

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique*  
*Université A. MIRA - Bejaia*

Faculté des Sciences et de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Alimentaires  
Filière : Sciences Biologique  
Spécialité : Sciences alimentaires  
Option : Bioprocédés et technologie alimentaire



Réf : .....

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

## **MASTER**

### *Thème*

Fortification en fer de la  
farine panifiable et de la  
semoule

Présenté par :  
**ADJLANE Damia & BELKACEM Yasmina**

Soutenu le : **24/06/2017**

Devant le jury composé de :

Mme <b>CHOUGUI</b> Nadia	MCA	Présidente
Mme <b>ADRAR</b> Sonia	MAA	Examinatrice
Mme <b>GUENDOUZE-BOUCHEFA</b> Naima	MCB	Encadreur
M. <b>MEKHANCHA</b> Djamel-Eddine	MAA	Co-encadreur

**Année universitaire : 2016 / 2017**

## **Remerciements**

Nous tenons à présenter nos remerciements au jury et particulièrement à Madame **CHOUGUI Nadia** pour l'honneur qu'elle nous a fait en présidant le jury de cette soutenance. Qu'elle veuille bien trouver ici l'expression de notre profonde et respectueuse gratitude. À Madame **ADRAR Sonia**, d'avoir bien voulu siéger au jury de notre soutenance, qu'elle trouve ici nos plus vifs remerciements.

Nos remerciements s'adressent à monsieur **MEKHANCHA Djamel Eddine** et madame **GUENDOUZE Naima**, pour leur encadrement.

Nos sincères remerciements à l'équipe du Centre de Développement et d'analyse en Agro-industrie Constantine pour nous avoir permis de faire notre stage pratique, et nous remercions en particulier monsieur **REBGUI Djamel** pour son accueil et son aide dans la réalisation de ce travail.

Nos sincère remerciements à l'équipe du laboratoire **ALNUTS** (Institut de la nutrition alimentation et technologies agro-alimentaires-Université Constantine) pour leur accueil et aide.

Nous tenons également à remercier monsieur **MOKRANI Lyes** et **Samir** ainsi que toute l'équipe de la boulangerie le flamant de Constantine pour leur collaboration.

Nous tenons également à remercier madame **BELKACEM Djedjega** pour son aide à la préparation de la galette.

Nous remercions tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

# *Je dédie ce travail*

*A mes chères parents «Saïd»  
et «Meriem»*

*Pour vos sacrifices tout au long de ma  
vie et de mon parcours.*

*Que ce travail soit, pour vous, un  
témoignage de ma vive reconnaissance  
et ma profonde affection.*

*A ma sœur « Nadine » et mes  
chères frères « Idir » et  
« Yanis »*

*A ma grand-mère «Djedjega»  
Ainsi qu'à mes oncles et  
tantes*

*A « Ghiles »*

*A mimi, meriem , wided,  
amira, khouloud, wassila,  
nada, houda, rahma et  
damia*

*Yasmína,*



# *Je dédie ce mémoire à ...*

## ***Mes chers parents***

*Pour votre soutien et vos encouragements  
Pour tous ce que vous m'apportez au quotidien  
Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour*

## ***Mes très chères sœurs : Mounia et Lynda***

*En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que  
je porte pour vous  
Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé  
et de réussite*

## ***Mes frères***

*Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection*

## ***Toute ma famille***

*Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de  
réussite.*

## ***Mes chers(es) ami(es)***

*Khaled, Massissilia, Massi, Leïla, Samira, Sarah, Nadia  
Yasmine et Nacira*

***Damia***

## **Table des matières**

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction 1

### **Synthèses bibliographique**

#### **Chapitre I**

I. Du grain de blé au pain et à la galette 2

I.1. blé 2

I.2. Farine et semoule de blé 2

I.2.1. composition de la farine et de la semoule 2

I.2.2. farine 3

I.2.3. semoule 4

I.3. Consommation de blé en Algérie 4

I.4. Panification 4

I.5. Galette 5

#### **Chapitre II**

II. Fer et carences en fer 6

II.1. Le fer 6

II.1.1. Définition 6

II.1.2. Besoins en fer 6

II.1.3. Apports nutritionnels conseillés en fer 7

II.2. Carence en fer 8

II.2.1. Définition de l'anémie 8

II.2.2. définition de l'anémie ferriprive 8

II.3. prévalence de l'anémie 9

II.3.1. Dans le monde 9

II.3.2. Au Maroc 9

II.3.3. En Algérie 10

## **Chapitre III**

III. Fortification des aliments en fer et prise en charge des anémies	12
III.1. Fortification de produits alimentaires	12
III.2. Fortification en fer de la farine de blé	12
III.2.1. Choix de la forme de fer	13
III.2.2. Dose de fer	15
III.2.3. Fortification en fer de la farine de blé dans le monde	15

### **Partie expérimentale**

<b>IV. Matériel et méthode</b>	17
IV.1. Matières utilisées	17
IV.1.1. Farine	17
IV.1.2. Semoule	17
IV.1.3. Complément alimentaire utilisé	17
IV.2. Dose de fer	18
IV.3. Panification	18
IV.4. Préparation de la galette	19
IV.5. Analyse sensorielle	21
IV.5.1. Choix de l'essai sensoriel	21
IV.5.2. Panel ou jury de dégustation	22
IV.5.3. Respect des conditions exigées par l'évaluation sensorielle	22
IV.5.4. Déroulement du teste	23
IV.5.5. Outil pour analyse statistique	23
IV.6. Caractérisation physico-chimique	24
IV.6.1. Teneur en eau	24
IV.6.2. Détermination du taux de cendres	24
IV.6.3. Granulométrie	25
IV.6.4. Teneur en gluten	26
IV.6.5. Dosage des protéines par méthode KJELDAHL	27
IV.6.6. Détermination de la teneur en matière grasse	28
IV.7. Détermination des caractéristiques rhéologiques de la farine au moyen	29

<b>V. Résultats et discussion</b>	31
V.1. Caractéristiques des produits utilisés	31
V.1.1. ALBIFER 60	31
V.1.2. Caractéristiques physico-chimiques de la farine et de la semoule	32
V.2. Fortification de la farine et de la semoule	34
V.2.1. Résultats rhéologiques de la farine fortifiée	34
V.2.2. Pain fortifié	36
V.2.3. Galette préparée	41
<b>Conclusion</b>	45
<b>Références bibliographique</b>	
<b>Annexes</b>	

## Liste des abréviations

**ANC** : Apport nutritionnel conseillé

**FNF** : Farine Non Fortifié

**FF** : Farine Fortifié

**PNF** : Pain Non Fortifié

**PF** : Pain Fortifié

**GNF** : Galette Non Fortifié

**GF** : Galette Fortifié

**CDAAI** : Centre de Développement et d'Analyse en Agro-Industrie

**AGRODIV** : Entreprise Publique Economique - Société Par Actions (EPE-SPA) AGRO-INDUSTRIE DIVERS



## Liste des tableaux

<b>Tableau I :</b> Composition de la farine de blé tendre et de la semoule par 100 g.	<b>3</b>
<b>Tableau II :</b> Correspondance entre taux de cendre et taux d'extraction.	<b>3</b>
<b>Tableau III :</b> Principaux types de semoules fabriquées en Algérie.	<b>4</b>
<b>Tableau IV :</b> Besoins quotidiens en fer selon l'âge et le sexe.	<b>7</b>
<b>Tableau V:</b> Apports conseillés en Fer.	<b>8</b>
<b>Tableau VI :</b> Pourcentages estimés de prévalence de l'anémie (1990-1995) en fonction de la concentration d'hémoglobine dans le sang.	<b>9</b>
<b>Tableau VII :</b> Enquête sur l'anémie au Maroc réalisée par le ministère de la santé publique, 1995.	<b>10</b>
<b>Tableau VIII :</b> Quelques enquêtes sur l'anémie réalisées en Algérie.	<b>11</b>
<b>Tableau IX:</b> solubilité et biodisponibilité des composés de fer utilisés pour l'enrichissement des aliments.	<b>14</b>
<b>Tableau X:</b> Quantités moyennes de nutriments à ajouter à la farine de blé sur la base de l'extraction, du composé et de l'estimation de la consommation moyenne de farine par habitant.	<b>15</b>
<b>Tableau XI :</b> Composition d'un sachet d'albifer.	<b>17</b>
<b>Tableau XII :</b> Ingrédients utilisés pour la fabrication du pain.	<b>18</b>
<b>Tableau XIII :</b> Ingrédients utilisés pour la préparation de la galette.	<b>20</b>
<b>Tableau XIV:</b> Descriptions des sujets d'un sachet d'albifer 60.	<b>32</b>
<b>Tableau XV :</b> Résultats d'analyse physico-chimie de la farine et de la semoule non fortifiée.	<b>33</b>
<b>Tableau XVI :</b> Résultats de l'alvéographe de CHOPIN de la farine fortifiée et non fortifiée.	<b>35</b>
<b>Tableau XVII :</b> Moyennes des poids et dimensions des pains.	<b>38</b>
<b>Tableau XVIII :</b> Analyses physico-chimiques des croûtes et des mies des pains.	<b>39</b>
<b>Tableau XIX:</b> Composition d'un pain fortifié et un pain non fortifié.	<b>39</b>
<b>Tableau XX :</b> Résultats de comparaison des fréquences.	<b>40</b>
<b>Tableau XXI :</b> Fréquences des décelées PNF vs PF.	<b>40</b>
<b>Tableau XXII :</b> Caractéristique particulière décelée pour le pain fortifié (PF).	<b>41</b>
<b>Tableau XXIII :</b> Comparaison des notes moyennes au seuil $\alpha = 5\%$ .	<b>42</b>
<b>Tableau XXIV :</b> Moyenne des poids et dimensions des GNF et GF.	<b>42</b>
<b>Tableau XXV :</b> Analyses physico-chimiques de la GNF en fer et la GF.	<b>43</b>

<b>Tableau XXVI :</b> Analyse sensorielle - Comparaisons des fréquences pour croûte, intérieur, odeur et saveur.	<b>43</b>
<b>Tableau XXVII :</b> Fréquences des déclarations pour Galette Non Fortifiée (GNF) vs Galette Fortifiée (GF).	<b>44</b>
<b>Tableau XXVIII :</b> Caractéristiques décelées pour la galette fortifiée (GF).	<b>44</b>
<b>Tableau XXIX :</b> Comparaison des notes moyennes au seuil $\alpha = 5\%$ .	<b>45</b>

## Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Structure du grain de blé.	<b>2</b>
<b>Figure 2:</b> Complément alimentaire ALBIFER 60.	<b>17</b>
<b>Figure 3 :</b> Etapes de fabrication du pain.	<b>19</b>
<b>Figure 4 :</b> Etape de préparation de la galette.	<b>20</b>
<b>Figure 5 :</b> Photographie de l'étuve Brabender.	<b>24</b>
<b>Figure 6 :</b> Photographie d'un four à moufles (BUHLER).	<b>25</b>
<b>Figure 7:</b> Photographie d'un appareil KJELDHAL.	<b>28</b>
<b>Figure 8 :</b> Photographie d'un extracteur des lipides BUCHI.	<b>29</b>
<b>Figure 09 :</b> Photographie d'un Alvéographe CHOPIN.	<b>30</b>
<b>Figure 10 :</b> Alvéogramme type d'une pâte à base de blé tendre réalisé sur l'Alvéographe Chopin.	<b>30</b>
<b>Figure 11 :</b> Photographie de la poudre d'ALBIFER 60 et sa dilution.	<b>32</b>
<b>Figure 12 :</b> Alvéogramme de la farine non fortifiée.	<b>36</b>
<b>Figure 13 :</b> Alvéogramme de la farine fortifiée.	<b>36</b>
<b>Figure 14 :</b> Pains Non Fortifiés (PNF) et pain fortifié (PF) ne se distinguent pas par la couleur de leur croûte.	<b>37</b>
<b>Figure 15 :</b> Aspects du Pain Non Fortifié (PNF) et du Pain Fortifié (PF).	<b>38</b>
<b>Figure 16 :</b> Galette fortifiée (GF) et galette non fortifiée (GNF).	<b>42</b>

# INTRODUCTION

---

## Introduction

Dans le monde et notamment dans les pays en développement, les carences en micronutriments, en particulier en fer, représentent un problème de santé publique. La carence en fer affecte environ deux milliard de personnes dans le monde (ZIMMERMANN et HURRELL, 2007). Les conséquences de ces carences sont multiples aussi bien sur la santé que sur le développement économique et social (EL HIOUI *et al.*, 2007).

Pour traiter les déficiences en micronutriments, il y a quatre stratégies de base : fortification alimentaire, suppléments, diversification alimentaire (SADIGHI *et al.*, 2009).

La fortification des aliments est une stratégie adoptée par plusieurs pays pour lutter contre les carences en micronutriments notamment en fer, elle consiste à trouver un meilleur compromis entre biodisponibilité du fer et effets organoleptiques indésirables en ajoutant du fer dans un aliment à fin d'augmenter son niveau de consommation par la population cible (NDEYE et NDIAYE *et al.*, 2009).

Le véhicule alimentaire (denrée alimentaire) approprié doit être largement consommé par la population cible, et ne présente pas de modifications organoleptiques après fortification (AKHTER *et al.*, 2008). L'alimentation des Algériens est réputée à base de céréales avec une forte consommation de pain (à base de farine de blé tendre) et de galette (à base de semoule de blé dur) (RASTOIN et BENABDERRAZIK, 2014).

Très peu de données récentes sont disponibles sur la carence en fer et la prévalence de l'anémie en Algérie. En 1999, la prévalence de l'anémie dans la population algérienne était estimée à 26% (FAO, 2005) soit le quart de la population. Sur la base de ces considérations, le Centre de Développement et d'Analyse en Agro-Industrie (CDAAI), filiale du groupe public AGRODIV, souhaite promouvoir une formule de fortification en fer de farine et de semoule. C'est dans ce cadre que nous avons été intégrés pour la réalisation de notre projet de fin de cycle avec comme objectif principal la réalisation d'une étude préliminaire avec quatre objectifs secondaires. Outre la définition d'un niveau de fortification de farine et de semoule, nous devons étudier l'impact de cette fortification sur trois paramètres d'acceptabilité de cette dose : qualité organoleptique, caractère panifiable de la farine et caractéristiques physico-chimiques des pains et galettes préparés à partir des farines et semoules fortifiées.

# SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

---

# CHAPITRE 1

---

## I. Du grain de blé au pain et à la galette

### I.1. Blé

Le blé est une céréale à très large consommation, c'est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae*. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé dur (*Triticum durum*) et le blé tendre (*Triticum aestivum*) (WISEMAN, 2001). C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscent dénommé "caryopse". Le grain est composé de trois parties principales qui sont, de la surface externe vers le centre du grain, l'enveloppe protectrice du fruit ou péricarpe (externe et interne), l'enveloppe de la graine ou testa, la bande hyaline, l'albumen et le germe (figure 1) (ROUAU *et al.*, 2010).

L'albumen amylicé du grain de blé se compose principalement d'hydrates de carbone (65 -75% d'amidon et fibres) et de protéines (7-12%). Il contient également des lipides (2-6%), de l'eau (12-14%) et des micronutriments. Il représente une bonne source de minéraux (particulièrement du magnésium) et de vitamines du groupe B. Il contient aussi de la vitamine E, d'autres antioxydants (acides phénoliques, caroténoïdes, etc.) et des lignanes (HEMERY *et al.*, 2007).

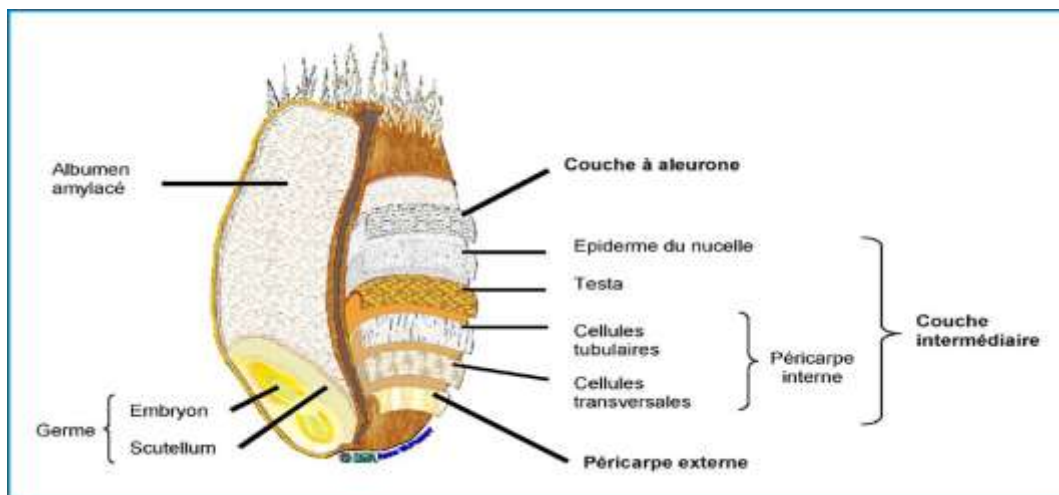


Figure 1: Structure du grain de blé (ROUAU *et al.*, 2010).

