

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ MOHAMMED SEDDIK BENYAHIA

JIJEL

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département : Microbiologie Appliquée et  
des Sciences Alimentaires



كلية علوم الطبيعة و الحياة  
قسم : ميكروبيولوجيا التطبيقية و علوم  
التغذية

## Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Biologie

Filière : Sciences Alimentaires

Option : Agro-alimentaire et contrôle de qualité

### Thème

*Etude de la qualité microbiologique, nutritionnelle et sensorielle du pain produit à partir du mélange de farine de blé tendre et du blé dur fermenté par la méthode traditionnelle*

#### Membres du Jury :

Président : D<sup>r</sup> Boubzari M.T

Examinatrice : M<sup>lle</sup> Bourad D

Encadreur : M<sup>m</sup> Benhamada N

#### Présenté par :

M<sup>lle</sup> Ansel Rofia

M<sup>lle</sup> Boukedjouta Asmaa

Année Universitaire : 2017- 2018

Numéro d'ordre (bibliothèque):.....

## **Remerciements**

*Nous remercions Allah pour tout, qu'il nous a donné le courage et la capacité pour faire ce travail modeste.*

*Nous remercions notre encadreur : M<sup>me</sup> Benhammada N qui est aidé nous pour faire ce mémoire, pour ses conseils, ses bonnes remarques et ses bonnes directions au cours la période de travail.*

*Après, les Remerciements sont pour le jury : D<sup>r</sup>.Boubzari M T, M<sup>elle</sup> .Bourad D.*

*N'oublie pas de remercier nos enseignants de département de biologie pour leur enseignement au cours la durée de l'étude dans l'université, ainsi les ingénieurs de département de contrôle de qualité surtout : Imen, Asma.*

*Aussi nous remercions toutes les personnes qui sont aidé à faire ce mémoire.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère, Djamila, le symbole de tendresse, À mon père, Boudjamaa, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes mes années d'études, et qui a aussi accepté de me voir si longtemps sur les « bancs d'école »,*

*Que dieu me le garde et me le protège,  
Aucune dédicace ne saurait exprimer ma grande admiration, ma considération et ma sincère affection pour vous mes chers parents.*

*A mes frères : Yassine, Salah, SadiK*

*A mes sœurs : Nassiha, Alima, Karima, Hadjira*

*À tous mes amis sans exception, et en particulier : Djahida, Halima, Selma, Warda.*

*A tous mes amis de l'université de Jijel avec lesquels j'ai eu de bons souvenirs.*

*Pour leur présence de tous les instants,*

*Pour le soutien qu'ils m'ont apporté,*

*Avec toute mon affection et ma reconnaissance.*

*ANSEL. Rofia*

## *Dédicace*

*Ce dédicace pour*

*Toute ma famille*

*Mon cher père,*

*Ma chère mère*

*Mes chers frères : Mohammed, Abd elaziz, Younes.*

*Mes chères sœurs : Imen, Aya, Douaa.*

*Mes grandes mères et tous mes oncles et mes tantes*

*Tout mes enseignants surtout les enseignants de primaire*

*Tous mes amis et surtout qui sont vivent dans la Wilaya de Djelfa*

*« Hassi- behéh » : Rachida, Fouzia, Hanen.*

*Asmaa*

---

<b>Tableau 01.</b> Différentes protéines du grain de blé.....	04
<b>Tableau 02.</b> Vitamines présentes dans le blé et leurs quantités.....	05
<b>Tableau 03.</b> Minéraux présents dans le blé et leurs quantités.....	05
<b>Tableau 04.</b> Produits de la mouture.....	13

