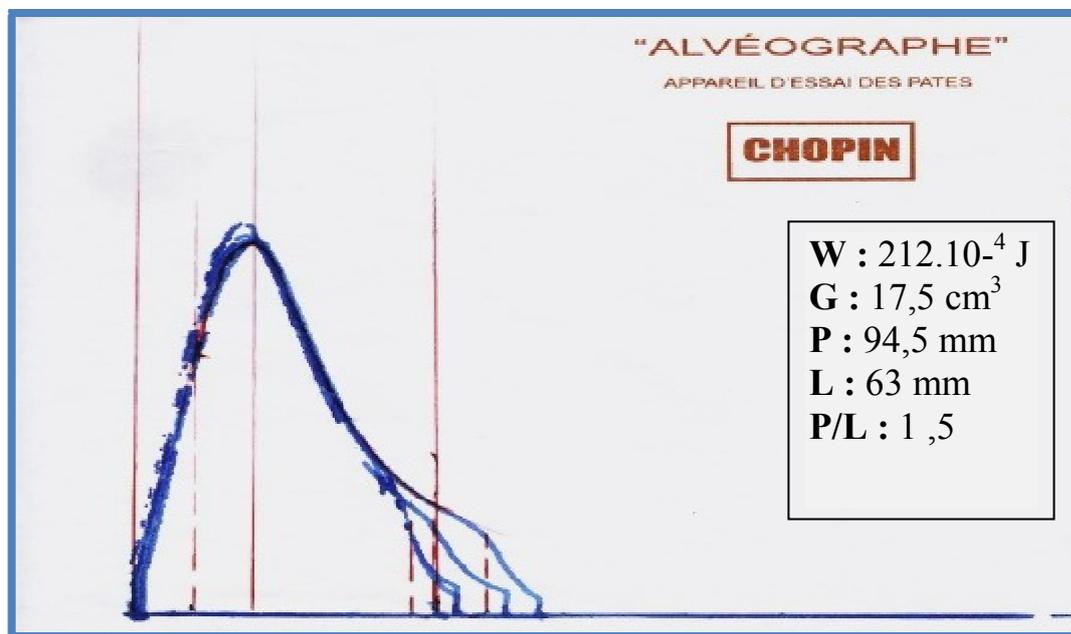


Figure 10 : Alvéogramme de la farine (A)

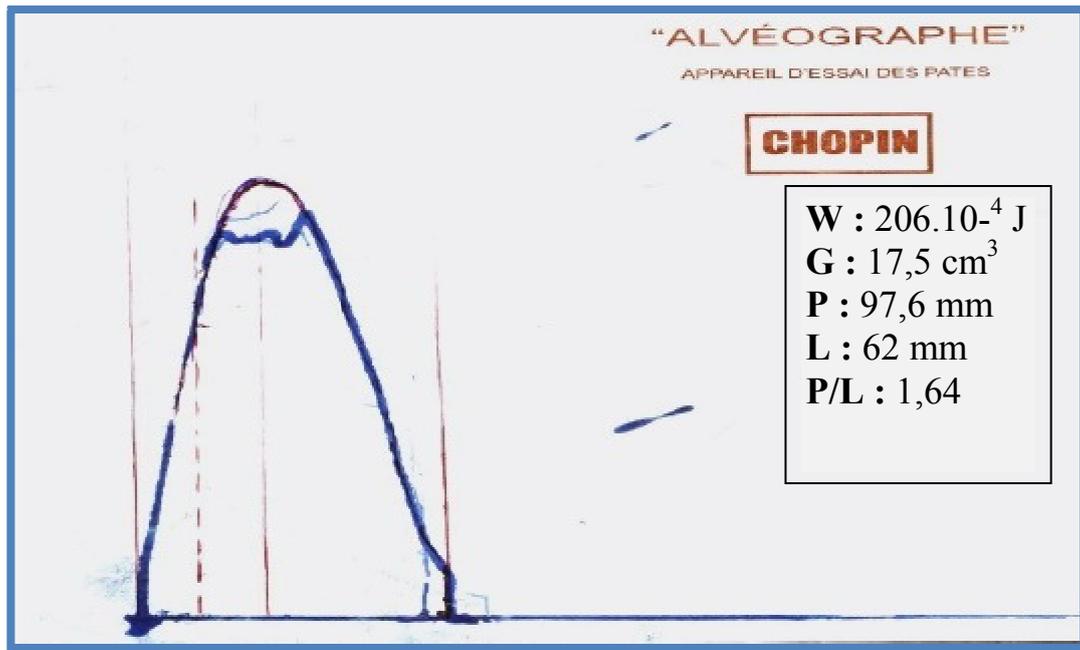


Figure 11 : Alvéogramme de la farine (B).

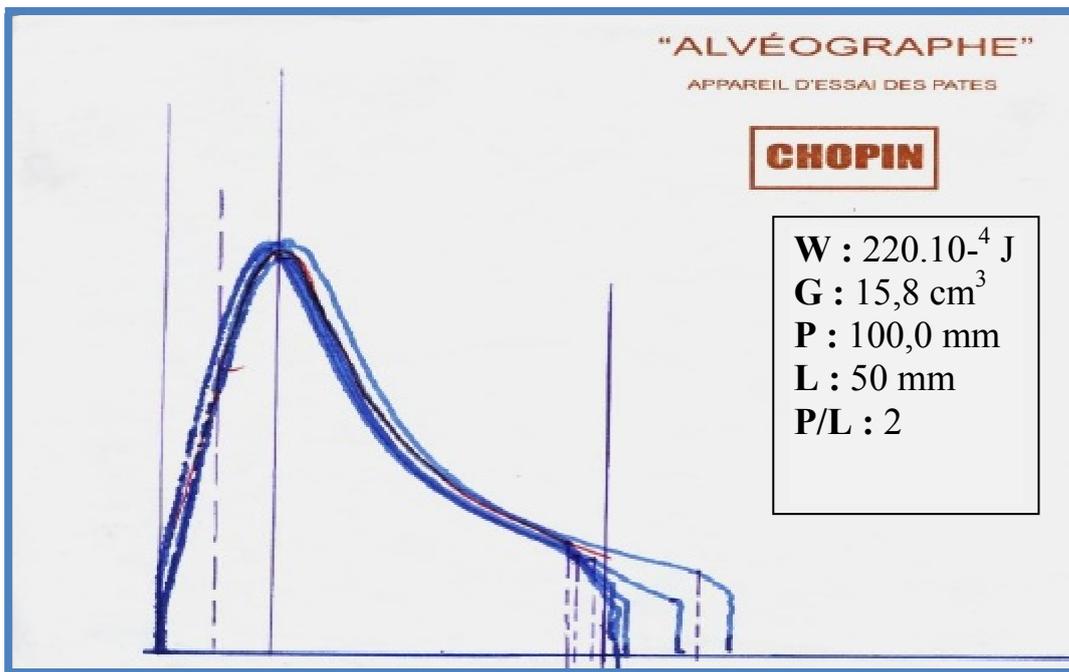


Figure 12 : Alvéogramme de la farine (C)