### I.2. Farine et semoule de blés

#### 1.2.1. Composition de la farine et la semoule

La composition biochimique de la farine de blé tendre destinée à la panification et de la semoule de blé dur (pour 100 g de produit) est montrée dans le tableau I (CIQUAL, 2016).



# Synthèse bibliographique

**Tableau I :** Composition de la farine de blé tendre et de la semoule par 100 g (CIQUAL, 2016).

	<b>Protéine (g)</b>	<b>Glucides (g)</b>	<b>Lipides (g)</b>	<b>Fe (mg)</b>	<b>Ca (mg)</b>	<b>Mg (mg)</b>	<b>Eau (g)</b>
<b>Farine de blé tendre panification</b>	10,4	71,5	1,15	0,9	19,5	24,9	13,6
<b>Semoule de blé dur</b>	10,9	71,4	1,36	0,92	16,9	26,5	12,1

## I.2.2. Farine

La farine de blé est le produit élaboré à partir des grains de blé ordinaire, *Triticum aestivum* L. ou blé ramifié, *Triticum compactum* Host., ou tous mélanges de ces derniers, par procédés de mouture ou de broyage dans lesquels le son et le germe sont partiellement éliminés et le reste réduit en poudre suffisamment fine (CODEX ALIMENTARIUS, 2007).

Compte tenu du fait que ce sont les parties périphériques de la graine, tégument séminal et assise protéique, qui sont les plus riches en matière minérale et, qu'à l'inverse, l'albumen amylicé n'en contient qu'environ 0,5%, la teneur en matière minérale d'une farine est utilisée comme marqueur de sa pureté. Les meuniers établissent des courbes de cendres pour suivre le bon réglage de leur moulin (FEILLET, 2000) (tableau II).

**Tableau II:** Correspondance entre taux de cendres et taux d'extraction de la farine (SHEHZAD, 2010).

<b>Cendres (% ms)</b>	<b>Taux d'extraction moyens (% farine)</b>	
	<b>mouture sur cylindres</b>	<b>mouture sur meules</b>
<b>&lt; 0,50</b>	70 – 75	-
<b>0,50 – 0,60</b>	75 – 80	-
<b>0,62 – 0,75</b>	78 – 83	70 – 72
<b>0,75 – 0,90</b>	82 – 86	78 – 80
<b>1,00 – 1,20</b>	87 – 90	-
<b>&gt; 1,40</b>	90 – 98	-

## I.2.3. Semoule

La semoule est un produit obtenu à partir de grains de blé dur par procédés de mouture ou de broyage au cours desquels l'albumen amylicé est isolé des autres tissus du grain qui sont retrouvés dans les fractions de type son et remoulage, généralement écartés de l'alimentation humaine (CHARMET *et al.*, 2017) (tableau III).

**Tableau III** : Principaux types de semoules fabriquées en Algérie (BENBELKACEM, 1995).

Type de semoule	Granulométrie	Utilisation
<b>Semoule Extra (SE)</b>	90% de refus au tamis N° 120	Fabrication de pâtes alimentaires Industrielles
<b>Semoule Moyenne (SM)</b>	90% de refus au tamis N° 100	Fabrication de couscous, galettes, biscuits, crêpes et de couscous industriel de type moyen
<b>Semoule Grosse (SG)</b>	50% de refus au tamis N° 40 et N°30	Fabrication de gros couscous

## I.3. Consommation de blé en Algérie

Depuis l'antiquité, les céréales ont constitué l'aliment principal dans la ration alimentaire des populations d'Afrique du Nord. Les céréales constituent la base du modèle de consommation alimentaire en Algérie avec 54% des apports énergétiques et 62% des apports protéiques provenant de ces produits en 2003 et le blé représentait 88% des céréales consommées (BENCHARIF et RASTOIN, 2007).

## I.4. Panification

La panification française est un processus de transformation des ingrédients (farine, eau, sel, levure et produits d'addition) en pâte pétrie, fermentée, mise en forme et cuite au four (NDIAYE *et al.*, 2014). Elle est réalisée en six étapes :

1. Pétrissage : Cette opération est à l'origine de nombreuses réactions d'hydrolyse et d'oxydoréduction, elle a pour but de former un mélange macroscopiquement homogène, structuré, stable et capable de se déformer (BUCHE, 2011).

2. Pointage : Représente une période de fermentation en masse au cours de laquelle le volume de la pâte peut tripler (SAULNIER *et al.*, 2014).
3. Façonnage (formage) : étape au cours de laquelle le boulanger donne sa forme définitive au pâton, elle peut se pratiquer manuellement ou mécaniquement. Dans une façonneuse, la pâte est laminée, enroulée puis allongée (BUCHE, 2011).
4. Apprêt (deuxième fermentation) : C'est la période de fermentation pour les pâtons façonnés (ROUSSEL *et al.*, 2010).
5. Scarification : Une étape qui vient juste avant la cuisson au cours de laquelle le boulanger donne des coups de lame aux pâtons de pain formés (ROUSSEL *et al.*, 2010).
6. Cuisson : Dernière étape de panification au cours de laquelle a lieu une série de transformations physiques, chimiques et biochimiques telles que la formation d'une structure alvéolaire plus ou moins développée, perte d'eau par évaporation, dénaturation des protéines, gélatinisation de l'amidon, formation d'une croûte et réactions de coloration. La température de cuisson varie selon les fours et selon le produit, entre 180 et 250 °C durant 20 à 30 minutes (NDANGUI, 2015).

### I.5. Galette

En Algérie, le blé dur est consommé uniquement sous forme de pâtes alimentaires et de couscous. Une part non négligeable est utilisée par les ménages pour la préparation de pain traditionnel sous forme de galette à base de semoule uniquement ou en mélange avec de la farine de blé tendre (LADRAA, 2012).

D'après KEZIH *et al.* (2013), les ménages produisent deux types de pain de blé dur sous forme de galette dans les régions de l'est de l'Algérie:

- **Kesra** avec quatre genres de galettes : Mathlouaa, Maadjouna, Rakhsis et Harcha avec des appellations qui changent d'une région à l'autre de l'Algérie mais les recettes de base sont pratiquement les mêmes.
- **Khobz eddar** ou « Pain de maison » (par opposition au pain cuit chez le boulanger) est bien différent de la Kesra par sa recette, sa cuisson et les circonstances de sa consommation.

# CHAPITRE 2

---

## II. Fer et carence en fer

### II.1. Fer

#### II.1.1. Définition

Le fer est l'oligoélément le plus important du corps humain. En effet l'organisme adulte contient normalement entre 4 et 5 g de fer (PIRCKHER, 2012). Il est essentiel au bon fonctionnement de l'organisme car il entre dans la composition de la myoglobine qui stocke l'oxygène dans les muscles ainsi que de l'hémoglobine des globules rouges du sang qui assurent le transport d'oxygène dans l'organisme. Il participe aussi à la synthèse d'ADN et intervient dans de nombreuses réactions enzymatiques indispensables à la respiration cellulaire. Le fer peut aussi être toxique sous sa forme libre en induisant la formation de radicaux libres pouvant générer un stress oxydatif lors de réactions d'oxydoréduction (SERRAJ *et al.*, 2013, COHEN-SOLAL *et al.*, 2014).

Le fer est exclusivement apporté par l'alimentation qui, équilibrée, permet de couvrir les besoins quotidiens en fer. Il existe deux formes de fer alimentaire : le fer héminique qui se trouve dans les viandes et les poissons (hémoglobine ou myoglobine), fer bien absorbé par l'organisme (15 à 35 %) et le fer non héminique qui se trouve dans les céréales, les légumineuses, les fruits et les légumes. L'absorption du fer non héminique par l'organisme est beaucoup plus faible que celle du fer héminique (2 à 20 %) (ABBASPOUR *et al.*, 2014).

L'absorption du fer dépend de la nature des substances qui sont contenues dans les aliments, certaines favorisent son absorption comme l'acide ascorbique contenu dans les fruits et légumes alors que les phytates des céréales et légumineuses ainsi que les tanins du thé et du café gênent l'absorption du fer (BAUDIN, 2012).

#### II.1.2. Besoins en fer

Les besoins en micronutriments (Fe, Mg, Zn, ...) sont calculés en tenant compte de la biodisponibilité, qui correspond au rapport de la quantité de nutriment ingéré sur la quantité de nutriment ayant pénétré dans le sang et les tissus. La biodisponibilité dépend de la dose et de la forme chimique du nutriment, de la matrice alimentaire, des procédés de préparation et de cuisson, des interactions avec les autres nutriments (DARMON *et DARMON*, 2008).

Le besoin en fer correspond à la quantité de fer qui, une fois absorbé, permet d'équilibrer les pertes, et assurer ainsi l'homéostasie du fer. Ce niveau des besoins en fer conditionne en grande partie, le risque de carence en fer (HININGER-FAVIER et HERCBERG, 2005). A certaines périodes de la vie, dans les situations de croissance (jeune enfant, grossesse), ce besoin devient particulièrement important, ce qui fait de ces groupes des populations aux plus forts risques de carence en fer. Le besoin moyen en fer est de l'ordre de 1 mg/j chez l'homme et de 2 mg/j chez la femme jeune, mais varie selon les circonstances physiologiques (ROUSSEL *et al.*, 2009).

Le tableau IV indique les besoins quotidiens en fer.

**Tableau IV:** Besoins quotidiens en fer selon l'âge et le sexe (DILLON, 2000).

Catégorie	Besoins moyens en fer (mg/j)
Nourrissons	0,8
Enfants d'âge scolaire	0,6
femmes non allaitantes	1,5
Femmes enceintes	4,5
Hommes adultes	1,0

### II.1.3. Apports nutritionnels conseillés en fer

Les apports nutritionnels conseillés (ANC) sont définis en fonction de l'âge et du sexe. Ils sont fixés à 7 mg/j pour les jeunes enfants, à 16 mg/j pour les femmes adultes et à 30 mg/j pour le troisième trimestre de grossesse contre 8 mg/j pour les hommes adultes (HININGER-FAVIER et HERCBERG, 2005). Cet apport permet de couvrir les besoins physiologiques de la quasi-totalité (97,5 % des sujets) de la population, population en bonne santé ou supposé l'être. Des apports plus faibles que ceux décrits peuvent être suffisants pour éviter le développement d'une anémie ferriprive (COUDRAY et HERCBERG, 2001).

Le tableau V illustre les apports nutritionnels conseillés en fer selon l'âge et le sexe.

**Tableau V:** Apports conseillés en fer (COUDRAY et HERCBERG, 2001 ; CHEVALLIER, 2009 ; LECERF et SCHLINGER, 2016).

Apport nutritionnel en fer (mg/jour)	Rôle physiologique	Carence en fer	
<b>Enfants</b>	Constitution de l'hémoglobine et de la myoglobine	1- Anémie ferriprive 2- Diminution de la résistance aux infections 3- Diminution des capacités intellectuelles et physiques	
1-3 ans			7
4-9 ans			7
10-12 ans			8
<b>Adolescents</b>			
13-19 ans			12
<b>Adolescentes</b>			
13-19 ans			14
<b>Hommes adultes</b>			9
<b>Femmes adultes</b>			16
<b>Hommes et femmes plus de 65 ans</b>			9
<b>Femmes enceintes</b>			25-35
<b>Femmes allaitante</b>			10
<b>Personnes âgées &gt;75 ans</b>	10		

## II.2. Carence en fer

### II.2.1. Définition de l'anémie

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'anémie est définie par la diminution de la concentration sanguine en hémoglobine dont la valeur seuil varie en fonction de l'âge, du sexe et de l'état physiologique de l'individu (13 g/dl chez les hommes, 12 g/dl chez les femmes et les enfants, 14 g/dl chez les nouveau-nés). Chez les femmes enceintes, l'anémie est déclarée en dessous de 10,5 g/dl. L'anémie est un problème ubiquitaire touchant tous les pays du monde qu'ils soient industrialisés ou non (NESTEL et DAVIDSSON, 2003, CLEVINGER et RICHARDS, 2015, YESSOUFOU *et al.*, 2015).

La principale cause de l'anémie est la carence en fer (ou carence martiale) avec environ deux milliards de personnes touchées partout dans le globe (CAMASCHELLA *et al.*, 2015).

### II.2.2. Définition de l'anémie ferriprive

L'anémie ferriprive est la diminution du taux d'hémoglobine dans le sang due au manque de fer dans l'organisme. C'est la plus fréquente des anémies. Le manque de fer retentit surtout sur la fabrication de l'hème, molécule de l'hémoglobine, et donc sur la synthèse

des globules rouges. En dehors du défaut d'apport, les causes d'anémie par carence martiale sont multiples et peuvent être séparées en deux grandes entités : une malabsorption ou une augmentation de la perte en fer (ALRIC et BONNET, 2009).

NESTEL et DAVIDSSON (2003) ont noté que la carence en fer survient en trois étapes consécutives qui sont :

- Des réserves de fer épuisées représentent la première étape qui est définie par un faible taux sérique de ferritine (<12 µg/L) ;
- Le second stade est connu sous le nom d'érythropoïèse causée par une carence en fer;
- L'anémie ferriprive est la troisième forme de carence en fer et c'est la plus grave

## II.3.Prévalence de l'anémie

### II.3.1. Dans le monde

La carence en fer, et en particulier l'anémie ferriprive, reste l'une des carences nutritionnelles les plus graves et les plus importantes dans le monde aujourd'hui. Elle touche les pays industrialisés et non industrialisés comme le montre le tableau VI (OMS, 2005).

**Tableau VI** : Pourcentages estimés de prévalence de l'anémie (1990-1995) en fonction de la concentration d'hémoglobine dans le sang (OMS, 2001).

Catégorie	Pays industrialisés	Pays non industrialisés
Enfants (0-4 ans)	20.1	39
Enfants (5-14 ans)	5.9	48.1
Femmes enceintes	22.7	52
Femmes (15 -59 ans)	10.3	42.3
Hommes (15-59 ans)	4.3	30
Personnes âgés de plus 60 ans	12	45.2

### II.3.2. Au Maroc

Au Maroc, l'anémie ferriprive semble être importante surtout chez les femmes enceintes et les enfants âgés de moins de 5 ans. Le tableau VII présente l'ampleur de l'anémie selon l'enquête nationale réalisée par le Ministère de la Santé Publique du Maroc en 1995 (FAO, 1998).



**Tableau VII** : Enquête sur l'anémie au Maroc réalisée par le ministère de la santé publique, 1995(FAO, 1998).

Source de l'enquête	Année de l'enquête	Echantillon			Pourcentage %
		Nombre	Sexe	Age (ans)	
<b>Ministère de la santé Publique</b>	1995	3238	M/F	0-5	34
		3797	F	18<	29.5
		407	F*	18<	45.2
		687	M	18<	10.2

**M** : Masculin

**F** : Féminin

**F\*** : Femme enceinte

### II.3.3. En Algérie

Les carences en micronutriments et l'anémie sont très répandues en Algérie, les groupes à risques sont les enfants et les femmes enceintes. Le tableau VIII indique quelques études épidémiologiques réalisées sur l'anémie en Algérie.