---

<b>Figure 01.</b> Structure du grain de blé.....	<b>03</b>
<b>Figure 02.</b> Photo de Matmoure et de blé fermenté.....	<b>07</b>
<b>Figure 03.</b> Photo de types de stockage.....	<b>09</b>
<b>Figure 04.</b> Poids de 1000 grains et Masse à l'hectolitre dans les échantillons du blé fermenté .....	<b>30</b>
<b>Figure 05.</b> Taux d'impuretés dans les échantillons du blé fermenté.....	<b>31</b>
<b>Figure 06.</b> Pourcentage des grains brisés des échantillons du blé fermenté.....	<b>32</b>
<b>Figure 07.</b> pH et acidité grasse dans les échantillons du blé fermenté.....	<b>33</b>
<b>Figure 08.</b> Teneur en eau et la matière sèche du blé fermenté.....	<b>34</b>
<b>Figure 09.</b> Taux d'extraction des farines.....	<b>35</b>
<b>Figure 10.</b> Densité sèche.....	<b>35</b>
<b>Figure 11.</b> Indice de couleur des farines issues des blés fermentés.....	<b>36</b>
<b>Figure12.</b> Conductimètre.....	<b>37</b>
<b>Figure13.</b> Valeur de PH des échantillons de farine .....	<b>37</b>
<b>Figure14.</b> Humidité et la matière sèche des farines .....	<b>38</b>
<b>Figure 15.</b> Essai de panification.....	<b>38</b>
<b>Figure 16.</b> Influence du taux d'incorporation de blé fermenté sur les hauteurs des pâtes lors de la fermentation.....	<b>39</b>
<b>Figure 17.</b> Analyse sensorielle des pains (%)......	<b>40</b>
<b>Figure 18.</b> Dénombrement de la flore totale aérobie mésophiles .....	<b>42</b>
<b>Figure 19.</b> Dénombrement des levures et moisissures .....	<b>43</b>
<b>Figure 20.</b> Dénombrement de la flore lactique.....	<b>43</b>
<b>Figure 21.</b> Teneur en eau et la matière sèche du pain.....	<b>44</b>
<b>Figure 22.</b> Valeur de PH des échantillons du pain .....	<b>46</b>
<b>Figure 23.</b> Valeur de l'acidité grasse des échantillons de pain.....	<b>47</b>
<b>Figure 24.</b> Teneur en cendres.....	<b>47</b>
<b>Figure 25.</b> Teneur en éléments minéraux.....	<b>49</b>
<b>Figure 26.</b> Teneur en amidon, amylose et amylopéctine.....	<b>51</b>
<b>Figure 27.</b> Teneur en poly phénols totaux des extraits aqueux.....	<b>52</b>
<b>Figure 28.</b> Teneur en flavonoïdes des échantillons du pain.....	<b>54</b>
<b>Figure 29.</b> Activité anti-radicalaire du radical DPPH° des extraits du pain.....	<b>54</b>

---

**Abs** : Absorbance

**ANOVA** : Analyse de variance à un fact

**AG** : Acidité grasse

**AlCl<sub>3</sub>** : Chlorure d'aluminium

**BJ2** : Blé de Jijel codé par 2

**BM3** : Blé de Milla codé par 3

**BM7** : Blé de Milla codé par 7

**DPPH** : 2,2-phényl-1-picrylhydrazyl

**%**: Pour cent.

**H<sub>2</sub>O**: Eau.

**Hcl**: Chlorure d'hydrogène.

**H** : Humidité

**GB** grains brisés.

**GAE/g** : acide gallique équivalent.

**JORAN**: Journal Officiel.

**KI** : Iodure de potassium.

**KOH** : Hydroxyde de potassium.

**FMAT**: Flore Mésophile Aérobie Totale.

**pH**: Potentiel d'Hydrogène.

**PMG** : Poids de Mille Grains

**PCA**: Plate Count Agar.

**Phl** : Poids à l'hectolitre

**°C**: Degré Celsius.

**CO<sub>2</sub>**: Dioxyde de Carbone.

**CUD** : Coefficient d'Utilisation Digestive

**min**: Minute.

**ml**: Millilitre.

**MRS**: Man-Rogosa-Sharpe.

---

**mg EQ/g EB** : Milligrammes équivalent quercitrine par gramme d'extrait brut.

**MM** : Matière minérale

**MO** : Matière organique

**MS** : Matière sèche

**NaOH**: Hydroxyde de sodium.

**O<sub>2</sub>**: Oxygène.

**µl**: Microlitre

**tr / min**: Tourne par Minute.

**VRBG**: Violet Red Bile Glucose Agar.

**UFC/ml**: Unité Faisant Colonie.

**SP** : Poids Spécifique.

**T°**: Température.

**VRBG** : Gélose Glucose Biliée au Cristal Violet et au Rouge Neutre.



## Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>01</b>
<b>Synthèse bibliographique</b>	
<b>Chapitre I: Grain de blé</b>	
I.1. Données générales sur le blé.....	02
I.2. Structure du grain de blé.....	02
I.2.1. Enveloppe.....	02
I.2.2. Amande.....	02
I.2.3. Germe.....	02
I.3. Composition biochimique du grain de blé.....	03
I.3.1. Glucides.....	03
I.3.2. Protéines.....	03
I.3.3. Lipides.....	04
I.3.4. Eléments secondaires.....	04
I.3.5. Eau.....	05
I.4. Facteur influençant la composition chimique .....	06
I.5. Utilisation du grain de blé.....	06
<b>Chapitre II: Stockage de blé</b>	
II. 1. Stockage traditionnel en Algérie « Fermentation dans le Matmour».....	07
II. 2. Autres techniques de stockage.....	08
II.2.1. Stockage en sac.....	08
II. 2.2. Stockage en silo.....	08
II. 3. Stockage en vrac.....	08
II.3. Altérations du blé au cours du stockage.....	09
II.3.1. Causes d'altération de blé.....	09
II.3.2. Types d'altérations.....	09
II.3.2.1. Altération enzymatique.....	09
II.3.2.2. Altération chimique.....	09
II.3.2.3. Altération mécanique.....	10
II.3.2.3. Altération biologique.....	10
II.3.3.1. Altération par les rongeurs.....	10
II.3.3.2. Altérations par les insectes.....	10
II.3.3.3. Altérations par les Microorganismes.....	10
II.4. Facteurs d'altération des grains.....	11
II. 4.1. Durée d'entreposage.....	11