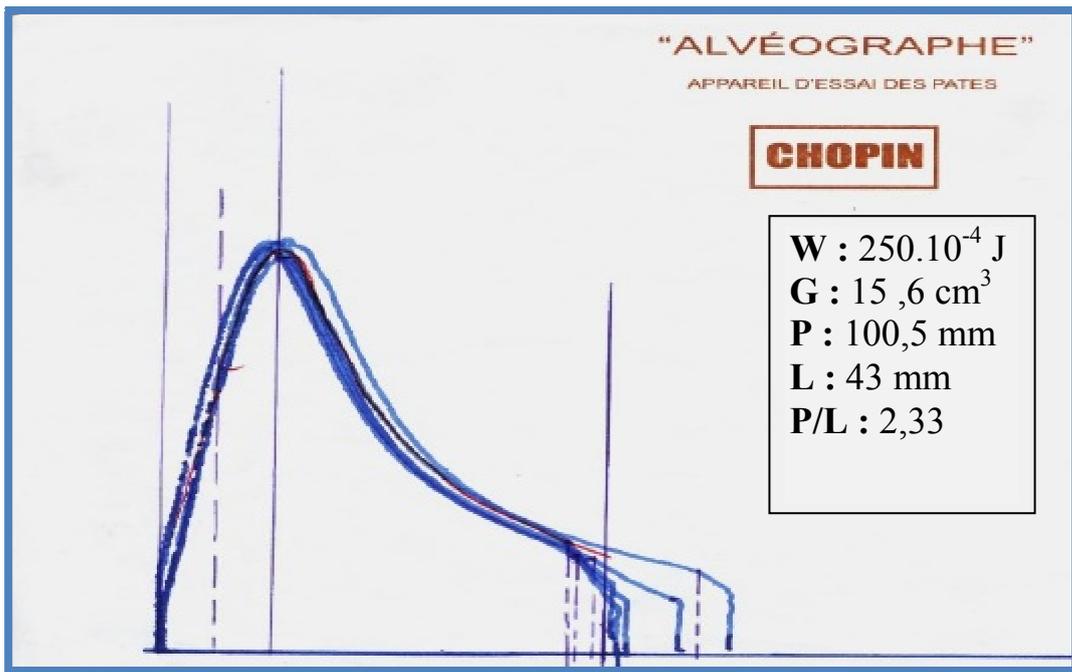


Figure 13 : Alvéogramme de la farine (D).

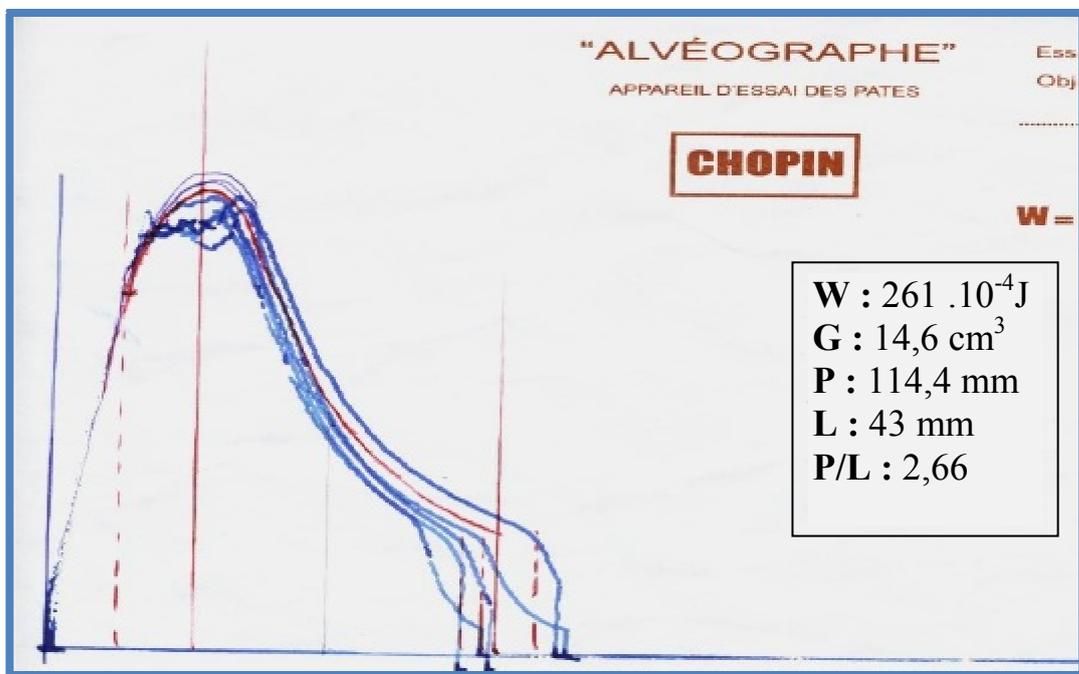


Figure 14 : Alvéogramme de la farine (E).

### II. 3. 3. La force boulangère « W » :

Selon ADRIAN et *al* (1995), le paramètre « W » constitue la mesure la plus intéressante pour estimer la qualité boulangère d'une farine. CALVEL, (1980) a noté que si ce paramètre a de l'importance, sa signification reste limitée si l'on ne tient pas compte des autres caractéristiques alvéographiques.

Le travail de déformation « W » de la farine (A) de  $[212 \cdot 10^{-4} \text{ J}]$  ne se situe pas à la limite de l'intervalle des normes Algériennes (1991), à savoir  $[130 \text{ à } 180 \cdot 10^{-4} \text{ J}]$  pour les farines panifiables. Le travail enregistré pour notre farine témoin s'avère plus suffisant par rapport à l'intervalle recommandé par GUINET et GODON, (1994), soulignant qu'une bonne valeur boulangère s'établit lorsque le "W" est compris entre  $[200 \text{ à } 220^{-4} \text{ J}]$ .

Les autres farines (D) et (E) présentent les valeurs de « W » les plus élevées par rapport à la valeur de témoin et aussi les valeurs des normes algérienne et française.

D'après les résultats alvéographiques on peut déduire que la farine (A), (B) et (C) est suffisamment prête à la panification puisqu'elles présentent de bons paramètres rhéologiques.

Les farines (D) et (E) sont aussi prêtes pour la panification mais avec des paramètres rhéologiques moyens.

À la fin, on conclut que l'ajout de son de seigle joue un rôle important dans la rhéologie de la pâte.

### II.4. Résultat du test de panification :

Le test de panification présente le principal outil d'appréciation de l'aptitude d'une farine à sa transformation en pain de bonne qualité (FEILLET, 2000). Un beau pain se caractérise par sa couleur, son volume important, son goût et son comportement à la mastication (NAMOUNE, 1989).

Les tests de panification ont donné des pains de différentes couleurs, d'alvéolisation de mie et des volumes spécifiques particuliers. Les cinq farines ont été testées le même jour dans les mêmes conditions, selon le même protocole « BIPEA ».

Les résultats des tests BIPEA sont détaillés en Annexe 4 et les notes obtenues pour les différentes farines sont reportées dans le tableau VIII.

**Tableau VIII : Notes obtenues au cours de la panification par le test BIPEA.**

<b>Note / Valeur</b>					
<b>PAIN</b>	Pain (A)	Note Pate 82,25 / 100	Note Pain 64,625 / 100	Note Mie 84 / 100	Note Globale 230,875 / 300
		Valeur technologique 146,875 / 200		Valeur organoleptique 84 / 100	Valeur boulangère 230,875 / 300
	Pain (B)	Note pate 74,75 / 100	Note pain 65 / 100	Note mie 82 / 100	Note globale 221,175 / 300
		Valeur technologique 139,75 / 200		Valeur organoleptique 82 / 100	Valeur boulangère 221,175 / 300
	Pain (C)	Note pate 73,25 / 100	Note pain 26,625 / 100	Note mie 79 / 100	Note globale 178,875 / 300
		Valeur technologique 99,875 / 200		Valeur organoleptique 79 / 100	Valeur boulangère 178,875 / 300
	Pain (D)	Note pate 62 / 100	Note pain 28,75 / 100	Note mie 76 / 100	Note globale 166,75 / 300
		Valeur technologique 90,75		Valeur organoleptique 76 / 100	Valeur boulangère 166,75 / 300
	Pain (E)	Note pate 57,125 / 100	Note pain 34 / 100	Note mie 73 / 100	Note globale 164,125 / 300
		Valeur technologique 91,125 / 200		Valeur organoleptique 73 / 100	Valeur boulangère 164,125 / 300

Le pain (A) a obtenu la meilleure note de panification (230,875 / 300) (figure 16), et une plus forte activité fermentaire (Figure 15). Il est à signaler que le pain (A) ne présente pas de défaut particulier.