# Synthèse bibliographique

**Tableau VIII** : Quelques enquêtes sur l'anémie en Algérie

Année de l'enquête	Désignation de l'étude	Résultats	Références
1998,99	-	<p>Anémies légères :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 38% des enfants à l'âge scolaire</li> <li>- 49% des femmes en âge de procréer</li> </ul> <p>Anémies sévères :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 26% des enfants à l'âge scolaire</li> <li>- 15% des femmes à l'âge de procréer</li> </ul> <p>Hommes : 3%</p>	FAO, 2003
2006	Etude menée à Blida chez 90 femmes enceintes, réparties en 3 groupes (30 femmes de trois mois de grossesse, 30 femmes de six mois de grossesse et 30 autres femmes de neuf mois de grossesse).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Femmes enceintes de trois mois : 10%</li> <li>- Femmes enceintes de six mois : 33,33%</li> <li>- Femmes enceintes de neuf mois : 46,66%</li> </ul>	<b>BITAM et BELKADI, 2008</b>
2009	Etude menée à Sidi Bel Abbés chez 150 femmes enceintes âgées de 18 à 45 ans.	<p>111 femmes enceintes sont anémiques soit 74% dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 7 femmes, soit 6,3 % présentent une anémie au 1<sup>er</sup> trimestre de grossesse</li> <li>- 19 femmes, soit 17,11 % présentent une anémie au 2<sup>ème</sup> trimestre de grossesse</li> <li>- 85 de femmes soit 76,57% présentes une anémie au 3<sup>ème</sup> trimestre de grossesse</li> </ul>	<b>MOUCHE et MOULESSEHOUL, 2010</b>
-	Enquête menée à Tébessa sur un échantillon de 130 femmes enceintes âgées de 19 à 45ans.	20 femmes sont atteintes d'anémie sur 130 femmes : 15,38%	<b>TALEB et al., 2011</b>
-	L'étude est menée à Tébessa et a porté sur 200 enfants des deux sexes âgés de 1 à 24 mois.	48.5 %	<b>ABLA et al., 2016</b>

# CHAPITRE 3

---

## III. Fortification des aliments en fer et prise en charge des anémies

### III.1. Fortification de produits alimentaires

L'enrichissement des aliments, aussi appelé fortification alimentaire, désigne l'adjonction de micronutriments aux aliments transformés (ALLEN *et al.*, 2011). C'est l'addition à un aliment d'un ou plusieurs nutriments essentiels, normalement ou non contenu dans l'aliment, avec l'objectif de prévenir ou corriger une carence affirmée en un ou plusieurs nutriments dans la population ou dans des groupes de population spécifiques (BERGER, 2003).

Selon AKHTER *et al.* (2008), la fortification des aliments s'est révélée une efficace stratégie pour prévenir des carences en micronutriments. L'aliment « véhicule » doit être soigneusement choisi selon les habitudes alimentaires de la population ainsi que les groupes à risque.

L'enrichissement des aliments est une pratique adoptée depuis longtemps avec succès dans les pays industrialisés pour lutter contre les carences en vitamines A et D, en certaines vitamines du groupe B (thiamine, riboflavine et niacine), en iode et en fer (ALLEN *et al.*, 2011).

Par exemple l'iodation du sel a été adoptée depuis les années 20, maintenant plus de 70% des ménages dans les pays en développement ont accès au sel iodé (MCGEE *et al.*, 2016). La fortification de la farine de blé en micronutriments a été lancée aux États-Unis et au Canada en 1940 (AKHTAR *et ASHGAR*, 2011).

### III.2. Fortification en fer de la farine de blé

Les céréales ont été utilisées comme la base de l'alimentation humaine depuis l'antiquité et leurs implications dans l'alimentation humaine est encore très significative (ROSSEL *et al.*, 2016). Actuellement leurs farines sont les aliments véhicules les plus fréquemment utilisés pour la fortification en fer, calcium et zinc (AHMED *et al.*, 2008).

L'enrichissement en fer des aliments est considéré comme la meilleure approche pour combattre ou prévenir à long terme une carence en fer (AISSIOU, 2014). Bien qu'il soit le nutriment le plus difficile à ajouter aux aliments sans provoquer de changements sensoriels, de nombreux progrès ont été réalisés (BIEBINGER *et HURELL*, 2008). Il a été adopté avec succès pour la farine de blé, le riz, le sucre, le sel, le lait, la sauce de poisson et la poudre de

curry. D'autres aliments comme les biscuits au blé, la farine de maïs, les nouilles en farine de blé ont également été essayés (PLATEL, 2013).

### III.2.1. Choix de la forme de fer

Un bon fortifiant doit être organoleptiquement stable. Il doit avoir une bonne biodisponibilité et une bonne conservation au cours du stockage et de l'utilisation. Il doit être facilement disponible en complément alimentaire et d'un coût abordable (BERGER, 2003).

Les composés de fer hautement solubles dans le suc gastrique ont la plus grande biodisponibilité relative de tous les composés d'enrichissement en fer et sont donc le plus souvent les composés de choix. Cependant, ils sont aussi les plus susceptibles d'avoir des effets indésirables sur les qualités organoleptiques des aliments (ALLEN *et al.*, 2011).

Les composés peu solubles dans l'eau mais solubles en milieu acide présentent une bonne absorption avec l'avantage d'avoir moins d'effets organoleptiques. Les composés peu solubles en milieu acide ne provoquent pas de modifications organoleptiques mais leur absorption est très variable du fait de leur faible solubilité dans le suc gastrique. Enrichir un aliment consiste donc à trouver le meilleur compromis entre biodisponibilité et effets organoleptiques indésirables (BERGER *et* DILLON, 2002).

Le fer élémentaire et le sulfate ferreux sont les sources de fer les plus fréquemment utilisées pour la fortification de la farine mais ces dernières années le fer de sodium éthylène diamine tétra-acétate (NaFe-EDTA) a été préféré pour fortifier les farines à taux d'extraction élevés (SUN *et al.*, 2007).

Un nouveau composé de fer, le bisglycinate ferreux chélate a été utilisé pour prévenir l'anémie ferriprive et pour fortifier les aliments (LAYRISSE *et al.*, 2000). Il a été reconnu par l'agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux (FDA) comme sûr pour l'utilisation comme fortifiant dans les aliments (VAN STUIJVENBERG *et al.*, 2006).

En théorie, le chélate empêche le fer de se lier aux inhibiteurs des aliments ou de se précipiter en tant qu'hydroxyde ferrique insoluble dans le pH du petit intestin (BOVELL-BENJAMIN *et al.*, 2000)(tableau IX).

# Synthèse bibliographique

**Tableau IX:** Solubilité et biodisponibilité des composés de fer utilisés pour l'enrichissement des aliments (ALLEN *et al.*, 2011) .

	Teneur en fer (mg)	Biodisponibilité relative <sup>A</sup>
<i>Soluble dans l'eau</i>		
Sulfate ferreux, 7H <sub>2</sub> O	20	100
Sulfate ferreux anhydre	33	100
Gluconate ferreux	12	89
Lactate ferreux	19	67
Bisglycinate ferreux	20	>100 <sup>B</sup>
Citrate ferrique d'ammonium	17	51
NaFe-EDTA	13	>100 <sup>B</sup>
<i>Peu soluble dans l'eau, soluble dans les acides dilués</i>		
Fumarate ferreux	33	100
Succinate ferreux	33	92
Saccharate ferrique	10	74
<i>Insoluble dans l'eau, peu soluble dans les acides dilués</i>		
Orthophosphate ferrique	29	25–32
Pyrophosphate ferrique	25	21–74
Fer élémentaire	–	–
H-réduit	96	13–148 <sup>C</sup>
CO-réduit	97	(12–32)
Électrolytique	97	75
<i>Formes encapsulées</i>		
Sulfate ferreux	16	100
Fumarate ferreux	16	100

**NaFeEDTA** : l'éthylène diamine tétra-acétate de fer et de sodium ; **H-réduit** : réduit par l'hydrogène ; **CO-réduit** : réduit par le monoxyde de carbone.

<sup>A</sup> Par rapport au sulfate ferreux hydraté (FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) chez l'Homme adulte. Les valeurs entre parenthèses sont dérivées d'études chez le rat.

<sup>B</sup> L'absorption est deux à trois fois meilleur que celle du sulfate ferreux lorsque la teneur du véhicule alimentaire en phytates est élevée.

<sup>C</sup> La valeur la plus élevée se rapporte à un fer de granulométrie très fine qui n'a été utilisée que dans des études expérimentales.

## III.2.2. Doses de fer

Des études efficaces ont démontré que la consommation quotidienne de 7,1 mg de fer en tant que sulfate ferreux équivalent à 7,1 mg fumarate ferreux, 4,9 mg EDTA de sodium de fer ou 10 mg de fer électrolytique, par les produits de farine fortifiée améliorera le statut de fer des femmes en âge de procréer (FFI, 2008).

Sur la base des données provenant des bilans alimentaires de la FAO et des enquêtes sur les revenus et les dépenses des ménages (HIES) soutenues par la Banque mondiale, il a été proposé d'envisager quatre paliers de consommation moyenne de la farine de blé pour l'élaboration des programmes d'enrichissement. Le tableau X montre les quantités moyennes de fer à ajouter à la farine de blé selon son taux d'extraction, de la forme de fer et de l'estimation de la consommation moyenne de farine par habitant (OMS, FAO, UNICEF, GAIN, MI, FFI, 2009).

**Tableau X** : Quantités moyennes de nutriments à ajouter à la farine de blé sur la base de l'extraction, du composé et de l'estimation de la consommation moyenne de farine par habitant (OMS, FAO, UNICEF, GAIN, MI, FFI, 2009).

Taux d'extraction de la farine	Composé	Quantités de nutriments à ajouter en parties par million (ppm) en fonction de l'estimation de la consommation moyenne de farine par habitant (g/jour)			
		<75 g/jour	75-149 g/jour	150-300 g/jour	>300 g/jour
<b>Faible</b>	NaFe-EDTA	40	40	20	15
	Sulfate ferreux	60	60	30	20
	Fumarate ferreux	60	60	30	20
	Fer électrolytique	NR	NR	NR	NR
<b>Elevé</b>	NaFe-EDTA	40	40	20	15

NR : non recommandé.

## III.3. Fortification en fer de la farine de blé dans le monde

D'après AGUENAOU (2007), le Maroc utilise la farine enrichie en fer (sous forme de fer élémentaire électrolytique) avec un taux d'adjonction de 45 mg/kg de farine. Le fer a été incorporé dans un mélange préparé comprenant les vitamines B1 (4,5 mg/kg), B2 (2,79 mg/kg), pp (36,18 mg/kg) et l'acide folique (1,53 mg/kg).

Au Venezuela, la farine de blé a été enrichi avec le fumarate ferreux, après une année une réduction de 50 % de la prévalence de l'anémie parmi les enfants d'âge préscolaire a été enregistrée (HAMDouchi, 2010).



# PARTIE EXPERIMENTALE

---

# MATERIEL ET METHODE

---

## IV. Matériel et méthodes

### IV.1. Matières utilisées

Le but de notre travail est de fortifier de la farine et de la semoule par le fer. Pour cela nous avons eu besoin de farine, semoule et complément alimentaire.

#### IV.1.1. Farine

L'équipe du Centre de Développement et d'analyse en Agro-industrie (CDAAI, Constantine) s'est chargée de choisir une farine adéquate parmi leurs échantillons pour nous proposer une farine panifiable courante non enrichie en améliorants avec un taux d'extraction élevé (entre 75 et 78) provenant d'une des minoteries du groupe AGRODIV.


#### IV.1.2. Semoule

Nous avons utilisé une semoule Extra des moulins GERBIOR groupe BENHAMADI-Bordj Bou Arreridj achetée dans le commerce.

#### V.1.3. Complément alimentaire utilisé

Pour nos essais de fortification, nous avons opté pour le bisglycinate de fer disponible en pharmacie sous la dénomination commerciale ALBIFER 60. Il s'agit d'une poudre blanchâtre facilement soluble dans l'eau. Son emballage et sa composition sont présentés respectivement dans le tableau XI et la figure 2.

Tableau XI: Composition d'un sachet ALBIFER 60.	
Composé	Quantité
Bisglycinate de fer	60 mg équivalent 12 mg de fer
Acide citrique	-
Maltodextrine	-
Silice	-
Arôme fraise	-
Mannitol	-
Sucralose	-



**Figure 2:** Complément alimentaire ALBIFER 60.

### IV.2. Dose de fer

La démarche préconisée par le laboratoire de recherche Alimentation, Nutrition et Santé (ALNUTS) de l'Université de Constantine, partenaire du CDAAI/AGRODIV dans le montage du projet, est de ne pas imposer une fortification en fer obligatoire de la farine et de la semoule. Le but est d'offrir des produits fortifiés à la demande pour des personnes carencées.

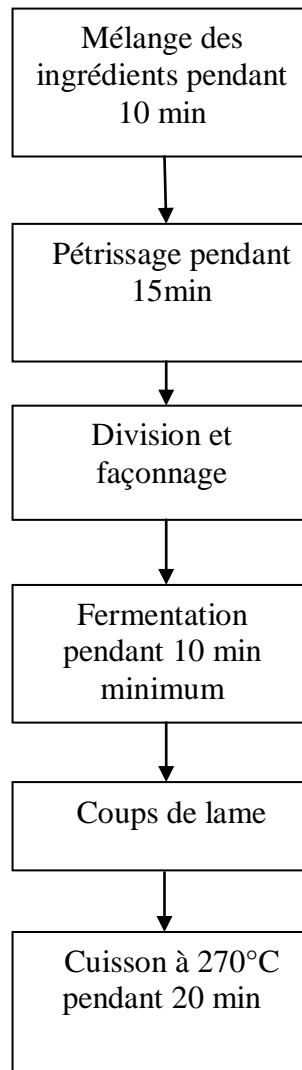
Nous avons estimé qu'une dose de 4 mg par 100 g de produit est suffisante pour compléter l'apport d'une personne.

### IV.3. Panification

Pour la préparation du pain nous avons associé une boulangerie à Constantine, la boulangerie « le flamant». Les ingrédients et la panification sont présentés respectivement dans le tableau XII et la figure 3.

**Tableau XII :** Ingrédients utilisés pour la fabrication du pain.

Ingrédients	Quantités pour pains non fortifiés	Quantité pour pains fortifiés
Farine	3000 g	3000 g
Sel	54 g	54 g
Levure	15 g	15 g
Eau	1,05 Litre	1,05 litre
Bisglycinate de fer	-	600 mg équivalent à 120 mg de fer



**Figure 3:** Etapes de fabrication du pain.

Les échantillons de pains étaient désignés par PNF et PF pour respectivement Pain Non Fortifiée et Pain Fortifiée.

#### **IV.4. Préparation de la galette**

Les échantillons de galette ont été fournis par un ménage sollicité pour notre étude. Nous présentons les ingrédients utilisés pour sa fabrication dans le tableau XIII.

**Tableau XIII:** Les ingrédients utilisés pour la préparation de la galette.

Ingrédients	Quantité pour galette non fortifié (g)	Quantité pour galette fortifié (g)
Semoule	3000	3000
Sel	60	60
Levure	8	8
Huile	202	202
Sucre	10	10
Eau	1210	1210
Bisglycinate ferreux	-	0,6 équivalent à 0,12

La fabrication de la galette (figure 4) se fait par mélange des ingrédients (semoule fortifiée+ sel + levure + sucre), puis pétrissage manuel de la pâte dans un récipient, et ajout d'huile, après de l'eau progressivement, mettre en boule la pâte puis, l'abaisser avec un rouleau à pâtisserie jusqu'à obtention d'une galette avec l'épaisseur désirée. Chauffer le tadjine en tôle sur une tabouna au gaz, et cuisson de la galette sur le tadjine en tôle et piquage de la pâte avec une fourchette, retournement de la galette pour cuisson de la deuxième face.



**1- Mélange des ingrédients**



**2- Pétrissage**



**3- Boules de pâtes**



**4- Abaissement de la pâte**



**5- Cuisson au gaz sur tadjin en toile**



**6- Galette cuite**

**Figure 4:** Etapes de préparation de la galette.

Les échantillons de galettes étaient désignés par GNF et GF pour respectivement Galette Non Fortifiée et Galette Fortifiée.

### IV.5. Analyse sensorielle

Le but de l'analyse sensorielle était de rechercher d'éventuelles différences induites par l'ajout du complément de fer décelable par des sujets naïfs.

#### IV.5.1. Choix de l'essai sensoriel

Pour rechercher une différence sensorielle entre deux produits : PNF *versus* PF et GNF *versus* GF, nous avons choisi l'essai de comparaison par paires selon la norme [AFNOR NF V09-012](#) (1983) reproduisant la norme ISO 5495. Cet essai est également décrit dans la norme [AFNOR NF V09-001](#) relative à la méthodologie (Directives générales).