**Figure 15 :** Pâte (A) en fermentation.



**Figure 16 :** Pain (A) après cuisson.

Le pain (B) a marqué une valeur boulangère inférieure par rapport du pain (A) (221,175 / 300) (Figure 18), et nous avons noté que la pâte (B) a une activité fermentaire moins forte que la pâte (A) et plus forte par rapport aux pâtes (C), (D) et (E) (Figure 17). Elle a fragilisé la tenue du pâton au moment de la mise en four. Cela a aussi pénalisé les coups de lame et également l'expansion au four et donc l'augmentation du volume pour le pain (B).



**Figure 17 :** Pâte (B) en fermentation.



**Figure 18 :** Pain (B) après cuisson.

Le pain (C) a accusé une valeur boulangère inférieure à celle de pain (B) (178,875/300) (Figure 20), ceci pourrait être expliqué par l'augmentation du

pourcentage de son de seigle de 15% jusqu'au 20%, et cela a joué un rôle important sur le volume de pain et aussi a diminué l'activité fermentative (Figure19).



Pâte (C)

**Figure 19 :** Pâte (C) en fermentation.



Pain (C)

**Figure 20 :** Le pain (C) après cuisson.

Les pains (D) et (E) ont obtenu la valeur boulangère la plus faible (166,75 / 300 et 164,125 / 300) (Figure 21) et (Figure 22) respectivement et une lente fermentation causée par le son de seigle incorporé (Figure 23) et (Figure 24). En effet, il est à constater une dégradation de la valeur boulangère au moment du pétrissage, avec une élasticité faible ce qui expliquerait le déficit d'allongement et d'extensibilité.



Pain (D)

**Figure 21:** Pain (D) après cuisson

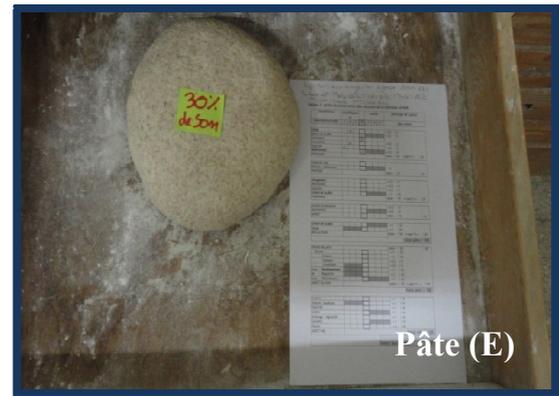


Pain (E)

**Figure 22 :** Pain (E) après cuisson



**Figure 23:** Pâte (D) en fermentation



**figure 24 :** Pâte (E) en fermentation

En effet, la farine contenant moins de fractions indigestibles de seigle, absorbe plus rapidement l'eau lors du pétrissage. Ainsi elle ne pénalise pas le collant de la pâte, son relâchement ou encore son extensibilité.

En ce qui concerne la mie, l'évaluation de sa structure alvéolaire met en jeu un certain nombre de critères tels que la taille, la forme des alvéoles ainsi que l'épaisseur de leurs parois (KAMMAN, 1970).

L'évaluation visuelle a été décrites pour signaler les variations observées à l'œil nue ; il s'agit de la texture fine, grossière, lisse, granuleuse, homogène et irrégulière...

Dans cette étude chaque type de pain a été tranché (5 pains étudiant A, B, C, D, E) et nous avons photographié les zones centrales sur un fond blanc. En effet, nous constatons que les alvéoles disparaissent au fur et à mesure de l'augmentation de pourcentage du son de seigle incorporé dans la farine. Donc les pains (D) et (E) présentent moins d'alvéoles et sont donc plus denses (Figure25a), (Figure25b) et (Figure26a), (Figure26b) respectivement.



**Figure 25a** : Aspect de la mie du pain (D)



**Figure 25b** : Structure alvéolaire de la mie (D)



**Figure 26a** : Aspect de la mie du pain (E)



**Figure 26b** : Structure alvéolaire de la mie (D)

Pour les autres pains (A), (B), et (C) les structures des alvéoles sont volumineuses et nombreuses (Figure27a), (Figure27b), (Figure28a), (Figure28b), (Figure29a) et (figure29b) respectivement.



**Figure 27a** : Aspect de la mie du pain (A) (témoin)



**Figure 27b** : Structure alvéolaire de la mie (A)



**Figure 28a** : Aspect de la mie du pain (B)



**Figure 28b** : Structure alvéolaire de la mie (B)



**Figure 29a** : Aspect de la mie du Pain(C)



**Figure 29b** : Structure alvéolaire de la mie (C)

Enfin, la couleur de la mie est beaucoup plus crème au niveau des pains qui ont un pourcentage élevé de son de seigle.

### II.5. Résultat du volume spécifique des pains :

Le volume spécifique des pains est un attribut crucial qui influence son acceptabilité par le consommateur. Il est fortement influencé par la quantité de gaz retenus par la pâte, plus la capacité de rétention de gaz de la pâte est élevée, plus et important le volume des pains (BALLA *et al*, 1999).

Selon (SUSAN, M, ; WEBER, JEAN, L, ; THORSON, JAMES, S *et al* , 2004) le produit en pâte cuite résultante a un volume spécifique après cuisson de plus de  $3,0\text{cm}^3/\text{g}$ .

En effet, l'évaluation du pain (A) montre que la valeur de volume spécifique du pain est clairement plus élevée ( $V_{\text{sp}} = 4,14 \text{ cm}^3/\text{g}$ ) comparativement à tous les autres pains.

Les indications de la (Figure 30) montrent que dans le cas du pain (B) la valeur du volume spécifique est suffisamment élevée ( $V_{\text{sp}} = 3,73 \text{ cm}^3/\text{g}$ ) suivi de celui de pain (C) ( $V_{\text{sp}} = 3,25\text{cm}^3/\text{g}$ ) puis (D) ( $V_{\text{sp}} = 2,58\text{cm}^3/\text{g}$ ) et en dernier (E) ( $V_{\text{sp}} = 2,05\text{cm}^3/\text{g}$ ) donc le  $V_{\text{sp}}$  des pains (D) et (E) sont pas conformes aux normes puisque sont inférieurs à  $3.0\text{cm}^3/\text{g}$ .

Donc une corrélation négative a été trouvée entre le son de seigle incorporé et le volume spécifique du pain. Ces résultats indiquent que le son de seigle exerce une influence sur le développement du volume des pains.



**Figure 30 :** Présentation des volumes spécifiques ( $V_{sp}$ ) des pains à différents taux d'incorporation de son de seigle

## II.6. Résultats des analyses organoleptiques :

Les tests de panification ont donné des pains avec une couleur, une odeur, une texture, une alvéolisation de mie et un volume spécifique différents.

Le produit fini « pain au son de seigle » a été soumis à une dégustation par des sujets choisis aléatoirement. Les tableaux VI, VII, VIII, IX et X résument les résultats obtenus.

La couleur et la texture du pain sont les premiers aspects qui attirent l'attention du consommateur. Elles ont été appréciées à l'œil nu de l'extérieur et sur des coupes longitudinales.

Le pain témoin (A) obtenu lors de l'essai de panification, offre une très grande satisfaction il présente une croûte de couleur crème, c'est la couleur la plus appréciée par le consommateur (CALVEL, 1984). Le tableau IX montre les différents résultats de la dégustation pour le pain (A).

## Pain (A)

### Formulaire de dégustation

**Nom du produit :** Pain à 100% de farine blanche

**Tableau IX:** Résultats de l'analyse organoleptique du pain (A)

<b>Caractéristiques (%)</b>	<b>Inacceptable</b>	<b>Médiocre</b>	<b>Moyen(ne)</b>	<b>Bon(ne)</b>	<b>Excellent(e)</b>
<b>Couleur</b>	0	0	0	100	0
<b>Odeur</b>	0	0	81.25	18.75	0
<b>Goût</b>	0	0	0	100	0

---

<b>Caractéristiques (%)</b>	<b>Dure</b>	<b>Croustillante</b>	<b>Elastique</b>	<b>Spongieuse</b>	<b>Moelleuse</b>
<b>Texture</b>	0	12.5	50	37.5	0

Concernant le pain (B), il présente un aspect extérieur le plus apprécié avec une croûte bien cuite et de belle coloration, le tableau X rassemble l'ensemble des résultats.