Cet essai était suivi de la recherche d'une préférence selon une hypothèse bilatérale. Cet essai est recommandé pour un grand nombre de sujets naïfs.

#### IV.5.2. Panel ou jury de dégustation

Le jury d'analyse sensorielle était constitué de sujets naïfs tels que définis par les normes AFNOR suivantes :

- [NFV00-150](#) (1992) relative au vocabulaire et reproduisant la norme ISO 5492 (1992) ;
- [NFV09-003-1](#) (1993) relative aux sujets ;
- [NFV09-001](#) (1983) relative à la méthodologie (Directives générales) ;

Un sujet naïf est un sujet qui ne répond à aucun critère particulier.

Le panel était constitué de 36 sujets pour les pains et de 40 sujets pour les galettes. Il s'agissait surtout d'étudiants et d'enseignants de l'Institut de la Nutrition, de l'Alimentation et Technologies Agro-alimentaires (INATAA) de l'Université Frères MENTOURI Constantine 1 (UFMC1). Certains d'entre eux pouvaient être des sujets naïfs mais initiés.

#### IV.5.3. Respect des conditions exigées par l'évaluation sensorielle

Nous avons veillé à respecter autant faire se peut les conditions exigées pour les sujets, le lieu de déroulement des épreuves et les échantillons soumis aux essais telles que définies par les normes AFNOR suivantes :

- NfV09-001 (1983) relative à la méthodologie (Directives générales) ;
- NfV09-003-1 (1993) relative aux sujets ;
- NfV09-105 (1987) relative aux locaux ;
- NfV09-005 (1982) relative aux échantillons ;

Les sujets étaient volontaires et leurs aptitudes sensorielles ne semblaient pas être altérées par des médicaments, des cosmétiques ou consommations de produits à goût persistant.

Le local occupé par le laboratoire ALNUTS a été aménagé en laboratoire d'évaluation sensorielle. Les lieux étaient propres. Les paillasses du laboratoire ont été aménagées en espace de dégustation. Les sujets n'étaient pas séparés par des cloisons mais étaient installés à des postes très éloignés les uns des autres. Les dégustateurs se présentaient individuellement ou par petits groupes sur plusieurs sessions. Les échantillons étaient présentés dans des assiettes blanches à usage unique.

#### **IV.5.4. Déroulement du test**

Nous avons présenté aux dégustateurs deux échantillons codés : A (fortifié) et B (non fortifié). Les sujets devaient noter leurs réponses sur un bulletin papier que nous fournissons en annexe 01 et 02.

L'évaluation sensorielle comprend trois temps.

- Dans un premier temps, les sujets devaient se prononcer sur la couleur de la croûte, la couleur de la mie (pain) ou l'intérieur (galette), l'odeur et la saveur en choisissant une des deux modalités proposées. Les fréquences des modalités déclarées par les dégustateurs étaient comparées avec un test de  $\chi^2$  au seuil de significativité  $\alpha$  de 5%. Ainsi par exemple, pour la couleur de la croûte nous comparons la fréquence de déclaration de la modalité « normale » pour A *versus* la modalité « normale » pour B. Notre hypothèse  $H_0$  étant que les produits A et B ont tous les deux une couleur normale (pas de différence).



- Dans un deuxième temps, les sujets étaient invités à participer à un essai de comparaison par paires en se prononçant sur :
  - 1-L'existence d'une différence ;
  - 2-L'identification d'une éventuelle caractéristique particulière s'il y a différence ;
  - 3-Leur préférence A ou B.
- Dans un troisième temps, les sujets étaient invités à donner une note sur 10 afin de comparer par la suite les notes moyennes obtenues par les produits non fortifiés versus les produits fortifiés. La comparaison des deux moyennes a été envisagée au seuil de significativité  $\alpha$  de 5%.

### **IV.5.5. Outils pour analyse statistique**

La comparaison de fréquence et la comparaison des deux notes moyennes ont été effectuées avec le module EpiTable calculateur du logiciel EpiInfo 6.04dfr (CDC/OMS, 2001).

### **IV.6. Caractérisation physico-chimique**

#### **IV.6.1. Teneur en eau**

- **Principe**

L'étuve Brabender est un humidimètre électronique fonctionnant selon le principe du séchage en étuve à 130 °C. Il détermine la perte de poids de l'échantillon due au séchage. Le logiciel intégré effectue les mesures de manière entièrement automatique et l'enregistrement des résultats.

- **Mode opératoire**

Pour déterminer la teneur en eau, un échantillon de 10 grammes est placé dans une étuve automatique (figure 5) réglée à 130 °C pendant 1 heure (norme N° 06. 1995.04). Les résultats s'affichent directement sur l'écran tactile de l'étuve et sont exprimés en pourcentage.



**Figure 5** : Photographie de l'étuve Brabender.

### IV.6.2. Détermination du taux de cendres

- **Principe**

La teneur en matière minérale est déterminée par incinération d'une prise d'essai à une température de 550 °C pendant 4 heures jusqu'à combustion complète de la matière organique et pesée du résidu obtenu (N.E 1.1.28.1985).

- **Mode opératoire**

Chauffer les nacelles durant 10 à 15 min dans le four à moufle réglé à 550 °C (figure 6), les laisser refroidir à température ambiante dans le dessiccateur pendant une heure environ. Peser sur une balance analytique la nacelle à incinération vide puis peser 5 g de l'échantillon à analyser, ensuite ajouter quelques gouttes d'acide chlorhydrique et quelques gouttes d'éthanol à 96° enfin, placer la nacelle dans le four, la minéralisation est poursuivie pendant quatre heures jusqu'à combustion totale de la matière organique et apparition d'un résidu blanchâtre. Retirer la nacelle du four et la mettre à refroidir dans le dessiccateur jusqu'à température ambiante, puis la peser rapidement.

Le taux de cendres est calculé selon la formule suivante :

$$TC = (P2 - P1) * \frac{100}{m} * \frac{100}{100 - H}$$

Tels que,

P1 : Poids de la nacelle vide (g) ;

P2 : Poids de la nacelle avec incinération (g) ;

m : Prise d'essai (g);

H : Humidité de l'échantillon.



**Figure 6 :** Photographie d'un four à mouffles (BUHLER).

### IV.6.3. Granulométrie

- **Principe**

Le taux d'affleurement est la quantité de semoule ou de farine extraite ou refusée par un tamis dont l'ouverture de maille est choisie en fonction du produit à considérer (NI/PHY/C.L/01).

- **Mode opératoire**

Selon la norme (NI/PHY/C.L/01), 100 g de produit (farine, semoule) ont été introduits dans un tamis où deux ou trois boules de caoutchouc ont été disposées. Le plansichter (de marque BÛCHER) consiste à passer à travers un tamis de 200  $\mu\text{m}$  d'ouverture de maille, une prise d'essai de 100 g de farine et dans un tamis de 200  $\mu\text{m}$  et 450  $\mu\text{m}$  d'ouverture de maille, une prise d'essai de 100 g de semoule. Le tamisage dure 5 min et le refus du tamis est pesé à 0,001g près.

### IV.6.4. Teneur en gluten

- **Principe**

L'extraction du gluten est réalisée manuellement. Il est extrait sous un filet d'eau en continu à partir d'une pâte à base de farine ou de semoule et d'eau salée (norme NE.1.1.25.1985).

- **Mode opératoire**

Pour déterminer la teneur en gluten, un pàton a été préparé en mélangeant 10 g de farine mélangée avec une solution de NaCl (20 g/L). Après homogénéisation, le pàton est malaxé à la main sous un mince filet d'eau. Cette opération est dite la lixiviation. L'eau de "lavage", blanche au début de la lixiviation, devient de plus en plus limpide, au fur et à mesure de l'évacuation de l'amidon. Lorsque cette eau est devenue limpide, le gluten

obtenu est essoré, puis centrifugé (centrifugeuse de marque Perten) pour éliminer l'excès d'eau. Ensuite, il est pesé sur une balance (de marque OIML 01) ; c'est du gluten humide. Pour connaître la masse du gluten sec, le gluten humide est placé dans une plaque chauffante (de marque GLUTORK) pendant quelques minutes, puis il est pesé (norme [NE.1.1.25.1985](#)).

La teneur en gluten humide (GH) est exprimée en pourcentage :

$$GH = \frac{mGH}{mE} * 100$$

Tels que,

mGH : Masse de gluten humide (g);

mE : Masse de la farine ou semoule utilisée (10g).

La teneur en gluten sec (GS) est exprimée en pourcentage :

$$GS = \frac{mGS}{mE} * 100$$

Où,

mGS : Masse du gluten sec (g).

#### IV.6.5. Dosage des protéines par la méthode de KJELDAHL

- **Principe**

La méthode Kjeldahl consiste à transformer l'azote organique en azote minéral (minéralisation), puis à déplacer l'ammoniac du sel d'ammonium obtenu (distillation) pour le neutraliser par une solution acide de titre connu ([ISO 1871](#)).

- **Mode opératoire**

Selon la norme [ISO 1871](#), le dosage de l'azote organique par la méthode KJALDHAL comprend trois étapes :

Minéralisation sulfurique

Introduire dans une fiole KJALDHAL de 500 mL : une prise d'essai de 1 g d'échantillon (farine, semoule, pain, galette) avec 2,5 g de catalyseur et 20 mL d'acide sulfurique concentré (98,08 %) puis porter la fiole sur une rampe chauffante permettant l'aspiration des vapeurs sulfurique jusqu'à ce que la solution devient limpide, fin de la minéralisation (figure 7).

### Distillation

Mettre dans un bécher 20 mL d'acide sulfurique (0,1%), bien tremper le bec de l'appareil dans le bécher, puis verser dans la fiole contenant la solution limpide 150 mL d'eau distillée et 80 à 83 mL de lessive de soude et mettre la fiole en place pour la distillation jusqu'à récupération de 100 ml de distillat.

### Titrage

Après récupérer du distillat, rajouter quelques gouttes de rouge de méthyle, puis titrer à la soude (0,1%) jusqu'à décoloration en jaune pâle, le volume du NaOH s'affichera dans l'écran de la burette automatique.



**Figure 7 :** Photographie d'un appareil KJELDHAL

Les résultats de cette analyse sont exprimés comme suit :

- Calcul de la matière telle qu'elle (MTQ) :

$$MTQ = (V1 - V2) \times 0,14 \times Coefficient$$

Tels que,

V1 : Volume de l'acide sulfurique  $H_2SO_4$  (0,1%) ;

V2 : Volume due la soude NaOH ;

Coefficient : 5,7 pour les céréales.

- Calcul de la matière sèche (MS) :

$$MS = \frac{MTQ}{100 - H}$$

Où,

MTQ : Matière telle qu'elle ;

H : Humidité.

### IV.6.6. Détermination de la teneur en matière grasse

- **Définition**

Selon la norme [ISO 7302](#), la matière grasse d'un aliment est la substance extraite par un solvant choisi (éther de pétrole ou hexane) dans des conditions bien déterminées.

- **Mode opératoire**

Peser 3 ou 4 g de l'échantillon à analyser (selon la teneur du produit en matière grasse) et les mettre dans une cartouche puis la placer dans soxhlet, un appareil extracteur de lipides (de marque BUCHI) (figure 8); mettre les verres de l'appareil dans l'étuve pendant 30 min puis les peser, puis les remplir par l'éther de pétrole et les visser dans l'appareil après programmation de ce dernier, puis allumer les résistances. Trois étapes successives se sont déroulées: l'extraction (40 min), rinçage (10 min) et séparation. Mettre les verres dans l'étuve à 100°C pendant 30 min après l'étape de séparation pour évaporation du solvant qui reste, puis séchage au dessiccateur pendant 15 min, repeser ensuite les verres.

La teneur en matière grasse a été déterminée selon la formule qui suit :

$$MG\% = \frac{(P2 - P1) \times 100}{3}$$

Où,

P2 : Poids du verre après extraction de la matière grasse (g) ;

P1 : Poids du verre vide (g).



**Figure 8** : Photographie d'un extracteur des lipides BUCHI.

### IV.7. Détermination des caractéristiques rhéologiques de la farine

- **Principe**

La détermination des caractéristiques rhéologiques de la farine a été réalisée au moyen de l'alvéographe. Ce test alvéographique consiste à produire une éprouvette de pâte qui, sous l'action d'une pression d'air, se déforme en une bulle plus ou moins volumineuse

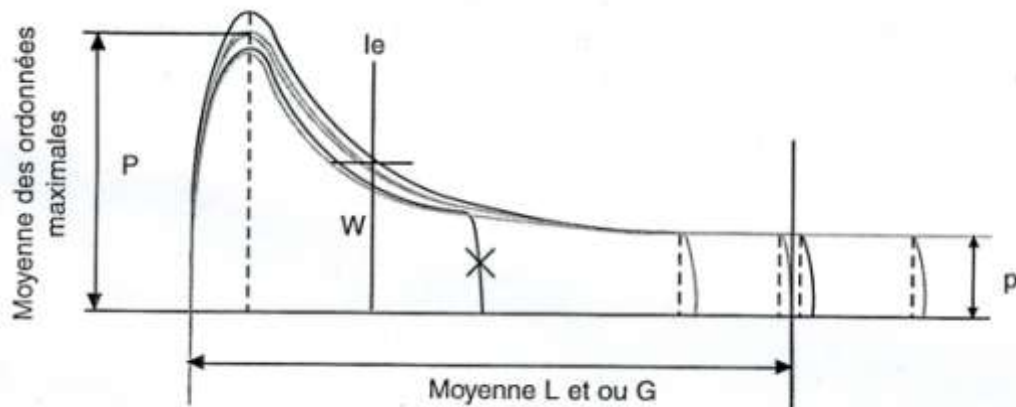
selon son extensibilité et éclate. L'évolution de la pression dans la bulle est mesurée et reportée sous forme de courbe appelée alvéogramme (norme ISO 5530-4).

- **Mode opératoire**

Mettre 250 g de farine dans le pétrin de l'Alvéographe avec une quantité d'eau salée selon l'humidité de la farine. Le pétrissage va durer 8 minutes (figure 9), préparation de 5 pâtons calibrés après placement de quelques gouttes d'huile de paraffine sur la plaque, repos des pâtons pendant 28 minutes dans l'enceinte isotherme de température 25°C; puis les mettre un après un après repos dans l'Alvéographe NG où le gonflement automatique de chaque pâton se fait jusqu'à éclatement de la bulle. La pression à l'intérieur de la bulle de pâte est enregistrée sous forme de courbe (figure 10).



**Figure 9:** Photographie d'un Alvéographe CHOPIN.



**Figure 10 :** Alvéogramme type d'une pâte à base de blé tendre réalisé sur l'Alvéographe CHOPIN (CHOPIN TECHNOLOGIE, 2010).

Les différents paramètres alvéographiques enregistrés sont :

- P : Correspond à la pression maximale d'air insufflée nécessaire à la déformation et donc à l'obtention de la bulle de pâte. Il est donné en mm d'eau sur l'axe des ordonnées de l'alvéogramme;
- L : Correspond à l'extensibilité de la pâte depuis le début du gonflement jusqu'à l'éclatement de la bulle. Il est donné en mm sur l'axe des abscisses de l'alvéogramme ;
- G : Gonflement de la pâte est exprimé en  $\text{cm}^3$ . Il est donné par l'équation suivante :  $G=2.266\sqrt{L}$  ;
- P/L : Rapport de configuration de la courbe ou rapport de ténacité au gonflement, représente l'équilibre entre la ténacité et l'extensibilité de la pâte,
- W : exprime la force boulangère de la pâte, sa valeur est proportionnelle à la surface (S) de la courbe. Il s'exprime en énergie ( $10^{-4}$  joules).



# RESULTATS ET DISCUSSION

---

## V. Résultats et discussion

### V.1. Caractéristiques des produits utilisés

#### V.1.1. ALBIFER® 60

Nous avons pesé le contenu d'un sachet ALBIFER® 60. Un sachet contenait 1,2125 g de poudre dont 60 mg de bisglycinate de fer (figure 11). La différence soit 1,1525 g représentait la masse de divers ingrédients listés par la notice : acide citrique, silice, maltodextrine, arôme fraise, mannitol et sucralose,



Poudre d'ALBIFER® 60



Dilution de la poudre dans l'eau

**Figure 11:** Photographie de la poudre d'ALBIFER® 60 et sa dilution.

Huit personnes ont été invitées à consommer et décrire le produit. Les résultats ont été regroupés dans le tableau XIV.

**Tableau XIV:** Description des sujets d'un sachet ALBIFER® 60.

Sujets	Description
1	Couleur grisâtre avec un goût sucré et fruité
2	Goût fraise et sucré
3	Bonne odeur et goût sucré
4	Couleur de la poudre beige clair ; Odeur métallique ; Goût sucré et fruité ; Couleur de la solution marron
5	Goût sucré odeur métallique couleur blanc légèrement grisâtre
6	Goût sucré avec une odeur désagréable
7	Bonne odeur et goût de fraise avec arrière-goût désagréable
8	Poudre blanche, couleur de la solution orange et goût sucré

Les huit sujets avaient tous relevé la saveur sucrée due à la présence de sucralose. Le sucralose est un édulcorant non calorique dérivé du saccharose et dont la puissance sucrante est 600 fois plus élevée (MA *et al.*, 2009).

## V.1.2. Caractéristiques physico-chimiques de la farine et de la semoule

Les résultats des analyses physico-chimiques (Humidité, cendres, taux de protéines, taux de matière grasse, granulométrie, gluten sec et gluten humide) de la farine et de la semoule avant fortification en fer sont présentés dans le tableau XV.

**Tableau XV:** Résultats d'analyse physico-chimie de la farine et de la semoule non fortifiée.

Echantillons	Farine	Semoule
<b>Paramètres</b>		
<b>Teneur en eau%</b>	13,70	13,14
<b>Granulométrie %</b>		
- Tamis 200 µm	12,00	36,93
- Tamis 450 µm		62,38
<b>Gluten %</b>		
- Humide	25,30	31,40
- Sec	10,30	13,40
<b>Cendres %</b>		
- MTQ %	0,57	0,57
- MS %	0,66	0,66
<b>Protéines %</b>	11,84	12,17
<b>Matière grasse %</b>		
- MTQ	1,06	0,53
- MS	1,23	0,61

MTQ : Base matière telle quelle ; MS : Base matière sèche

### V.1.2.1. Teneur en eau

La teneur en eau de la farine est un paramètre important en boulangerie puisque l'humidité de la farine dépend du taux d'hydratation de la pâte et les caractéristiques rhéologiques du pain (COLAS, 1991).

Selon la commission du *CODEX ALIMENTARIUS* (1991), la teneur en eau des farines de blé ne doit pas dépasser 15,5 % et celle de la semoule de blé dur ne doit pas être supérieure à 14,5 %. La teneur en eau de la farine et de la semoule utilisées était conforme aux normes.

### V.1.2.2. Granulométrie

Selon GALOUL *et al.* (2011), la granulométrie de la semoule est un indicateur de sa capacité à conserver l'eau permettant ainsi de déterminer son utilisation. Connaître la granulométrie de la farine permet de déterminer son comportement : vitesse d'absorption d'eau, capacité de rétention d'eau, etc. La granulométrie est également liée à d'autres

paramètres tels que l'amidon endommagé et la couleur. Elle permet une meilleure caractérisation de la farine.

Plus de 62% de la semoule a une granulométrie comprise dans l'intervalle] 200-450]  $\mu\text{m}$ . La semoule utilisée avait une granulométrie inférieure à 500  $\mu\text{m}$ , c'était donc une semoule sassée super extra (ou SSSE) avec une granulométrie comprise entre 190 et 550  $\mu\text{m}$  (DJEGHIM, 2016).

Selon la norme Codex Stan 178-1991 du *CODEX ALIMENTARIUS* (1995), 98% ou plus de la farine doit passer au travers d'un tamis de 212  $\mu\text{m}$ , la farine utilisée 88% est passé à travers un tamis de 200  $\mu\text{m}$  (mailles inférieures à 212  $\mu\text{m}$ ).

### V.1.2.3. Gluten

Le gluten représente un ensemble de protéines de blé insolubles qui sont les gluténines et les gliadines, ce complexe joue un rôle important, il donne la structure et la résistance aux pâtes levées lors de la panification (HERRERO et ETIENNE, 2009).

La farine utilisée renfermait 23,5 % de gluten humide et 10,3 % de gluten sec. Le gluten de cette farine était de couleur crème, mou et peu élastique.

La semoule utilisée comprenait 31,4 % de gluten humide et 13,4 % de gluten sec. Le gluten de cette semoule était de couleur jaune-crème, mou et peu élastique.

### V.1.2.4. Cendres

Le taux de cendres est une indication de la teneur en matières minérales de la farine ou de la semoule. Il détermine le taux d'extraction et la pureté de la farine ou de la semoule.

Le taux de cendres de la farine de notre étude était de 0,66 % de la matière sèche. Selon SHEHZAD (2010), un taux de cendres qui est compris entre 0,62 et 0,75 % de la matière sèche caractérise une farine d'obtention avec un taux d'extraction élevé de 78-83% en mouture sur cylindre et 70-72% en mouture sur meules. Notre farine a donc été obtenue avec un taux d'extraction élevé.

Selon la norme Codex Stan 178-1991 du *CODEX ALIMENTARIUS* (1995), la limite maximale du taux de cendres de la semoule est de 1,30%MS, le taux de cendres de la semoule utilisé était de 0,66 %MS.

## V.1.2.5. Protéines

La teneur en protéines des farines de blé est en fonction de la teneur en protéines des grains de blé mis en mouture, de leur répartition dans le grain et du taux d'extraction de la farine par rapport au grain (LASSOUED-OUALDI, 2005).

La teneur en protéines est un critère qui détermine la qualité boulangère d'une farine, Un seuil minimum de 10% voire 10,5% est nécessaire pour une farine panifiable de qualité (TAUPIER-LETAGE, 2005). La teneur en protéines de la farine utilisée était de 11,84%MS, valeur supérieure au seuil.

Selon la norme Codex Stan 178-1991 du *CODEX ALIMENTARIUS* (1995), la limite minimale de la teneur en protéines est de 11%MS, pour les farines et semoule de blé dur, La teneur en protéines de la semoule utilisé est de 12,17%MS, elle est supérieur au seuil.

## V.1.2.6. Matières grasses

Les produits de mouture de blé ne présentent pas une importante source en lipides. A l'origine, le grain de blé contient de 2 à 6 % de matières grasses (HEMERY *et al.*, 2007). Il peut y avoir des pertes importantes de matières grasses durant les processus de mouture et de broyage avec l'élimination des parties riches en lipides. C'est ainsi que nous pouvons expliquer les taux de matières grasses bien inférieures à celles des grains.

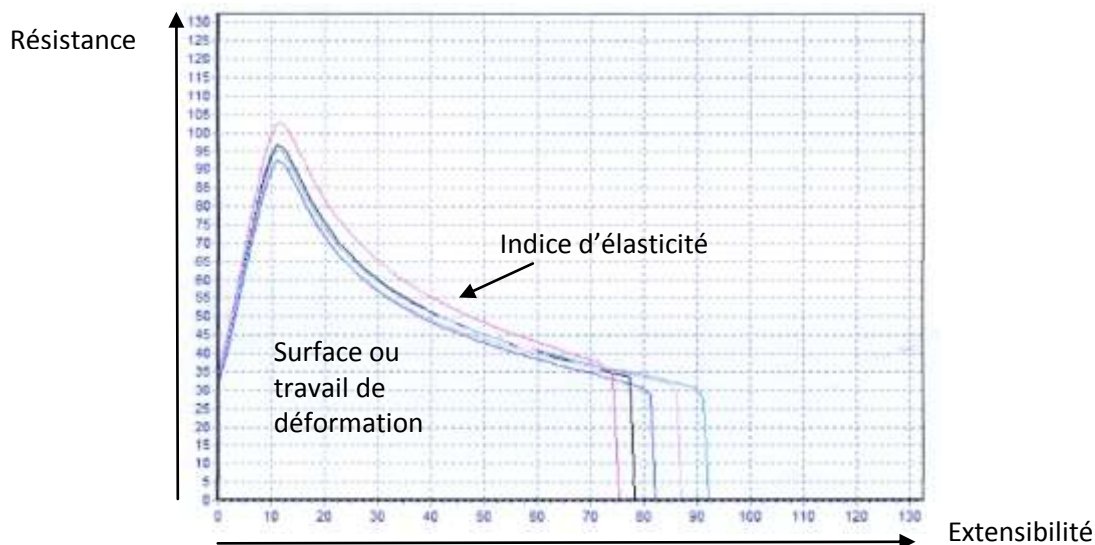
## V.2. Fortification de la farine et de la semoule

### V.2.1. Résultats rhéologiques de la farine fortifiée

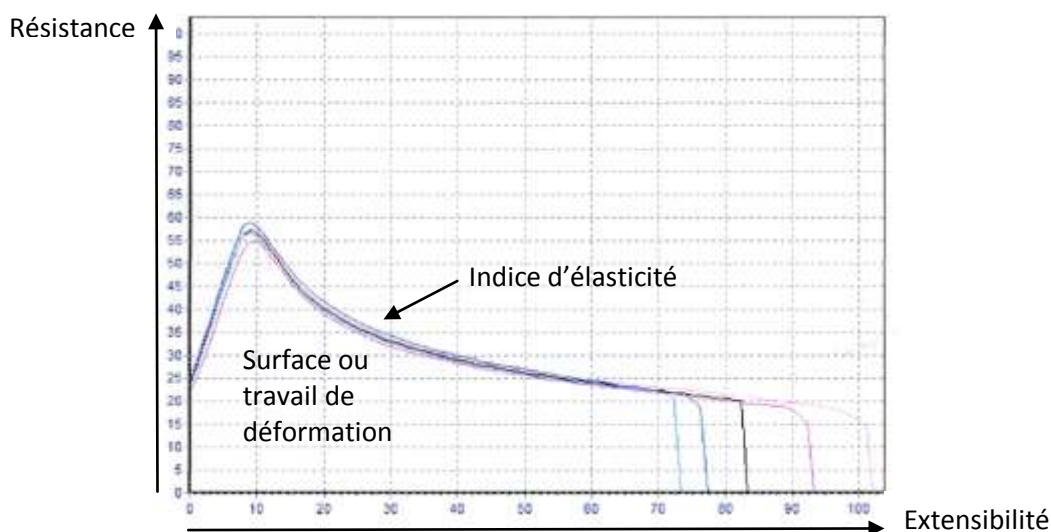
Nous montrons les résultats rhéologiques de la farine non fortifiée (FNF) et fortifiée en fer (FF) par l'Alvéographe de CHOPIN dans le tableau XVI. Les alvéogrammes de la FNF et la FF en fer sont présentées dans les figures 12 et 13 respectivement.

**Tableau XVI:** Résultats de l'alvéographe de CHOPIN de la farine fortifiée et non fortifiée.

Caractéristique	Farine fortifiée	Farine non fortifiée
W	171 * 10 <sup>-4</sup> joules	281 * 10 <sup>-4</sup> joules
P	63 mmH <sub>2</sub> O	106 mmH <sub>2</sub> O
G	20,3	19,7
L	83 mm	78 mm
P/L	0,76	1,36
Ie	51,1 %	53,5 %



**Figure 12:** Alvéogramme de la farine non fortifiée.



**Figure 13:** Alvéogramme de la farine fortifiée.

Selon le **Décret exécutif algérien n°91-572 (1991)**, une farine de panification doit présenter les spécifications suivantes force boulangère W entre  $130$  et  $180 \times 10^{-4}$  J, et un rapport de configuration P/L entre 0,45 et 0,65, la FNF se caractérisait par une force boulangère W de  $281 \times 10^{-4}$ J cette valeur dépasse les limites fixé par la réglementation algérienne, Le gonflement G était de  $19,7 \text{ cm}^3$  et la pression maximale nécessaire à la déformation (ténacité P) était de 63 mm, L'extensibilité L était de 78 mm et le rapport P/L de 1,36 était supérieur à celui exigé par la réglementation algérienne qui fixe cette valeur entre 0,45 et 0,65.

Pour la FF, l'alvéogramme s'est stabilisé, la force boulangère W était plus basse que celle de la FNF ( $171 \times 10^{-4}$ J), le gonflement G était meilleure ( $20.3 \text{ cm}^3$ ), le rapport de

configuration P/L était de 0,76. Il y a eu une légère diminution de l'absorption d'eau d'où la diminution de l'indice d'élasticité ( $I_e$ ) à 51,1 %.

La FF est passée de farine de force à farine de panification équilibrée induisant un rendement appréciable en pâtons de pain. Cela pourrait s'expliquer par :

- Le temps de repos de la farine car le test à l'alvéographe CHOPIN de la FF a été réalisé 15 jours après celui de la FNF ;
- L'ajout du fer à la farine mais nous n'avons pas d'explication à cela ;
- Par ces deux facteurs qui ont réagi positivement sur le complexe gliadine-gluténine induisant une amélioration de la farine.

### V.2.2. Pain fortifié

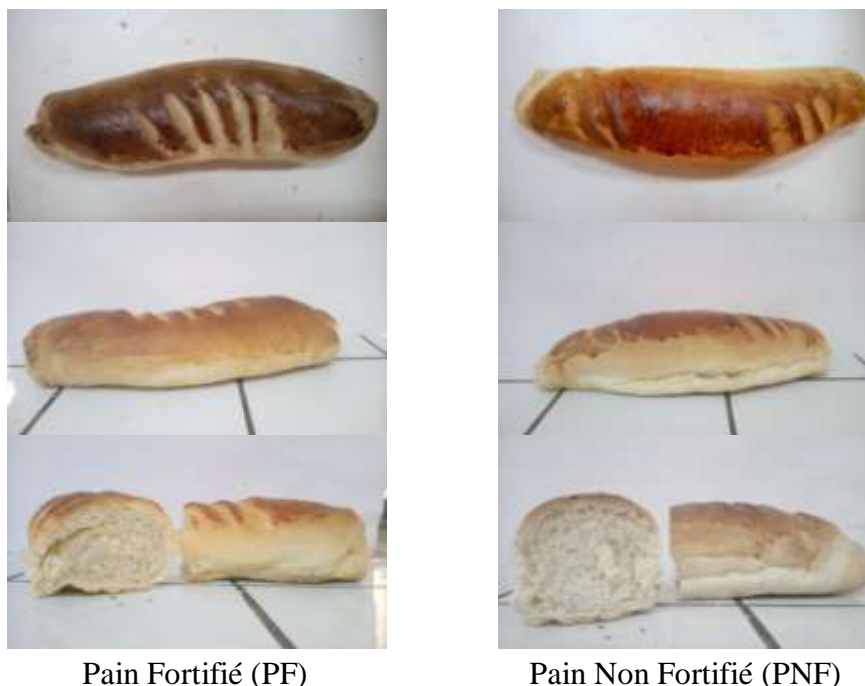
#### V.2.2.1. Préparation du pain

Sur nos instructions, le boulanger a préparé pour 3 kg de farine fortifié et 3 kg de farine non fortifié, 20 et 27 miches de pain.

Nous montrons dans la figure 15 l'aspect externe et les mies des Pains Non Fortifiés (PNF) et des Pains Fortifiés (PF). Cependant les éventuelles différences observées peuvent être dues aux pains choisis. En réalité, il a été difficile de distinguer un PNF d'un PF. C'est ce que nous avons voulu prouver en alignant les différents pains dans la figure 14. La couleur des croûtes ne permet pas de distinguer les Pains Non Fortifiés (PNF) des Pains Fortifiés (PF).



**Figure 14:** Pains Non Fortifiés (PNF) et pain fortifié (PF) ne se distinguent pas par la couleur de leur croûte.



**Figure 15:** Aspects du Pain Non Fortifié (PNF) et du Pain Fortifié (PF).

Les différentes dimensions prises sur certain miches de pain fortifié en fer et pain non fortifié sont dans les annexes, le tableau XVII montre les moyennes des poids et dimensions des pains.