**Pain (B)**

**Formulaire de dégustation**

**Nom du produit :** Pain enrichi en 15 % de son du seigle

**Tableau X :** Résultats de l'analyse organoleptique du pain (B)

<b>Caractéristiques (%)</b>	<b>Inacceptable</b>	<b>Médiocre</b>	<b>Moyen(ne)</b>	<b>Bon(ne)</b>	<b>Excellent(e)</b>
<b>Couleur</b>	0	0	31.25	62.5	6.25
<b>Odeur</b>	0	0	0	75	25
<b>Goût</b>	0	0	18.75	75	6.25

<b>Caractéristiques (%)</b>	<b>Dure</b>	<b>Croustillante</b>	<b>Elastique</b>	<b>Spongieuse</b>	<b>Moelleuse</b>
<b>Texture</b>	0	68.75	31.25	0	0

Tandis que le pain (C) après la cuisson, il présente une couleur de la croûte bien foncée et croustillante. Les résultats de leur dégustations sont présentés dans le tableau suivant (tableau XI).

**Pain (C)**

**Formulaire de dégustation**

**Nom du produit :** Pain enrichi en 20 % de son de seigle

**Tableau XI:** Résultats de l'analyse organoleptique du pain (C)

<b>Caractéristiques (%)</b>	<b>Inacceptable</b>	<b>Médiocre</b>	<b>Moyen(ne)</b>	<b>Bon(ne)</b>	<b>Excellent(e)</b>
<b>Couleur</b>	0	0	37.5	62.5	0
<b>Odeur</b>	0	0	0	68.75	31.25
<b>Goût</b>	0	0	31.25	43.75	25

---

<b>Caractéristiques (%)</b>	<b>Dure</b>	<b>Croustillante</b>	<b>Elastique</b>	<b>Spongieuse</b>	<b>Moelleuse</b>
<b>Texture</b>	0	75	18.75	6.25	0

Concernant le pain (D) après la cuisson, nous remarquons qu'il présente une couleur foncée et aussi une mie plus crème. Les résultats de dégustation sont cités dans le tableau XII

**Pain (D)**

**Formulaire de dégustation**

**Nom du produit :** Pain enrichi en 25 % de son du seigle

**Tableau XII:** Résultats de l'analyse organoleptique du pain (D)

<b>Caractéristiques (%)</b>	<b>Inacceptable</b>	<b>Médiocre</b>	<b>Moyen(ne)</b>	<b>Bon(ne)</b>	<b>Excellent(e)</b>
<b>Couleur</b>	0	18.75	62.5	18.75	0
<b>Odeur</b>	0	0	0	56.25	43.75
<b>Goût</b>	0	0	0	43.75	56.25
<b>Caractéristiques (%)</b>	<b>Dure</b>	<b>Croustillante</b>	<b>Elastique</b>	<b>Spongieuse</b>	<b>Moelleuse</b>
<b>Texture</b>	18.75	81.25	0	0	0

Par ailleurs le pain (E), présente une odeur très appréciable par les dégustateurs. Les différentes notes de la dégustation sont décrites dans le tableau suivant (tableau XIII)

**Pain (E)**

**Formulaire de dégustation**

**Nom du produit :** Pain enrichi en 30 % de son de seigle

**Tableau XIII :** Résultats de l'analyse organoleptique du pain (E)

<b>Caractéristiques (%)</b>	<b>Inacceptable</b>	<b>Médiocre</b>	<b>Moyen(ne)</b>	<b>Bon(ne)</b>	<b>Excellent(e)</b>
<b>Couleur</b>	0	37.5	62.5	0	0
<b>Odeur</b>	0	0	0	12.5	87.5
<b>Goût</b>	0	0	0	25	75

<b>Caractéristiques (%)</b>	<b>Dure</b>	<b>Croustillante</b>	<b>Elastique</b>	<b>Spongieuse</b>	<b>Moelleuse</b>
<b>Texture</b>	12.5	87.5	0	0	0

❖ **La couleur :**

La couleur est le premier paramètre à évaluer sachant que l'observateur lui accorde une très grande importance et ceci pour apprécier la qualité et la fraîcheur d'un produit.

La couleur a été jugée « bonne » par 62,5 % de dégustateurs pour le pain (B) et (C), alors que le pain (A) l'on qualifié « moyenne » avec 81,25 % et le pain (E) l'ont jugé excellente avec 87,5 %.

**❖ La texture :**

Les calculs montrent que la texture du produit a été qualifiée « croustillante » par la majorité de dégustateurs pour le pain (B), (C), (D) et (E) avec (68,75 %), (68,75%), (81,25 %) et (87,5 %) respectivement. Donc l'aspect de la croustille est en relation avec les pourcentages de son de seigle appliqués dans la formulation du pain.

**❖ L'odeur :**

L'odeur possède un impact considérable sur l'appréciation finale du produit. La totalité des dégustateurs l'ont jugé « bonne » sur les pains (A), (B), (C) et (D). Alors que le pain (E) a présenté une excellente odeur avec un pourcentage de 87,5 %.

**❖ Le goût :**

La majorité des dégustateurs, a qualifié le goût comme étant « bon » pour les pains (B) et (C) et pour les pains (D) et (E) l'ont jugé excellent avec un pourcentage de (56,25%) et (75%) et pour le pain (A) est jugé à 100% bon.

D'après les résultats de l'essai de panification, on peut conclure que le pain obtenu à partir de la farine témoin offre une très grande satisfaction. Le constat est le même pour le pain (B), il présente un  $V_{sp}$  suffisamment élevé, une mie bien développée et une structure alvéolaire fine et presque régulière.

Le pain (C) donne un  $V_{sp}$  moins levé que celui de témoin et (B), et une mie moins expansée et une structure alvéolaire hétérogène.

Par ailleurs, les pains (D) et (E) présentent le  $V_{sp}$  le plus faible et une mie de structure compacte. L'addition du son de seigle au niveau de la formulation ne favorise pas le développement du pain, mais par contre et d'un autre côté, il améliore l'odeur, la croustille et la couleur de la croûte.

### *Conclusion générale*

L'objectif de ce travail est d'étudier l'effet du son de seigle à différents taux d'incorporation (15, 20, 25 et 30 %) sur les propriétés physico-chimiques, rhéologiques des pâtes et technologiques des pains.

L'incorporation du son de seigle dans la formulation du pain, montre une amélioration de la valeur nutritionnelle en particulier en matière minérale, en lipides et en amidon.

Le test d'alvéographe nous a permis de constater que l'addition du son de seigle (15, 20, 25 et 30 %) à la farine montre une diminution des propriétés rhéologiques par rapport au témoin. Cependant, quel que soit le pourcentage de son de seigle incorporé, il y a un éloignement de « G », par contre le « W » a présenté de meilleurs résultats pour les pâtes (A), (B) et (C). En effet, ce paramètre s'avère acceptable à l'intervalle recommandé par GUINET et GODON, (1994) mais les autres pâtes (D) et (E) ont donné des résultats très élevés. Cependant, le « P / L » des farines (A), (B) et (C) confirment qu'il est possible de les orienter à la panification, car ce paramètre se situe dans l'intervalle [0,8 – 2]. De même, les farines (D) et (E) sont aussi orientées à la panification mais avec une pâte de forte ténacité et de faible extensibilité.