**Tableau XVII:** Moyennes des poids et dimensions des pains.

	Longueur de la base (cm)	Plus grande circonférence (cm)	Longueur de la face bombée (cm)	Poids (g)
<b>PNF</b>	26,1	23,5	56,2	155,75
<b>PF</b>	26,7	23,5	33,5	151,67

### V.2.2.2. Analyses physico-chimiques

Un pain n'est pas un produit homogène. Il présente une croûte et une mie dont les compositions peuvent être très différentes. Il est difficile de broyer un pain entier pour en extraire une prise d'essai homogène et une prise d'essai à partir d'un pain ne peut pas être représentative de la fraction croûte et de la fraction mie. Il nous a fallu séparer la mie de la croûte et réaliser les analyses sur des prises d'essais séparées croûte et mie. Connaissant les masses de mie et de croûtes, il est possible de calculer les teneurs pour 100 g de pain entier à partir des teneurs respectives de la mie et de la croûte soumises aux différentes analyses.



Le tableau XVIII présente les résultats des analyses de prises d'essais de mie et de croûte, et la composition des deux pains fortifiés et non fortifié en fer dans le Tableau XIX.

**Tableau XVIII:** Analyses physico-chimiques des croûtes et des mies des pains.

Echantillon Paramètres	PNF		PF	
	Croûte	Mie	Croûte	Mie
<b>Teneur en eau%</b>	15,02	29,27	14,90	28,51
<b>Cendres :</b>				
- <b>MTQ%</b>	2,213	1,860	2,270	1,976
- <b>MS%</b>	2,604	2,629	2,667	2,767
<b>Protéines%</b>	9,670	11,910	9,660	12,86
<b>Matière grasse</b>				
- <b>MTQ%</b>	0,50	0,15	0,50	0,175

MTQ : Base matière telle quelle ; MS : Base matière sèche.

Nous n'avons pas pu analyser plusieurs pains pour présenter une comparaison statistique. Les mies de pain étaient nettement plus humides que les croûtes. Ce qui justifie la séparation de la croûte de la mie. Il y'a pas d'écart notable entre PNF et PF.

**Tableau XIX:** Composition d'un pain fortifié et un pain non fortifié.

	PNF*	PF**
<b>Humidité</b>	24,55	20,68
<b>Cendres</b>	2,25	2,13
<b>Protéines</b>	9,20	8,61
<b>Matières grasses</b>	0,35	0,35

\*poids de 148,73 ; \*\* poids de 141,22

### V.2.2.3. Analyse sensorielle

#### a. Couleur, saveur et odeur

Les avis des sujets sur la couleur de la croûte, la couleur de la mie, l'odeur et la saveur des PNF et PF ont été dénombrés et les fréquences calculées. Les résultats des comparaisons de fréquence sont présentés dans le tableau XX.

**Tableau XX:** Résultats de comparaison des fréquences.

	Echantillon	N	Fréquence %	Test	p	Significativité au seuil $\alpha=5\%$
<b>Couleur de la croûte</b>	PF	36	55,56	Chi2=3,77	0.022917	OUI
	PNF	36	80,56			
<b>Couleur de la mie</b>	PF	36	91,67	Chi2 = 1.86	0.172848	NON
	PNF	36	80,56			
<b>Odeur</b>	PF	36	91,67	Chi 2 Yate's	0,669815	NON
	PNF	36	91,67			
<b>Saveur</b>	PF	36	80,56	Chi2 = 0,26	0,608874	NON
	PNF	36	88,89			

Les différences entre PNF et PF ne sont pas significatives pour la couleur de la mie, l'odeur et la saveur. L'ajout de fer à la farine n'a pas impacté ces trois caractéristiques. Par contre il ya une différence significative dans la couleur de la croûte où 56% des sujets ont trouvé la croûte du PF normale versus 80% pour le PNF. Cependant, nous pensons que ce résultat peut être biaisé par l'effet « échantillon proposé ». En effet, la couleur de la croûte supérieure n'est pas homogène et il se peut qu'un même sujet ait reçu deux morceaux de croûte fortement contrastés alors que l'observation des lots de pain n'offre pas la possibilité de distinguer de quel lot il s'agit.

## b. Caractéristique particulière

Les résultats sont présentés dans le tableau XXI.

**Tableau XXI:** Fréquences des caractéristiques décelées PNF vs PF.

	PNF		PF	
	Oui	Non	Oui	Non
<b>Fréquence absolue</b>	3	33	25	11
<b>Fréquence relative (%)</b>	8,33	91,67	69,44	30,55

Pour le PNF, trois personnes sur 36 ont déclaré avoir perçu une caractéristique particulière alors que 25 en ont décelée une pour le PF. Deux manières permettent de traiter ces réponses :

1. Par comparaison des fréquences 8,33 % pour PNF *versus* 69,44 % pour PF, la différence étaient très significative (Chi2 = 28,29 et p = 0,00000) ;
2. En considérant ce test comme un test de comparaison par paires bilatéral, la table statistique proposée par la norme AFNOR NF V 09-012, nous permet de

relever que pour 36 dégustateurs, le nombre 25 est égal à l'effectif minimum des déclarations concordantes pour conclure à une différence significative au seuil  $\alpha \leq 5\%$ . Pour un seuil  $\alpha \leq 1\%$ , l'exigence est de 27 réponses concordantes et dans notre cas (25 réponses), il n'y a pas de différence significative pour ce seuil de significativité.

Dans les deux traitements statistiques, la fréquence d'observation d'une caractéristique pour PF était significativement différente de la fréquence d'observation pour PNF.

Nous présentons dans le tableau XXII ; les différentes identifications de la caractéristique décelée pour la PF par chacun des sujets ayant déclaré avoir perçu une caractéristique particulière.

**Tableau XXII:** Caractéristique particulière décelée pour le Pain Fortifié (PF).

Caractéristique	Fréquence
Saveur sucré	12
Arrière-goût	4
Saveur légèrement acidulé	1
Saveur	5
Non identifiée	3

Dans tous les cas, c'est la saveur qui a été mise en cause, et la sucrosité pourrait être due au sucralose présent dans le fortifiant utilisé.

### c. Produit préféré

Sur 36 réponses 17sujets ont préféré le PNF et 17 ont préféré le PF. Deux sujets n'ont pas exprimé leur préférence. L'interprétation doit exclure les deux sujets n'ayant pas exprimé de préférence. Nous avons donc eu pour 34 réponses 50% en faveur de PNF et 50% en faveur de PF. Il n'y avait pas de préférence significative. La table statistique de la norme AFNOR NF V 09-012 (Cas d'un test bilatéral), indique que le nombre de réponses exigé pour déclarer une préférence significative est de 24.

### d. Comparaison des moyennes

La comparaison des notes moyennes attribuées par le panel de dégustateurs ne permet pas de déclarer une différence significative entre les deux notes moyennes (tableau XXIII).

**Tableau XXIII :** Comparaison des notes moyennes au seuil  $\alpha = 5\%$ .

Echantillon	Moyenne	Variance	Nombre	Valeur p	Significativité au seuil $\alpha = 5\%$
PF	7,58	2,42	36	0,93	NON
PNF	7,56	2,20	36		

## V.2.3. Galette préparée

### V.2.3.1. Préparation de la galette

Nous avons préparé pour 3 kg de semoule fortifiée en fer (SF) et 3 kg de semoule non fortifiée (SNF), quatre galettes chacune, la figure 16 montre à gauche deux galettes fortifiées (GF) et à droite deux galettes non fortifiées (GNF). Il y a une difficulté à distinguer les GNF des GF.



**Figure 16:** Galettes fortifiées (GF) et galettes non fortifiées (GNF).

Les différentes dimensions prises sur les GNF et GF et leurs poids sont indiquées dans les annexes 5 et 6. Dans le tableau XXIV nous indiquons les moyennes des poids et autres dimensions des GFN et GF.

**Tableau XXIV:** Moyenne des poids et dimensions des GNF et GF.

	Périmètre	Diamètre	Poids
<b>Moyenne (GNF)</b>	111,62	035,62	880,65
<b>Moyenne (GF)</b>	109,12	034,25	888,05

## V.2.3.2. Analyse physico-chimique

Les résultats des analyses physico-chimiques des GNF et GF sont présentées dans le tableau XXV. Les galettes ont été émietées avant les prélèvements des prises d'essai.

**Tableau XXV :** Analyses physico-chimiques de la GNF en fer et la GF.

Paramètres	Echantillon	
	GNF	GF
<b>Teneur en eau%</b>	23,82	22,52
<b>Cendres :</b>		
- <b>MTQ%</b>	1,810	1,942
- <b>MS%</b>	2,375	2,506
<b>Protéines%</b>	12,52	12,44
<b>Matière grasse</b>		
- <b>MTQ%</b>	05,00	5,30
- <b>MS%</b>	06,56	6,84

MTQ : Base matière telle quelle ; MS : Base matière sèche.

Il y'a pas d'écart notable entre GNF et la GF. Nous n'avons pu multiplier les analyses pour calculer des moyennes et les comparer.

## V.2.3.3. Analyse sensorielle

### a. Couleur, saveur et odeur

Après dénombrement des avis des sujets sur, l'odeur et la saveur, la couleur de la croûte et l'intérieur des GNF vs GF et calcul des fréquences. Les résultats de comparaison de fréquence sont présentés dans le tableau XXVI.

**Tableau XXVI:** Analyse sensorielle - Comparaisons des fréquences pour croûte, intérieur, odeur et saveur.

	Echantillon	N	Fréquence %	Test	p	Significativité au seuil $\alpha = 5\%$
<b>Couleur de la croûte</b>	GF	40	85,0	Chi2=0,11	0,745441	NON
	GNF	40	87,5			
<b>Couleur de l'intérieur</b>	GF	40	90,0	Chi2 Yate's	0,355611	NON
	GNF	40	97,5			
<b>Odeur</b>	GF	40	97,5	Chi2 Yate's	0,355611	NON
	GNF	40	90,0			
<b>Saveur</b>	GF	40	92,5	Chi2 Yate's	0,479156	NON
	GNF	40	85,0			

Les différences entre la GNF et GF n'étaient pas significatives pour les différentes caractéristiques (couleur de la croûte et de l'intérieur de GNF ET GF, odeur et saveur). L'ajout du fer à la semoule ne semble pas avoir impactées quatre caractéristiques.

### b. Caractéristique particulière

**Tableau XXVII:** Fréquences des déclarations pour Galette Non Fortifiée (GNF) vs Galette Fortifiée (GF).

	GNF		GF	
	Oui	Non	Oui	Non
<b>Fréquence absolue</b>	15	25	31	9
<b>Fréquence relative (%)</b>	37,5	62,5	77,5	22,5

Pour GNF, 15 personnes sur 40 ont déclaré avoir perçu une caractéristique particulière alors que 31 en ont décelée une pour la GF. Deux manières permettent de traiter ces réponses :

1. Par comparaison des fréquences 37,5 % pour GNF *versus* 77,5 % pour GF, la différence étaient significative ( $\chi^2 = 13.09$  et  $p = 0.000296$ ).
2. En considérant ce test comme un test de comparaison par paires bilatéral, la table statistique proposée par la norme AFNOR NF V 09-012, nous a permis de relever que pour 40 dégustateurs, il fallait au moins 27 déclarations concordantes pour conclure à une différence significative au seuil  $\alpha \leq 5\%$ . Dans notre cas, avec 31 réponses, nous pouvons déclarer qu'il y avait une différence significative pour ce seuil de significativité.

Le tableau XXVIII présente les différentes caractéristiques détectées par les sujets lors de la dégustation de GF.

**Tableau XXVIII:** Caractéristiques décelées pour la galette fortifiée (GF).

Caractéristique	Fréquences
<b>Saveur sucré</b>	11
<b>Odeur</b>	1
<b>Au niveau de la saveur</b>	6
<b>Saveur d'huile d'olive</b>	1

Le tableau XXVII montre que la saveur sucrée a été la caractéristique la plus détectée. Cela est certainement dû au sucralose présent dans le fortifiant alimentaire. Aucune saveur désagréable n'a été détectée par les sujets.

La saveur d'huile d'olive est probablement due à une fausse perception du sujet naïf. L'huile d'olive n'a pas été utilisée pour la préparation de la galette.

### c. Galette préférée

Sur 40 réponses, 26 sujets avaient préféré la GF et 14 la GNF. Dans la table statistique proposée par la norme AFNOR NF V 09-012, pour un seuil  $\alpha \leq 5\%$ , le nombre minimal de réponses exigées pour déclarer une préférence significative est de 27. Par conséquent nous ne pouvons pas conclure à une préférence significative.

### d. Comparaison des notes moyennes pour les galettes GNF et GF

La comparaison des notes moyennes attribuées par le panel de dégustateurs ne permet pas de déclarer une différence significative entre les deux notes moyennes (tableau XXIX).

**Tableau XXIX :** Comparaison des notes moyennes au seuil  $\alpha = 5\%$ .

Echantillon	Moyenne	Variance	Nombre	Valeur p	Significativité au seuil $\alpha = 5\%$
<b>GNF</b>	7,97	1,97	40	0,20	NON
<b>GF</b>	7,56	2,23	40		

# CONCLUSION

---



### Conclusion et perspectives

Certains pays ont adopté des stratégies de fortification obligatoire alors que d'autres ont adopté des fortifications à caractère facultatif. L'idée préconisée par le laboratoire de recherche Alimentation, Nutrition et Santé (ALNUTS) qui nous a accueilli dans le cadre de notre projet de fin de cycle consiste à formuler une offre de farine et de semoule enrichies en fer. La mise sur le marché de telles offres doit permettre aux personnes présentant des carences en fer de s'approvisionner en farines et semoules pour leurs besoins. De tels produits doivent se faire une place aux côtés des offres de produits sans gluten ou des produits sans sucre. Il appartiendra aussi aux boulangers, par exemple, de s'approvisionner en farine panifiable fortifiée en fer pour proposer des produits aux personnes présentant des anémies comme ils proposent des produits sans sel pour leurs clients astreints à un régime hyposodé.

Dans notre démarche préliminaire de fortification de la farine et de la semoule en fer, nous étions confronté à choisir la forme de fer adéquate et la dose de fer à ajouter dans le but de déterminer l'effet du fer sur les caractéristiques organoleptiques et physico-chimiques du pain et de la galette issue de la farine et de la semoule fortifiée ainsi que sur les caractéristiques rhéologiques de la farine fortifiée. Cette démarche de fortification se suivra d'une étude épidémiologique à fin de connaître l'effet de la fortification de la farine et de la semoule sur la prévalence de l'anémie en Algérie.

Les résultats obtenus dans ce présent travail montrent que l'addition de bisglycinate ferreux à la farine et à la semoule n'a pas modifié les caractéristiques physico-chimiques de farine, semoule, pain et galette. Une différence entre les caractéristiques rhéologiques de la farine non fortifiée et celle fortifiée en fer a été également observée, mais le caractère panifiable de la farine n'a pas été affecté. Les épreuves d'évaluation sensorielle n'avaient pas permis de conclure à des différences et à des préférences significatives entre produits non fortifiés et produits fortifiés.

Les résultats de la présente étude restent préliminaires. Il serait donc intéressant d'approfondir cette étude en faisant :

- Le dosage du fer dans la farine et la semoule fortifiée;
- Etude des autres propriétés rhéologiques des pâtes;

## *Conclusion et perspectives*

---

- Réaliser d'autres analyses technologiques (pouvoir d'absorption d'eau des farines, l'activité amylolytique, indice de sédimentation de Zéleny, Fixation d'eau et viscosité des empis d'amidon).

REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

---

# Références Bibliographiques

## Références bibliographiques

1. **ABBASPOUR N., HURELL R., KELISHADI R.**, Review on iron and its importance for human health, journal of research in medical sciences, 2014, vol. 19, no 2, p. 164-7.
2. **ABLA K., BEKAKRIA A., BOUZIANE K.**, Prévalence et facteurs de risque de l'anémie chez un groupe d'enfants âgés de 1 à 24 mois à Tébessa (une ville de l'Est algérien), Cahiers de Nutrition et de Diététique, 2016, vol. 51, no 3, p. 157-160.
3. **AFNOR** (1983), Analyse sensorielle – Méthodologie – Directives générales, NFV09-001, 24 p.
4. **AFNOR** (1983), Analyse sensorielle – Méthodologie – Essai de comparaison par paires, NF V09-012, 7 p.
5. **AFNOR** (1987), Analyse sensorielle – Guide pour l'implantation d'un local destiné aux analyses sensorielles, NFV09-105, 13 p.
6. **AFNOR** (1992), Analyse sensorielle – Vocabulaire, NF V00-150, 25 p.
7. **AFNOR** (1993), Analyse sensorielle – Guide général pour la sélection, l'entraînement et le contrôle des sujets, NFV09-003-1, 23 p.
8. **AGUENAOU H.**, La malnutrition invisible ou la « faim cachée » au Maroc et les stratégies de lutte, Biomatec Echo, 2007, vol. 5, no 2, p. 158-164.
9. **AHMED A., ANJUM F. M., REHMAN S. U., RANDHAWA M. A., FAROOQ U.**, Bioavailability of calcium, iron and zinc fortified whole wheat flour chapatti. Plant foods for human nutrition, 2008, vol. 63, no 1, 7p.
10. **AISSIOU M. Y. A.**, Prévalence de l'anémie ferriprive et de la malnutrition protéino-énergétique chez un groupe d'enfants âgés de 6 mois à 5 ans en bonne santé apparente recrutés dans deux centres sanitaires de la Daïra d'El Idrissia (Wilaya de Djelfa), 2014, Diplôme Magistère en sciences agronomiques, 149p.
11. **AKHTAR S., ANJUM F. M., REHMAN S.U., SHEIKH M. A., FARZANA K.**, Effect of fortification on physico-chemical and microbiological stability of whole wheat flour. Food chemistry, 2008, vol. 110, no 1, p. 113-119.
12. **AKHTAR S., ASHGAR A.**, Mineral Fortification of Whole Wheat Flour: An Overview, In: **PREDDY V. R., WATSON R. R., PATEL V. B.**, Flour and breads and their fortification in health and disease prevention. Academic press, 2011, 263-272, 524p.
13. **ALLEN L., DE BENOIST B., DARY O., HURRELL R.**, Directives sur l'enrichissement des aliments en micronutriments, 2011, 379p.

## Références Bibliographiques

14. **ALRIC L., BONNET D.**, L'anémie par carence en fer, *La Revue de médecine interne*, 2009, vol. 30, p. S315-S318.
15. **BAUDIN B.**, 2012, Homéostasie du fer et aspects nutritionnels, *Revue francophone des laboratoires*, no 442, p. 55-59.
16. **BENBELKACEM A., SADLI F., BRINIS L.**, La recherche pour la qualité des blés durs en Algérie, *Option Méditerranéenne*, Série A: séminaire de blé dur dans la région méditerranéenne, 1995, no 22.
17. **BENCHARIF A., RASTOIN J. L.**, Concept et méthodes de l'analyse de filières agro-alimentaires : application par la chaîne globale de valeur au cas des blés en Algérie, Montpellier, UMR MOISA. 2007, no 7, 24p.
18. **BERGER J., DILLON J. C.**, Stratégies de contrôle de la carence en fer dans les pays en développement, *Cahiers d'études et de recherches francophones / Santé*, 2002, vol. 12, no 1, p. 22-30.
19. **BERGER J.**, Enrichissement des aliments en micronutriments: élément d'une stratégie intégrée de lutte contre les carences en micronutriments, en particulier en fer, dans les pays en développement, *Small scale industrial food production and fortification*, 2003, p. 563-576.
20. **BIEBINGER R., HURRELL R. F.**, Vitamin and mineral fortification of foods, In: **OTTAWAY P. B.**, *Food fortification and supplementation Technological, safety and regulatory aspects*, CRC Press, 2008, 27-40, 282p.
21. **BITAM A., BELKADI N.**, Prévalence de l'anémie ferriprive au cours de la grossesse dans la wilaya de Blida (Nord de l'Algérie), *Nutrition clinique et métabolisme*, 2008, vol. 22, no 3, p. 100-107.
22. **BOVELL-BENJAMIN A. C., VITERI F. E., ALLEN L.**, Iron absorption from ferrous bisglycinate and ferric trisglycinate in whole maize is regulated by iron status, *The American journal of clinical nutrition*, 2000, vol. 71, no 6, p. 1563-1569.
23. **BUCHE F.**, Influence de la formulation de pâtes de farine de blé sur leur consommation d'oxygène et leur production de dioxyde de carbone au cours du pétrissage et de la fermentation: Conséquences biochimiques et rhéologiques, 2011, Thèse de doctorat, AgroParisTech. 403p.
24. **CAMASCHELLA C.**, Iron-deficiency anemia, *New England Journal of Medicine*, 2015, vol. 372, no 19, p. 1832-1843.
25. **CDC /OMS (1995)**, Epi Info version 6 : Un traitement de texte, une base de données et un ensemble de programme statistiques pour la Santé Publique sur Microordinateurs, Centers for Disease Control and Prevention (CDC), Atlanta, Georgia, USA

## Références Bibliographiques

26. **CHARMET G., ABECASSIS J., BONNY S., FARDET A., FORGET F., LULLIEN-PELLERIN V.**, Agriculture et alimentation durables: Trois enjeux dans la filière céréales, Quae, 2017. 189p.
27. **CHEVALLIER L.**, Nutrition : principes et conseils, Paris, Elsevier Masson, 2009 : 254 p.
28. **CHOPIN TECHNOLOGIE**, Alvéographe NG consistographe : Mode emploi, France, 2010.
29. **CIQUAL**, Table de composition des aliments, France, 2016.
30. **CLEVINGER B., RICHARDS T.**, Pre-operative anaemia, Anaesthesia, 2015, vol. 70, no s.1, p. 20-28.
31. **CODEX ALIMENTARIUS**, Céréales, légumes secs, légumineuses et matières protéiques végétales, 2007, 115p.
32. **CODEX ALIMENTARIUS**, Norme Codex pour la semoule et la farine de blé dur, Codex Stan 178-1991, Adopté en 1191, révisé en 1995, CODEX ALIMENTARIUM/FAO
33. **CODEX ALIMENTARIUS**, Rapport de la septième session du comité du codex sur les céréales, légumes sec et les légumineuses, Washington, 1991, 41p.
34. **COHEN-SOLAL A., LECLERCQ C., DERAY G., LASOCKI S., ZAMBROWSKI J., MEBAZAA A., DE GROOTE P., DAMY T., GALINIER M.**, Iron deficiency: an emerging therapeutic target in heart failure, Heart, 2014, p. 1414-1420.
35. **COLAS A.**, Définition de la qualité des farine pour les différentes utilisation, In : GODON B., WILLM C., les industries de première transformation des céréales, Lavoisier, Paris, France, 1998, p. 578-589, 679p.
36. **COUDRAY C., HERCBERG S.**, Fer, In : MARTIN A., Apport nutritionnels conseillés pour la population française, Paris, France, Tec et Doc : 2001, p. 150-155, 605 p.
37. **DARMON M., DARMON N.**, L'équilibre nutritionnel - Concepts de base et nouveaux indicateurs : le SAIN et le LIM, Paris, France, Tec et Doc, 2008, 300 p.
38. Décret exécutive n°91-572 du 31/12/1991 relatif à la farine panifiable et au pain, Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et populaire (JORADP) n°02 du 08/01/1992, p. 43-45.
39. **DEMMOUCHE A., MOULESSEHOUL S.**, Prévalence de l'anémie ferriprive au cours de la grossesse dans la wilaya de Sidi Bel Abbes (ouest de l'Algérie), Antropo, 2010, vol. 21, p. 39-48.

## Références Bibliographiques

40. **DILLON JC.**, Prévention de la carence en fer et des anémies ferriprives en milieu tropical, médecine tropicale, vol. 60, no 1, p. 83-91.
41. **DJEGHIM F.**, Utilisation d'améliorants de l'expansion gazeuse dans la fabrication sans gluten de pains levais traditionnels, mémoire de Magistère : Sciences alimentaires, institut de nutrition alimentation et technologies agro-alimentaires, université Constantine, 2015, 140p.
42. **ELHIOUI M., AHAMI A. O. T., ABOUSSALEH Y., RUSINEK S., DIK K., SOUALEM A.**, L'anémie nutritionnelle chez les enfants scolarisés dans une zone rurale et côtière du Nord Ouest Marocain, Antropo, 2007, vol. 15, p. 35-40.
43. **FAO**, Aperçus Nutritionnels par Pays – Maroc, 1998, 19p.
44. **FAO**, Profil Nutritionnel de l'Algérie, Division de l'Alimentation et de la Nutrition, FAO, 2005, 41p.
45. **FEILLET P.**, Le grain de blé : Composition et utilisation, INRA, Paris, 2000, 308p.
46. **Food Fortification Initiative FFI**, Second Technical Workshop on Wheat Flour Fortification: Practical Recommendations for National Application, Summery report, Georgia, USA, 2008,
47. **GAALOUL I., RIABI S., GHORBEL R. E.**, Implementation of ISO 22000 in cereal food industry "SMID" in Tunisia, Food Control, 2011, vol. 22, no 1, p. 59-66.
48. **HAMDOUCHI A., EL KARI K., RJIMATI L., EL HALOUI N., EL MZIBRI M., AGUENAOU H., MOKHTAR N.**, Impact de l'enrichissement de la farine en fer élémentaire sur la prévalence de l'anémie chez les enfants en âge préscolaire au Maroc, La Revue de Santé de la Méditerranée orientale, 2010, vol. 16, no 11, p. 1148-52.
49. **HEMERY D., ROUAU X., LULLIEN-PELLERIN V.**, Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality, 2007, p. 327-347.
50. **HININGER-FAVIER I., HERCBERG S.**, Besoins, apports et disponibilité du fer. Bulletin de l'académie nationale de médecine, 2005, vol. 189, no 8, p. 1623.
51. **KEZIH R., BEKHOUCHE F., MERAZKA A.**, Some traditional Algerian products from durum wheat, African Journal of Food Science, 2014, vol. 8, no 1, 30-34.
52. **LADRAA N.**, Aptitude à la panification de quelques variétés de blé dur Algérien, 2012, mémoire de Magistère, école nationale supérieur d'agronomie-El Harrach, Alger, 103p.
53. **LASSOUED-OUALDI N.**, structure alvéolaire des produits céréaliers de cuisson en lien avec les propriétés rhéologiques et thermiques de la pâte : Effet de la composition, Thèse doctorat sciences alimentaires, 2005, 340p.

## Références Bibliographiques

54. **LAYRISSE M., GARCÍA-CASAL M. N., SOLANO L., BARON M. A., ARGUELLO F., LLOVERA D., RAMIREZ J., LEETS I., TROPPER E.,** Iron bioavailability in humans from breakfasts enriched with iron bis-glycine chelate, phytates and polyphenols. *The Journal of nutrition*, 2000, vol. 130, no 9, p. 2195-2199.
55. **LECERF JM., SCHLIENGER JL.,** 2016, *Nutrition préventive et thérapeutique*, Elsevier Masson : 337 p.
56. **MA J., BELLON M., WISHART J. M., YOUNG R., BLACKSHAW L. A., JONES K. L., HOROWITZ M., RAYNER C. K.,** Effect of the artificial sweetener, sucralose, on gastric emptying and incretin hormone release in healthy subjects. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 2009, vol. 296, no 4, G735-G739.
57. **MCGEE E. J. T., SANGAKKARA A. R., DIOSADY L. L.,** Double fortification of salt with folic acid and iodine, *Journal of Food Engineering*, 2017, vol. 198, 72-80: 9p.
58. **NDANGUI C. B.,** Production et caractérisation de farine de patate douce (Ipomoeabatatas.Lam) : optimisation de la technologie de panification, thèse de Doctorat en Procédés et Biotechnologies Alimentaires, 2015, 151p.
59. **NDIAYE A., ROUSSEL P., CHIRON H., DELLA VALLE G., FERNANDEZ C.,** Harmonisation de langage métier et transfert de connaissances : exemple de la panification française, 2014
60. **NDIAYE N. F., SAKHO S., SADJI M., SAMB M.,** effet de la fortification en fer de la farine de blé tendre : Evaluation qualitative des pâtes à pain et organoleptiques des pains, *Ita echos*, no 4, 2009, p. 6-7.
61. **NESTEL P., DAVIDSSON L.,** Anémie, carence en fer et anémie ferriprive , 2003, 6p.
62. **OMS, FAO, Fonds des Nations Unies pour l'enfance UNICEF, l'Alliance mondiale pour une meilleure nutrition GAIN, l'Initiative pour les micronutriments MI, l'Initiative pour l'enrichissement des farines FFI,** Recommandations sur l'enrichissement des farines de blé et de maïs. Rapport de réunion : déclaration de consensus provisoire. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2009, 3p
63. **PIRCKHER P.,** Vitamines, fer, minéraux et compléments alimentaires pendant la grossesse, Diplôme d'état de sage femme, UFR médecine, Ecole de sages-femmes, Université de Nantes, 2012,: 65p.
64. **PLATEL K.,** Millet Flours as a Vehicle for Fortification with Iron and Zinc, In: **PREEDY et al.,** *Handbook of Food Fortification and Health*, 2013, p. 115-125.



## Références Bibliographiques

65. **RASTOIN J. L., et BENABDERRAZIK H.,** Céréales et oléoprotéagineux au maghreb pour un co-développement de filière territorialisées, 2014, 30p.
66. **ROSSEL C. M.,** Bread fortification, In: ROSELL C. M., BAJERSKA J., SHEIKHA A. F. E., Bread and Its Fortification: Nutrition and Health Benefits. CRC Press, 2015. , 2016, p. 163-186,
67. **ROUAU X., MATEO-ANSON N., BARRON C., CHAURAND M., LULLINPELLERIN V., MABILLE F., SAMSON MF., ABCASSIS J., HEMERY Y.,** Effet des procédés de fractionnement sur la composition et quelques propriétés nutritionnelles des produits céréaliers. Cahiers de nutrition et de diététique, 2010, vol. 45, no 5, p. 230-236.
68. **ROUSSEL AM., HININGER-FAVIER I.,** Éléments-trace essentiels en nutrition humaine : chrome, sélénium, zinc et fer, Endocrinologie-Nutrition, 2009, vol. 10, p. 359-10.
69. **ROUSSEL P., CHERON H., DELLA VALLE G., NDIAYE A.,** Recueil de connaissances sur les descripteurs de qualité des pâtes et des pains ou variables d'état pour la panification, Glossaire terminologique appliqué aux pains français, 2010, 66p.
70. **SADIGHI J., MOHAMMAD K., SHEIKHOESLAM R., AMIRKHANI M. A., TORABI P., SALHI F., ABDOLAH Z.,** Anaemia control: lessons from the flour fortification programme, Public health, 2009, vol. 123, no 12, p. 794-799.
71. **SAULNIER L., MICARD V., DELLA VALLE G.,** Structure du pain et index glycémique, Cahiers de nutrition et de diététique, 2014, vol. 49, p. 61-66.
72. **SERRAJ K., ISMAILI Z., BOUHAFS K., LEHRAIKI M., MEC ILI M., ANDRES E.,** Anémies ferriprives : de la physiopathologie à la clinique ? médecine thérapeutique, 2013, vol. 19, no 1, p. 10-20.
73. **SHEHZAD A.,** Rôle du pétrissage de farine de blé sur les propriétés rhéologiques de la pâte et la texture du pain, 2010, Thèse de doctorat : agro-alimentaire, génie des procédés, Nantes, 204p.
74. **SUN J., HUANG J., LI W. X., WANG L., WANG A., HUO J., CHEN J., CHEN C.,** of wheat flour fortified with different iron fortificants on iron status and anemia prevalence in iron deficient anemic students in Northern China, Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 2007, vol. 16, no 1, p. 116-121.
75. **TALEB S., KAIBI M., DEGHOUB N.,** Assessment of Nutritional Status of Pregnant Women Attending the City Tebessa PMI (Algeria), National Journal of Physiology, Pharmacy & Pharmacology, 2011, vol. 1, Issue 2 , p. 97-105.
76. **TAUPIER-LETAGE B.,** La qualité des blés panifiable en agriculture biologique, 2005, Alter agri, no 71. p. 10-14.

## Références Bibliographiques

---

77. **VAN STUIJVENBERG M. E., SMUTS C. M., WOLMARANS P., LOMBARD C. J., DHANSAY M. A.**, The efficacy of ferrous bisglycinate and electrolytic iron as fortificants in bread in iron-deficient school children, *British journal of nutrition*, 2006, vol. 95, no 03, p. 532-538.
78. **WHO**, Iron Deficiency Anaemia Assessment, Prevention, and Control A guide for programme managers, 2001, 114p.
79. **WISEMAN G.**, Durum wheat, In: **KILL R. C., TURNBULL K.**, Pasta and semolina technology, Blackwell science, 2001, p. 11-42, 226p.
80. **YESSOUFOU A. G., BEHANZIN J., AHOKPE M., DJINTI1 S. A., BOSSOU R., SEZAN A.**, Prévalence de l'anémie chez les enfants malnutris de 6 à 59 mois hospitalisés au CHD/Zou-Collines dans le plateau d'Abomey (Centre du Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 2015, vol. 9, no 1, p. 82-90.
81. **ZIMMERMANN M. B. HURRELL R.**, Nutritional iron deficiency, *The Lancet*, 2007, vol. 370, no 9586, p. 511-520.

# ANNEXES

---

## ANNEXES

### ANNEXE 01 : Bulletin d'analyse sensorielle du pain

Date : .....

Nom de l'examineur : .....

Nous vous présentons deux échantillons de pain A et B, veuillez déguster les échantillons et répondez au questionnaire :

	A		B	
Couleur de la croûte	Normal	Irrégulière	Normal	Irrégulière

	A		B	
Couleur de la mie	Blanc	Brun	Blanc	Brun

	A		B	
Odeur	Bonne	Désagréable	Bonne	Désagréable

	A		B	
Saveur	Bonne	Désagréable	Bonne	Désagréable

	A	B
Avez-vous identifié une caractéristique particulière		
Si oui, précisez laquelle ?		
Lequel des échantillons vous préférez ?		
Donner une note sur 10		

## ANNEXE 02 : Bulletin d'analyse sensorielle de la galette

Date : .....

Nom de l'examineur : .....

Nous vous présentons deux échantillons de galette A et B.

Etudiez ces deux échantillons pour répondre au questionnaire ci-après.

Répondre par une croix	A		B	
1- Couleur de la croûte	Normal	Irrégulière	Normal	Irrégulière

Répondre par une croix	A		B	
2- Couleur de l'intérieur	Normal	Irrégulière	Normal	Irrégulière

Répondre par une croix	A		B	
3- Odeur	Bonne	Désagréable	Bonne	Désagréable

Répondre par une croix	A		B	
4- Saveur	Bonne	Désagréable	Bonne	Désagréable

	A	B
6- Avez-vous identifié une caractéristique particulière ? Répondre par OUI ou NON		
6b- Si oui, précisez laquelle ?		
7- Lequel des échantillons vous préférez ? Mettre une croix		
8- Donner une note sur 10		

**ANNEXE 03: Dimensions des pains fortifiés et leurs moyennes**

	<b>Longueur de la base</b>	<b>La plus grand circonférence</b>	<b>Longueur de la face bombé</b>
<b>PF1</b>	27,5	25,0	33,5
<b>PF2</b>	26,0	24,0	33,0
<b>PF3</b>	26,5	24,0	34,0
<b>PF4</b>	24,0	23,0	33,5
<b>PF5</b>	28,0	21,5	36,0
<b>PF6</b>	26,0	23,0	34,0
<b>PF7</b>	28,5	23,0	36,0
<b>PF8</b>	26,0	23,0	30,0
<b>PF9</b>	28,0	25,0	32,0
<b>Moyenne</b>	26,7	23,5	33,5

PF : Pain Fortifié

**ANNEXE 04: Dimensions des pains non fortifiés et leurs moyennes**

	<b>Longueur de la base</b>	<b>La plus grand circonférence</b>	<b>Longueur de la face bombé</b>
<b>PNF1</b>	25,5	25,0	34,0
<b>PNF2</b>	27,0	22,0	34,0
<b>PNF3</b>	26,0	21,5	35,0
<b>PNF4</b>	26,0	24,5	34,5
<b>PNF5</b>	25,5	24,0	33,5
<b>PNF6</b>	27,5	22,0	34,5
<b>PNF7</b>	27,0	23,0	34,5
<b>PNF8</b>	26,0	24,0	35,5
<b>PNF9</b>	25,0	24,5	32,5
<b>PNF10</b>	25,0	22,5	32,0
<b>PNF11</b>	26,5	23,5	35,0
<b>PNF12</b>	27,5	21,0	35,5
<b>PNF13</b>	27,0	26,0	35,0
<b>PNF14</b>	24,0	26,0	32,0
<b>Moyenne</b>	26,1	23,5	34,2

PNF : Pain non fortifié

**ANNEXE 05: Dimensions et poids des galettes fortifiées et leurs moyennes**

	<b>FG1</b>	<b>FG2</b>	<b>FG3</b>	<b>FG4</b>	<b>Moyenne</b>
Périmètre	115,5	108	112	111	111,625
Diamètre	37	34,5	36	35	35,625
Poids	792,8	852,5	914,6	962,7	880,65

FG : Galette fortifiée

**ANNEXE 06:** Dimensions et poids des galettes fortifiées et leurs moyennes

	<b>NFG1</b>	<b>NFG2</b>	<b>NFG3</b>	<b>NFG4</b>	<b>Moyenne</b>
<b>Périmètre</b>	107	106,5	108,5	114,5	109,125
<b>Diamètre</b>	34	33,5	34	35,5	34,25
<b>Poids</b>	885,6	804,9	884,5	977,2	888,05

NFG : Galette non fortifié

ANNEXE 07: Résultats de l'alvéographe CHOPIN de la farine non fortifiée en fer

## AlveoExpert

EPE- CENTRAL LABO- SPA- SMIDE

Autorisé par décision du Ministère

du Commerce- Catégorie n°04/05

08, Rue Boudjeriou -Constantine.

Tel : 031-93-49-11

Fax : 031-93-49-11



Date: 06/06/2017

Temps: 11:13

Fichier: ADBY.AHC *Farine non fortifiée en fer.*

### Résultats

W: 281 10e-4J

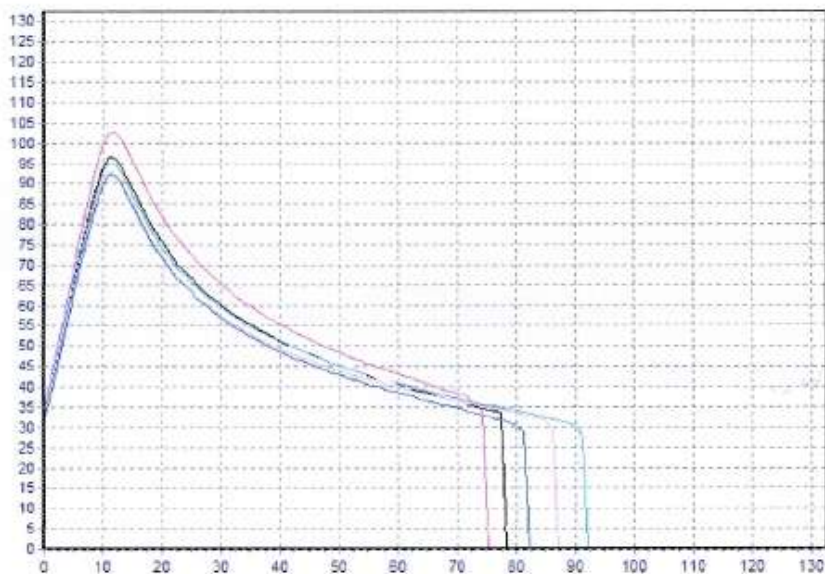
L: 78 mm

P: 106 mmH2O

P/L: 1,36

G: 19,7

Ic: 53,5 %



### Paramètres annexes



ANNEXE 08: Résultat de l'Alvéographe CHOPIN de la farine fortifié

# AlveoExpert

EPE- CENTRAL LABO- SPA- SMIDE  
Autorisé par décision du Ministère  
du Commerce- Catégorie n°04/05  
08, Rue Boudjeriou -Constantine.  
Tel : 031-93-49-11  
Fax : 031-93-49-11



Date: 06/06/2017

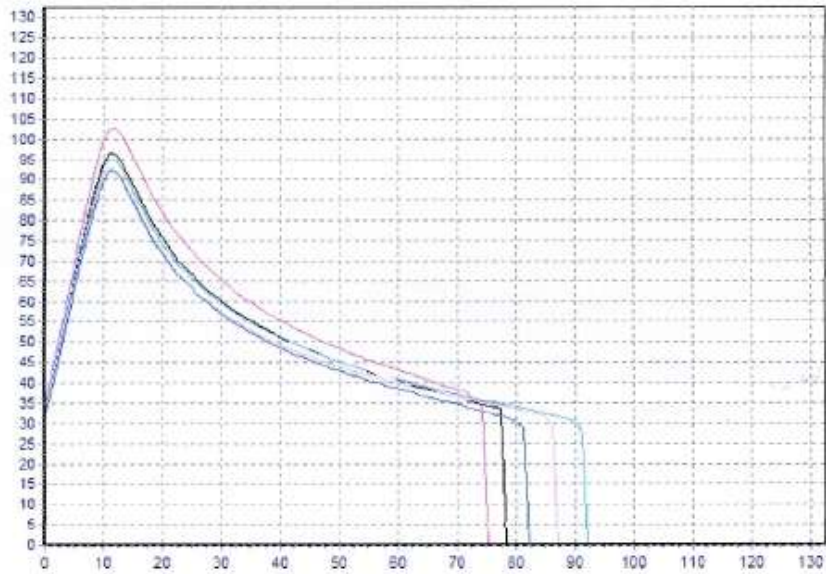
Temps: 11:13

Fichier: ADBY.AHC *Farine non fortifiée en fer.*

## Résultats

W: 281 10e-4J  
P: 106 mmH2O  
G: 19,7

L: 78 mm  
P/L: 1,36  
Ic: 53,5 %



## Paramètres annexes

**ANNEXE 09 : Résultats d'analyse des cendres**

<b>EPE CENTRAL LABO - CONSTANTINE -</b>	<b>SERVICE TECHNO-RHEOLOGIE <u>LES CENDRES</u></b>	DATE .../.../... SE 22
---	--	---------------------------

Echantillon	Teneur En Eau %	N°Ech	P1	P2	$\frac{MTQ}{5} \times 100$ $\left(\frac{P2-P1}{5}\right) \times 100$	MS $\left(\frac{MTQ \times 100}{100-H}\right)$	REMARQUE
	5	Semad	24,3667	24,3954	0,574%	0,661%	
	3g	19 M	25,8217	25,8810	1,976%	2,767%	
	3g	19 C	24,7362	24,8043	2,270%	2,667%	
	3g	30 M	25,6318	25,6876	1,860%	2,629%	
	3g	30 C	25,7563	25,8227	1,215%	2,604%	
	5g	30g	24,8263	24,9168	1,810%	2,375%	
	5g	39g	25,7832	25,8803	1,942%	2,506%	

TOTAL D'ESSAI:


ANNEXE 10: Résultats d'analyse du taux de la matière grasse

	<b>EPE CENTRAL LABO</b> - CONSTANTINE -	<b>SERVICE BIOCHIMIE</b> <b>EXTRACTION DES MATIÈRES GRASSES</b>	<b>SE 22</b>
--	--	--	--------------

Date	N° objet D'essai	N°bols HV	PE	Pesé I	Pesé II	MG% (PII-PII)X100J	Analyses	OBS
...../...../.....	Farine	II	3g	84,698	84,730	1,06%		
21.05.2017	30c	I	4g	85,752	85,772	0,50%		
01/06/2017	19g	II	3g	85,328	85,487	5,13%		
01/06/2017	30g	III	3g	84,701	84,858	5,10%		
01/06/2017	19 c	I	4g	85,754	85,774	0,50%		
...../...../.....	19 M	I	4g	85,744	85,751	0,18%		
...../...../.....	30 M	II	4g	85,321	85,327	0,15%		
...../...../.....	S	III	4g	84,694	84,715	0,53%		
...../...../.....								
...../...../.....								
...../...../.....								
...../...../.....								
...../...../.....								
...../...../.....								
...../...../.....								
...../...../.....								
...../...../.....								
...../...../.....								
...../...../.....								

TOTAL D'ESSAI :

### ANNEXE 11: Résultats du dosage des protéines

 <b>EPE CENTRAL LABO</b> - CONSTANTINE -	<b>SERVICE BIO CHIMIE</b> <b>PROTEINES</b>	<b>SE 22</b>
---	---	--------------

Date	N°objet d'essai	PE(g)	V <sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub> CONCENTRE(ml)	V <sub>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></sub> 0,1 N(ml)	V <sub>NaOH</sub> 0,1 N(ml)	Coeffl	MTQ=(V <sub>1</sub> -V <sub>2</sub> ) x 0,14 x coefficient	NaOH(ml)	N(%)	MS= MTQ/100-H	Analyste (nom prénom) (signature)
31/05/2017	19M	1g	20ml	20ml	8,49	5,7	9,19/0,19		28,50	91,41	0,5 12,87%
02/06/2017	30c	1g	20ml	20ml	9,70	5,7	8,22%		15,00	84,98	9,67%
.....	19g	1g	20ml	20ml	7,91	5,7	9,64%		22,50	77,42	12,44%
.....	30g	1g	20ml	20ml	8,04	5,7	9,54%		23,80	76,18	12,52%
.....	30M	1g	20ml	20ml	9,43	5,7	8,143%		29,80	70,73	11,92
.....	19c	1g	20ml	20ml	9,70	5,7	8,22%		14,90	85,1	9,66%
.....	S	1g	20ml	20ml	6,75	5,7	10,157%		18,10	86,86	12,17%
.....											

TOTAL D'ESSAI :

NB/ le % de protéine calculer en MS selon le % d'humidité donnée de l'échantillon  
 $\% (p) = \text{MTQ} / (100-H)$   
 Méthode utilisée: VITEL DASH

### ANNEXE 12: Etape de détermination du gluten humide et gluten sec



## Résumé

Notre étude avait pour objectif de déterminer l'impact de la fortification en fer sur les caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques de pain à base de farine et de galette à base de semoule de blé dur. Le fortifiant utilisé était le bisglycinate de fer disponible en pharmacie. Conformément aux procédures recommandées, nous avons estimé la dose de fortification à 4 mg de fer élémentaire pour 100 g de farine ou de semoule. Nous avons effectué des analyses physico-chimiques de la farine, semoule, pain et galette avant et après fortification en fer complétées, pour la farine par une évaluation des caractéristiques rhéologiques de la farine avant et après fortification. Les pains et galettes préparés avec ou sans fortifiant ont été soumis à des évaluations sensorielles avec des sujets naïfs afin de déterminer l'impact du bisglycinate de fer ajouté sur les caractéristiques organoleptiques du pain et de la galette. Selon nos résultats, l'addition de bisglycinate ferreux à la farine et à la semoule n'a pas modifié les caractéristiques physico-chimiques de farine, semoule, pain et galette. Nous avons observé une différence entre les caractéristiques rhéologiques de la farine non fortifiée et celle fortifiée en fer mais le caractère panifiable de la farine n'a pas été affecté. Cette différence pourrait aussi s'expliquer par le phénomène de maturation de la farine fortifiée soumise à l'alvéographe Chopin bien après quelques jours après la farine non fortifiée. Les épreuves d'évaluation sensorielle n'avaient pas permis de conclure à des différences et à des préférences significatives entre produits non fortifiés et produits fortifiés.

**Mots clés :** Farine panifiable ; Semoule de blé dur, Fortification en fer, Pain, Galette.

## Abstract

Our study aimed to determine the impact of iron fortification on the physico-chemical and organoleptic characteristics of bread based on durum wheat flour and cake. The fortifier used was iron bisglycinate available in pharmacy. According to the recommended procedures, we estimated the dose of fortification at 4 mg of elemental iron per 100 g of flour or semolina. We carried out physicochemical analyzes of flour, semolina, bread and cake before and after fortified iron, for flour by an evaluation of the rheological characteristics of the flour before and after fortification. Breads and patties prepared with or without fortifier were subjected to sensory evaluations with naive subjects in order to determine the impact of the added iron bisglycinate on the organoleptic characteristics of the bread and the cake. According to our results, the addition of ferrous bisglycinate to flour and semolina did not modify the physico-chemical characteristics of flour, semolina, bread and cake. We observed a difference between the rheological characteristics of the non-fortified flour and the fortified flour of iron but the bread-making character of the flour was not affected. This difference could also be explained by the phenomenon of maturation of the fortified flour submitted to the Chopin alveograph well after a few days after the non-fortified flour. Sensory evaluation tests had not led to significant differences and preferences between non-fortified and fortified products

**Key words:** Bread meal; Durum wheat semolina, Iron fortification, Bread.