Par ailleurs, au niveau de la panification, la meilleure valeur boulangère a été marquée pour le témoin. On constate donc une dégradation de la valeur boulangère lors de l'incorporation du son de seigle au moment du pétrissage qui a causé une élasticité faible ; ce qui explique le déficit d'allongement et d'extensibilité. Il est à noter que les farines à différents taux d'incorporation renfermant de son de cette céréale ralentie l'absorption d'eau au pétrissage, et cause une activité fermentative plus lente et une couleur de mie plus prononcée (crème).

Nous avons remarqué au cour de la panification une corrélation négative entre le son de seigle incorporé et le volume spécifique du pain. Les résultats indiquent que

## **CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES**

---

cette fraction indigestible exerce une influence sur le développement du volume des pains.

Perspectives :

Les fractions céréalières riches en fibres peuvent constituer un aliment d'appoint, facile à incorporer dans les produits diététiques. Ces caractéristiques d'adaptabilité en plus de la facilité de conservation offrent à l'industriel une grande marge de manœuvre, donc introduire le seigle dans la céréaliculture Algérienne au même titre que le blé et l'orge.

Il est temps de mettre en œuvre un système de valorisation des fibres alimentaires des céréales en Algérie, car ces dernières constituent un remède naturel excellent contre plusieurs maladies (constipation, trouble intestinal), cela permet de minimiser la prise des médicaments (produits chimiques par excellence).

Enfin, il serait souhaitable de poursuivre cette étude dans le cadre d'une étude nutritionnelle in vivo. Ce qui permettrait de déterminer d'une part la digestibilité et d'autre part l'efficacité des aliments obtenus sur le plan de la nutrition préventive.

## *Références bibliographiques*



1. **Aarnink A.J.A, Verstegen M.W.A, 2007**, Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production. *Livest. Sci.*, 109, 194-203.
2. **Adam A, 2002**, Qualité nutritionnelle et effets métaboliques des farines de blé et du pain, Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale des Sciences de la Vie et de la Santé.
3. **Adlercreutz H, 2002**, Phytoestrogens and Cancer. *Lancet Oncology* 3:364-374.
4. **Adrian J, Jacques P, Régine F, 2003**, Sciences alimentaires de A à Z, Ed-Techniques et documentation-Lavoisier, Paris, P320.
5. **Adrian J, Jacques P, Régine F, 2003**, Sciences alimentaires de A à Z, Ed-Techniques et documentation-Lavoisier, Paris, P320.
6. **ADRIAN J, POTUS J et FRANGNER (1995)** la science alimentaire de A a Z , tec et doc la voisier , 2eme édition .
7. **Adlercreutz H, 2002**, Phytoestrogens and Cancer. *Lancet Oncology* 3:364-374.
8. **Aman P, Nilsson M ET Andersson R, 1997**, Positive Health Effects of Rye. *Cereal Foods World* 42:684-688.
9. **Andreasen M.F, Landbo K, Christensen L.P, Hansen A. and Meyer A.S, 2001**. Antioxidant effects of phenolic rye (*Secale cereale* L.) extract monomeric hydroxycinnamates and ferulic acid dehydrodimers on human low-density lipoproteins. *J. Agric. Food Chem.* in press.
10. **Aouir A, 2003**, Caractérisation physico-chimique et nutritionnelle des fibres alimentaires de quelques céréales. Thèse de Magister. I.N.A El-Harrach, Alger

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

11. **Amruthmahal A, Asna U, Shashikala P, 2003**, In vitro starch digestibility and nutritionally important starch fractions in cereals and their mixtures. *Starch/Staerke*, 55 (2), 94-99.
12. **Anonyme, 2000**, Notre blé le seigle, Revue de la santé.
13. **Anonyme, 2006**, Institut des aliments fonctionnels.
14. **Andreasen MF, Kroon PA, 2001**, Esterase activity able to hydrolyze dietary antioxidant hydroxycinnamates is distributed along the intestine of mammals. *J Agric Food Chem* November; 49(11):5679-84.
15. **Antoine C, 2003**, Bases physicochimiques et structurales de l'aptitude au fractionnement des enveloppes du grain de blé tendre, Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier.

## B

16. **Bontems P, Deprettere A, Cadranel S, Vandenas Y, 2000**, The coeliac iceberg : a consensus in pediatrics. *Acta Gastroenterol. Belgica*; 63: 157-62.
17. **Burton, B, 2000**, Dietary fiber and Energy regulation. *The journal of Nutrition* V -130 N° 2S, 272-275.
18. **Brown R.M, Saxena I.M, 2000**, Cellulose Biosynthesis: a model for understanding the assembly of biopolymers », *Plant Physiol Biochem.* 38(1/2), p. 57-67.
19. **Bushuk W, 2001**, Rye: Production, Chemistry and Technology. Dept. of Food Science, University of Manitoba, AACC.
20. **Bushuk W, 2001**, Rye production and uses worldwide. *Cereal, Chem.* 46 (2):70-73.
21. **Burton, B, 2000**, Dietary fiber and Energy regulation. *The journal of Nutrition* V -130 N° 2S, 272-275.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**22. BALLA A . BLACHER C AUMAROUM PAQUOT Met ROANNE C (1999)** mise au point du pain composite a base de mélanges de farine de sorgho-blé et analyse textuel , biotechnol,agro son ,environ 3 (2) pp 69-77

**23. (BERLAND et ROUSSEL, 2003)** les pains français : évolution qualité ; production collection science et technologies des métiers de bouche .MAEIERTI, 1ere édition, France 2007.

**24. (BERLAND et ROUSSEL, 2000)** le pain et la panification ;chimie et la technologie de la boulangerie et de la meneurie ;laibrairie JB BALLIAIRE Paris 358p

### C

**25. Campos FG, Logullo Waitzberg AG, et al. 2005** Diet and colorectal cancer: current evidence for etiology and prevention. Nutr Hosp January;20(1):18-25.

**26. Confortini J, 2001,** Comment le pain peut-il répondre aux besoins nutritionnels spécifiques du sportif. II : Les fibres. Bannette. p1-3.

**27. Chaplin, M. (2004)** Water Structure and Behavior. London South Bank University. London, Angleterre.

**28. Carpita N, Mccann M, 2000,** The cell Wall, in B. BUCHANAN, W.

**39. COLAS.1991;** Definition de la qualities des farine pour different utilization .In: les industries de these doctora ENSIA, FRANCE 163p

**30. CALVEL R (1980) la boulangerie modern;** EYROLLES 9<sup>eme</sup> edition Paris 459p

D

31. **Danièle R, Brigitte Vian, Catherine Bajon, 2006**, Le monde des fibres, 343p.
32. **De Kock, S., Taylor, J., & Taylor, J.R.N. (1999)** Effect of heat treatment and particle size of different brans on loaf volume of brown bread. *Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie*, 32 (6), 349-356
33. **DELFRATE R et STEPHAN (2005)** mieux connaitre la farine special analyses SOTAL . 12p
34. **(DAVIES, 1986)**. Protein functionality in Bakery products in chemistry and physics ok Baking materiels processes and products . BLANSHARS J .M.V,FRAZIER PJ and GALLIARD royal société of chemistry londres pp 89,104

F

35. **FEILLET P (2000)** le grain de blé ; composition et utilization , INRA; Paris 308p

G

36. **Grasten, S.M, Leinonen, K. S, Poutanen, K.S, Gylling, H.K, Miettinen, T.A, Mykkanen, H.M, 2000**, Rye bread improves bowel function and decreases the concentration of some putative colon cancer risk markers in middle-aged women and men. *J. Nutr.* 130: 2215-2221.
37. **Guinet.R. ET GODONB. (1991)**; la panification française, science et technique agro alimentaire. lavoisier .tech and Doc et Paris 534p
38. **Guinet.R. ET GODONB. (1991)**; la panification française science et thechnique agro-alimentaire,Lavoisier tech, and doc paris 534p

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**39. GHERAIRIA N** pain sans gluten pour les maladies coeliaque , aptitude thechnologique d'une formule riz-féverole these de magistère en science alimentaire option technologie des alimentaire (I.N.A.T.A.A) 48p

**40. Godon B, Will C, 1991,** Les industries de première transformation des céréales. Ed- Technique et documentation-Lavoisier, 786p.

### H

**41. Hallmans G, Zhang JX et al, 2003,** Rye, lignans and human health. Proc Nutr Soc February; 62(1):193-9.

**42. Hanf V, Gonder U, 2005,** Nutrition and primary prevention of breast cancer: foods, nutrients and breast cancer risk.Eur J Obstet gynecol Reprod Biol Dec 1;123(2):139-49.

**43. Hongisto SM, Paajanen L et al, 2006,** Combination of fiber-rich rye bread and yoghurt containing Lactobacillus GG improves bowel function in women with self-reported constipation. Eur J Clin Nutr.

**44.Hebuterne X, 2002,** La Place des Fibres Alimentaires dans l'Alimentation. Nice : Faculté de Nutrition, Université de Nice

### I

**45. Ivarsson A, 2005,** The Swedish epidemic of celiac disease explored using an epidemiological approach - Some lessons to be learnt. Best Pract Res Clin Gastroenterol. Jun;19(3):425-4

### J

- 46. Jacob DR, Gallaher D, 2004**, Whole grain intake and cardiovascular disease: a review. *Curr Atheroscler Rep* November;6(6):415-23.
- 47. Jeantet R, Thomas C, Pierre S, Gérard B, 2007**, Sciences des aliments, -Volume2- Technologie des produits alimentaires, Ed-Techniques et documentation-Lavoisier, Paris, P90-100.
- 48. Juntunen KS, Laaksonen DE et al, 2003**, Structural differences between rye and wheat breads but not total fiber content may explain the lower postprandial insulin response to rye bread. *Am J Clin Nutr* November;78(5):957-64.
- 49. J.O.R.A. (1991)**; décret executive N°91/572 du 31 December relative a la farine de panification ET au pain.
- 50. JUNGE et HOSNEY 1981 ; BLOKSMA 1990b** a mechanism by which shorting certain surfactants in prove loaf volume in bread . *cereal chemistry* 55,pp 408 ;412

### K

- 51. Kouidri A, Kouidri F, 1996**, Contribution l'étude des fibres alimentaires des céréales (Orge, Avoine et seigle) en vue de leur incorporation dans les produits diététiques Mémoire de fin d'étude, INA, El-Harrach, Alger.
- 52. Kouidri A, 1999**, Fibres alimentaires en pratique médicale courante : Effet du son d'orge et du seigle sur les troubles fonctionnels intestinaux et sur le métabolisme glucido-lipidique, These de Magister, I.N.A, El-Harrach, Alger.
- 53. Kuzmanovic, K. (2004)** *Process of Extracellular Digestion* . Sydney : University of Sydney, Australie. p. 1.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- 54. KIGERJ. L and KIGER .G (1967)** technique modernes de pâtisserie-boulangerie industrielle et artisanales et des produits des régime tome 1 DUNODI Paris 676p
- 55. Kiger JL, Kiger JG, 1967,** Techniques modernes de la biscuiterie : pâtisserie et biscuiterie industrielles et artisanales et des produits de régime. Tome I, 676p.
- 56.(KAMMAN, 1970).** VALEUR SENSORIELLE DU PAIN BIOLOGIQUE ET OUTILS DE, CARACTERISATION OBJECTIVE, Institut National de la Recherche agronomique 194, 198pp

### L

- 57. Laaksonen DE, Toppinen LK et al, 2005 ,** Dietary carbohydrate modification enhances insulin secretion in persons with the metabolic syndrome. Am J Clin Nutr December; 82(6):1218-27.
- 58. Lampi AM, Moreau RA, 2004 et al,** Pearling barley and rye to produce phytosterol-rich fractions. Lipids, August: 39(8):783-7.
- 59. Leinonen KS, Poutanen KS, Mykkanen HM, 2000,** Rye bread decreases serum total and LDL cholesterol in men with moderately elevated serum cholesterol. J Nutr February;130(2):164-70.
- 60. LIUY.C SHEPHERD .K.W and HOSENEYRC (1996).** Improvement of durum wheat pastamaking and breadmaking quality , cereal chemistry (73) pp 155-166
- 61. LASSOUED D N (2005)** structure alvéolaire des produit céréaliers de caisson en lien avec les propriétés rhéologique et thermique de la pâte ; effet de la composition these doctorat ENSIA france 163p

**M**

62. **Mc Cleary, 2003**, Dietary fiber analysis. Proceedings of the Nutrition Society, 62 (1), p3-9.
63. **Mongeau, R., & Brassard, R. (1993)** Enzymatic-gravimetric determination in foods of dietary fiber as sum of insoluble and soluble fiber fractions: summary of collaborative study. *Journal of the AOAC International*, 76 (4), 923-925.
64. **Moussard C, 2007**, Biochimie structurale et métabolique, p 76.

**N**

65. **NAMOUNE H (1989)** détermination des aptitudes technologique des principale variétés de blé tendre cultivées en Algérie, thèse de magistère INATAA option génie industrielle alimentaire université Mentouri Constantine 109p

**O**

66. **Özboy, Ö., & Köksel, H. (1997)** Unexpected strengthening effects of a coarse wheat bran on dough rheological properties and baking quality. *Journal of Cereal Science*, 25 (1), 77-82.

**P**

67. **Pettersson D, Aman, P, Bach Knudsen K E, Lundin, E, Zhang, J-X, Halimans, G, Harkonen H, and Adlercreutz H 1996**, Intake of Rye Bread. Excretion of Fiber Polysaccharide Components and Organic Acids but Does Not Increase Plasma or Urine Lignans and Isoflavonoids. *J. Nutr.* 126:1594-1600
68. **Prats J, Clement-Grandcourt, 1970**, Les céréales, p364.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**69. Pietinen P, Stumpf K, Mannisto S, Kataja V, Uusitupa M and Adlercreutz H, 2001,** Serum enterolactone and risk of breast cancer: a case-control study in eastern Finland. *Cancer Epidemiologic Biomarkers Prey* 10:339-344.

### R

**70. Remesy C, Emigne C, Levrat M A, 1994,** Le rôle des produits végétaux, en particulier les fibres, en nutrition préventive. *Med et Nut* N°30, 189-198.

**71. Ross AB, Kamal-Eldin A et al, 2003,** Cereal alkylresorcinols are absorbed by humans. *J Nutr* July: 133(7):2222-4.

**72. Rouau, X., & Thibault, J.F. (1987)** *Les Fibres Alimentaires*. Paris: APRIA

**73. ROUSSEL et P and CHITRONH (2002) :** les pains français : évolution qualité ; production collection science et technologies des métiers de bouche .MAEIERTI, 1ere édition, France 2007.

### S

**74. Saettel L, 2000,** Que sont les fibres ? leurs intérêts ? p:1-3.

**75. SAKRN et HAJJ MUSSA E (2007) ;** comparaison de la qualité des blés libanais a celle des variétés importées de l'étranger et destinées a la préparation du pain libanais.

**76. Sabegh A, Tsouri Ben Tsouri B, 2006,** l'enrichissement des pâtes alimentaires par l'incorporation du son et le suivi du produit pendant 5 mois de conservation, Mémoire de fin d'étude , FSAVB , Blida,

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

77. SUSAN, M, GENG QINGHUANG [US]; GOEDEKEN DOUG L [US]; HAYES-JACOBSON SUSAN M [US]; WEBER JEAN L [US]; THORSON JAMES S [US] ± (GENG, QINGHUANG, ; GOEDEKEN, DOUG, L, ; HAYES-JACOBSON,; WEBER, JEAN, L, ; THORSON, JAMES, S) METHOD OF EXTRUDING BREAD DOUGH AND PRODUCTS OBTAINABLE THEREBY EP1377167 (A1) — 2004-01-07

### T

78. Trowell HC, 1974, Definition of fiber. Lancet, N°1, 503-508. Chasseray P 1991 Caractéristiques physiques des grains et de leurs dérivés. In: Godon B Willm C editor. Les industries de première transformation des céréales. Techniques et Documentations- Lavoisier, Londres- New York. 694p

79. Trowell HC, 1970, Ischemic heart disease and dietary fiber, Am.J.Clin.Nutr, N° 26, 26-932.

### W

80. Williams MT, Hord NG, 2005, The role of dietary factors in cancer prevention: beyond fruits and vegetables. Nutr Clin Pract August;20(4):451-9.

81. WILLMC. Tec and Lavoisier 679p

## *Annexe 1*

### Matériel utilisé

- Louche stérile.
- Etuve
- les nacelles
- Dessiccateur



Pétrin



Chambre de fermentation



Mise au four



Après cuisson

# ANNEXE 1

---



Température de la pâte



Dévisage



Façonnage



Température de four

# Annexe 2

Grille de présentation des résultats de la méthode BIPEA sous la norme AFNOR.

Interprétations observations et notes	insuffisance				excès			principe de calcul	
	1	4	7	10	7	4	1	des notes	
Lissage								× 0,5	/ 5
<b>Collant de la pâte</b>								× 0,5	/ 5
Consistance									
Extensibilité								× 0,5	/ 5
Elasticité								× 0,5	/ 5
<b>Relâchement</b>								× 0,5	/ 5
PETRISSAGE								total=	/ 25 × coef (*) = / 25
Pousse en cuve									
Détente : relâchement								× 1	
POINTAGE								total=	/ 10 / 10
<b>Allongement</b>								× 0,5	/ 5
Déchirement								× 0,5	/ 5
Elasticité								× 0,5	/ 5
<b>Collant de la pâte</b>								× 1	/ 10
FACONNAGE								total=	/ 25 × coef (*) = / 25
Activité fermentative								× 0,5	/ 5
Déchirement								× 0,5	/ 5
APPRET								total=	/ 10 / 10
<b>Collant de la pâte</b>								× 1	/ 10
<b>Tenue</b>								× 2	/ 20
MISE AU FOUR								total=	/ 30 × coef (*) = / 30
								total pâte	/ 100
Volume des pains								total=	/ 30 / 30
Section								× 1	/ 10
Couleur								× 2	/ 20
Epaisseur								× 0,5	/ 5
Croustillant								× 0,5	/ 5
Coup : Développement								× 1	/ 10
de : Régularité								× 1	/ 10
lame : Déchirement								× 1	/ 10
ASPECT DU PAIN								total =	/ 70 × coef (*) = / 70
								total pain	/ 100
Couleur								× 1	/ 10
Texture : souplesse								× 1	/ 10
Elasticité								× 1	/ 10
Collant								× 1	/ 10
Alvéolage : régularité								× 1	/ 10
Epaisseur								× 1	/ 10
Flaveur								× 4	/ 40
ASPECT MIE								total mie	/ 100
								Valeur boulangère	/ 300

## **Annexe 2**

---

## *Annexe 3*

**Date : ... / ... / .....**

**Nom du produit :**

**Nom de sujet :**

### **Formulaire de dégustation**

<b>Caractéristiques</b>	<b>Inacceptable</b>	<b>Médiocre</b>	<b>Moyen(ne)</b>	<b>Bon(ne)</b>	<b>Excellent(e)</b>
<b>Couleur</b>					
<b>Odeur</b>					
<b>Goût</b>					

<b>Caractéristiques</b>	<b>Dure</b>	<b>Croustillante</b>	<b>Elastique</b>	<b>Spongieuse</b>	<b>Moelleuse</b>
<b>Texture</b>					

**Signature**

# ANNEXE 4

## Annexe 4

Tableau : grille de présentation des résultats de la méthode BIPEA sous la norme AFNOR pour le pain(A).

Interprétations observations et notes	insuffisance				excès			principe de calcul		
	1	4	7	10	7	4	1	des notes		
Lissage				x				× 0,5	5/ 5	
<b>Collant de la pâte</b>				x				× 0,5	5/ 5	
Consistance				x						
Extensibilité				x				× 0,5	5/ 5	
Elasticité				x				× 0,5	5/ 5	
<b>Relâchement</b>				x				× 0,5	5/ 5	
PETRISSAGE								total=	25/ 25	× coef (*) = 25/ 25
Pousse en cuve										
Détente : relâchement			x					7 × 1		
POINTAGE								total=	7/ 10	7/ 10
<b>Allongement</b>			x					× 0,5	3,5/ 5	
Déchirement				x				× 0,5	5/ 5	
Elasticité					x			× 0,5	3,5/ 5	
<b>Collant de la pâte</b>				x				× 1	10/ 10	
FACONNAGE								total=	22/ 25	× coef (*) = 16,5/ 25
Activité fermentative				x				× 0,5	5/ 5	
Déchirement				x				× 0,5	5/ 5	
APPRET								total=	10/ 10	10/ 10
<b>Collant de la pâte</b>				x				× 1	10/ 10	
<b>Tenue</b>				x				× 2	20/ 20	
MISE AU FOUR								total=	30/ 30	× coef (*) = 30/ 30
								total pâte	88 ,5/ 100	
Volume des pains								total=	20/ 30	15/ 30
Section				x				× 1	10/ 10	
Couleur					x			× 2	14/ 20	
Epaisseur			x					× 0,5	3,5/ 5	
Croustillant				x				× 0,5	5/ 5	
Coup : Développement				x				× 1	10/ 10	
de : Régularité					x			× 1	7/ 10	
lame : Déchirement				x				× 1	10/ 10	
ASPECT DU PAIN								total =	59,5/ 70	× coef = 59 ,5/ 70
								total pain	74 ,5/ 100	
Couleur				x				× 1	10/ 10	
Texture : souplesse				x				× 1	10/ 10	
Elasticité					x			× 1	7/ 10	
Collant				x				× 1	10/ 10	
Alvéolage : régularité			x					× 1	7/ 10	
Epaisseur			x					× 1	7/ 10	
Flaveur				x				× 4	40/ 40	
ASPECT MIE								total mie	84/ 100	
								Valeur boulangère	247/ 300	

## ANNEXE 4

Tableau : grille de présentation des résultats de la méthode BIPEA sous la norme AFNOR pour le pain (B).

Interprétations	insuffisanc e				excès			principe de calcul		
	1	4	7	10	7	4	1	des notes		
Lissage		x						× 0,5	2/ 5	
<b>Collant de la pâte</b>				x				× 0,5	5/ 5	
Consistance				x						
Extensibilité						x		× 0,5	2/ 5	
Elasticité				x				× 0,5	5/ 5	
<b>Relâchement</b>				x				× 0,5	5/ 5	
PETRISSAGE									total=	19/ 25 × coef (*) = 19/ 25
Pousse en cuve										
Détente : relâchement				x				10 × 1		
POINTAGE									total=	10/ 10 10/ 10
<b>Allongement</b>				x				× 0,5	5/ 5	
Déchirement				x				× 0,5	5/ 5	
Elasticité				x				× 0,5	5/ 5	
<b>Collant de la pâte</b>			x					× 1	7/ 10	
FACONNAGE									total=	22/ 25 × coef (*) = 22/ 25
Activité fermentative				x				× 0,5	5/ 5	
Déchirement				x				× 0,5	5/ 5	
APPRET									total=	10/ 10 10/ 10
<b>Collant de la pâte</b>				x				× 1	10/ 10	
<b>Tenue</b>					x			× 2	14/ 20	
MISE AU FOUR									total=	24/ 30 × coef (*) = 24/ 30
								total pâte	85/ 100	
Volume des pains									total=	17/ 30 13/ 30
Section				x				× 1	10/ 10	
Couleur			x					× 2	14/ 20	
Epaisseur				x				× 0,5	5/ 5	
Croustillant				x				× 0,5	5/ 5	
Coup : Développement				x				× 1	10/ 10	
de : Régularité				x				× 1	10/ 10	
lame : Déchirement		x						× 1	10/ 10	
ASPECT DU PAIN									total =	64/ 70 × coef (*) = 64/ 70
								total pain	77/ 100	
Couleur		x						× 1	4/ 10	
Texture : souplesse				x				× 1	10/ 10	
Elasticité						x		× 1	4/ 10	
Collant				x				× 1	10/ 10	
Alvéolage : régularité		x						× 1	4/ 10	
Epaisseur				x				× 1	10/ 10	
Flaveur				x				× 4	40/ 40	
ASPECT MIE									total mie	82/ 100
								Valeur boulangère	244/ 300	

## ANNEXE 4

Tableau : grille de présentation des résultats de la méthode BIPEA sous la norme AFNOR pour le pain (C).

Interprétations	insuffisanc e				excès			principe de calcul	
	1	4	7	10	7	4	1	des notes	
Lissage			x					× 0,5	3,5/ 5
<b>Collant de la pâte</b>				x				× 0,5	5/ 5
Consistance				x					
Extensibilité					x			× 0,5	3,5/ 5
Elasticité			x					× 0,5	3,5/ 5
<b>Relâchement</b>				x				× 0,5	5/ 5
PETRISSAGE								total=	20,5/ 25 × coef = 20,5/ 25
Pousse en cuve									
Détente : relâchement				x				× 1	
POINTAGE								total=	10/ 10 10/ 10
<b>Allongement</b>				x				× 0,5	5/ 5
Déchirement				x				× 0,5	5/ 5
Elasticité	x							× 0,5	0,5/ 5
<b>Collant de la pâte</b>				x				× 1	10/ 10
FACONNAGE								total=	20,5/ 25 × coef = 20,5/ 25
Activité fermentative			x					× 0,5	3,5/ 5
Déchirement				x				× 0,5	5/ 5
APPRET								total=	8,5/ 10 8,5/ 10
<b>Collant de la pâte</b>				x				× 1	10/ 10
<b>Tenue</b>					x			× 2	14/ 20
MISE AU FOUR								total=	24/ 30 × coef (*) = 24/ 30
								total pâte	83,5/ 100
Volume des pains								total=	14/ 30 10/ 30
Section			x					× 1	7/ 10
Couleur							x	× 2	2/ 20
Epaisseur	x							× 0,5	0,5/ 5
Croustillant				x				× 0,5	5/ 5
Coup : Développement				x				× 1	10/ 10
de : Régularité							x	× 1	1/ 10
lame : Déchirement				x				× 1	10/ 10
ASPECT DU PAIN								total =	35,5/ 70 × coef = 35,5/ 70
								total pain	45,5/ 100
Couleur							x	× 1	1/ 10
Texture : souplesse				x				× 1	10/ 10
Elasticité				x				× 1	10/ 10
Collant				x				× 1	10/ 10
Alvéolage : régularité					x			× 1	7/ 10
Epaisseur	x							× 1	1/ 10
Flaveur				x				× 4	40/ 40
ASPECT MIE								total mie	79/ 100
								Valeur boulangère	208/ 300

# ANNEXE 4

Tableau : grille de présentation des résultats de la méthode BIPEA sous la norme AFNOR pour le pain (D).

Interprétations	insuffisanc			10	excès			principe de calcul
	e							
observations et notes	1	4	7		7	4	1	
Lissage			x					× 0,5 3,5/ 5
Collant de la pâte				x				× 0,5 5/ 5
Consistance				x				
Extensibilité		x						× 0,5 2/ 5
Elasticité	x							× 0,5 0,5/ 5
Relâchement				x				× 0,5 5/ 5
PETRISSAGE								total= 16/ 25 × coef (*) = 16/ 25
Pousse en cuve								
Détente : relâchement				x				× 1
POINTAGE								total= 10/ 10 10/ 10
Allongement		x						× 0,5 2/ 5
Déchirement				x				× 0,5 5/ 5
Elasticité	x							× 0,5 0,5/ 5
Collant de la pâte				x				× 1 10/ 10
FACONNAGE								total= 17,5/ 25 × coef (*) = 8,75/ 25
Activité fermentative		x						× 0,5 2/ 5
Déchirement		x						× 0,5 2/ 5
APPRET								total= 4/ 10 4/ 10
Collant de la pâte				x				× 1 10/ 10 -e
Tenue					x			× 2 14/ 20
MISE AU FOUR								total= 24/ 30 × coef (*) = 24/ 30
								total pâte 62,75/ 100
Volume des pains								total= 10/ 30 8,5/ 30
Section		x						× 1 4/ 10
Couleur						x		× 2 8/ 20
Epaisseur						x		× 0,5 2/ 5
Croustillant				x				× 0,5 5/ 5
Coup : Développement							x	× 1 1/ 10
de : Régularité							x	× 1 1/ 10
lame : Déchirement		x						× 1 4/ 10
ASPECT DU PAIN								total = 25/ 70 × coef = 6,25/ 70
								total pain 14,75/ 100
Couleur						x		× 1 4/ 10
Texture : souplesse				x				× 1 10/ 10
Elasticité		x						× 1 4/ 10
Collant				x				× 1 10/ 10
Alvéolage : régularité		x						× 1 4/ 10
Epaisseur		x						× 1 4/ 10
Flaveur				x				× 4 40/ 40
ASPECT MIE								total mie 76/ 100
								Valeur boulangère 153,5/ 300

# ANNEXE 4

Tableau : grille de présentation des résultats de la méthode BIPEA sous la norme AFNOR pour le pain (E).

Interprétations	insuffisanc				excès			principe de calcul	
	1	4	7	10	7	4	1	des notes	
Lissage		x						× 0,5	2/ 5
Collant de la pâte				x				× 0,5	5/ 5
Consistance				x					
Extensibilité		x						× 0,5	2/ 5
Elasticité	x							× 0,5	0,5/ 5
Relâchement				x				× 0,5	5/ 5
PETRISSAGE								total=	14,5/ 25 × coef = 14,5/ 25
Pousse en cuve									
Détente : relâchement				x				× 1	
POINTAGE								total=	10/ 10 10/ 10
Allongement	x							× 0,5	0,5/ 5
Déchirement				x				× 0,5	5/ 5
Elasticité		x						× 0,5	2/ 5
Collant de la pâte				x				× 1	10/ 10
FACONNAGE								total=	17,5/ 25 × coef = 4,375/ 25
Activité fermentative		x						× 0,5	2/ 5
Déchirement		x						× 0,5	2/ 5
APPRET								total=	4/ 10 4/ 10
Collant de la pâte				x				× 1	10/ 10
Tenue						x		× 2	8/ 20
MISE AU FOUR								total=	18/ 30 × coef (*) = 18/ 30
								total pâte	50,875/ 100
Volume des pains								total=	7,5/ 30 7,5/ 30
Section	x							× 1	1/ 10
Couleur						x		× 2	8/ 20
Epaisseur						x		× 0,5	2/ 5
Croustillant				x				× 0,5	5/ 5
Coup : Développement							x	× 1	10/ 10
de : Régularité							x	× 1	10/ 10
lame : Déchirement		x						× 1	4/ 10
ASPECT DU PAIN								total =	40/ 70 × coef (*) = 10/ 70
								total pain	17,5/ 100
Couleur							x	× 1	1/ 10
Texture : souplesse				x				× 1	10/ 10
Elasticité		x						× 1	4/ 10
Collant				x				× 1	10/ 10
Alvéolage : régularité		x						× 1	4/ 10
Epaisseur		x						× 1	4/ 10
Flaveur				x				× 4	40/ 40
ASPECT MIE								total mie	73/ 100
								Valeur boulangère	141,375/ 300

## **ANNEXE 4**

---