II. 4.2. Humidité.....	11
II.4.3. Température.....	11
II.4.Condition de Stockage.....	11

### **Chapitre III: Panification**

III.1.Technologie de blé.....	13
III.1.1. Nettoyage.....	13
III.1.2. Préparation du blé.....	13
III.1.3. Mouture de blé .....	13
III.2.Technologie de panification.....	15
III.2.1. Données générales .....	15
III.2.2. Matières premières .....	15
III. 2.2.1. La farine.....	15
III.2.2.2. Eau.....	15
III.2.2.3. Sel.....	15
III.2.2.4. Agents de fermentation.....	15
III.2.2.5. Améliorants.....	16
III.2.3. Etapes de panification.....	16
III.2.3.1. Pétrissage.....	16
III.2.3.2. Première fermentation.....	16
III.2.3.3. Division de la pâte en pâtons .....	16
III.2.3.4. Boulage .....	16
III.2.3.5. Détente.....	16
III.2.3.5. Façonnage.....	16
III.2.3.6. Deuxième fermentation intermédiaires.....	17
III.2.3.7.Cuisson.....	17
III.2.3.8.Ressuage.....	17
III.3.Qualité du pain.....	17

### **Partie expérimentales**

#### **Chapitre I: Matériel et méthodes**

I.1. Matériel .....	19
I.1.1. Matériel biologique .....	19
I.1.2. Milieux de culture.....	19
I.1.3. Produits chimiques et réactifs .....	19

I.1.4. Appareillage.....	19
I.2. Méthodes .....	20
I.2.1. Evaluation de la qualité physicochimique de blé fermenté.....	20
I.2.1.1. Poids de mille grains.....	20
I.2.1.2. Masse l’hectolitre.....	21
I.2.1.3. Taux d’impuretés.....	21
I.2.1.4. Détermination du pourcentage des grains brisés.....	21
I.2.1.5. Mesure du pH.....	21
I.2.1.6. Mesure de l’acidité grasse.....	22
I.2.1.7. Détermination de l’humidité et la matière sèche.....	22
I.2.2. Essai de Mouture et analyses physicochimiques des farines .....	23
I.2.2.1. Détermination de la granulométrie des farines et taux d’extraction.....	23
I.2.2.2. Détermination de la densité sèche.....	23
I.2.2.3. Mesure de l’indice de couleur.....	23
I.2.2.4. Détermination de la conductimètre.....	23
I.2.2.5. Mesure de la teneur en eau, matière sèche, pH.....	24
I.2.3. Essai de panification.....	24
I.2.3.1. Evaluation de la qualité sensorielle de pain.....	24
I.2.3.2. Evaluation de la qualité microbiologique de pain.....	25
I.2.4. Evaluation de la qualité physicochimique et nutritionnelle de pain.....	26
I.2.4.1. Détermination de la teneur en matière sèche, pH et acidité grasse .....	26
I.2.4.2. Détermination de la teneur en cendres.....	26
I.2.4.3. Dosage des minéraux.....	27
I. 2.4.3. Dosage de l’amidon, l’amylose et l’amylopectine.....	27
I. 2.4.4. Extraction et dosage des composés antioxydants.....	27
I.2.5. Traitement statistique.....	29

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

II.1. Evaluation de la qualité physicochimique de blé fermenté.....	30
II.1.1. Poids de mille grains et masse à l’hectolitre .....	30
II.1.2. Taux d’impuretés.....	31
II.2.1.3. Détermination du pourcentage des grains brisés.....	32
II.1.4. Mesure du pH et acidité grasse.....	32
II.1.5. Mesure de la teneur en eau et la matière sèche.....	33
II.2. Essai de Mouture et analyses physicochimiques des farines .....	34

II.2.1. Détermination de la granulométrie des farines et taux d'extraction.....	34
II.2.2. Détermination de la densité sèche.....	35
II.2.3. Mesure de l'indice de couleur.....	36
II.2.4. Détermination de la conductimètre.....	36
II.2.5. Mesure de PH.....	37
II.2.6. Mesure de la teneur en eau, matière sèche. ....	37
II.3. Essai de panification.....	38
II.3.1. Evaluation de la qualité sensorielle de pain.....	40
II.3.2. Evaluation de la qualité microbiologique de pain.....	41
II.2.4. Evaluation de la qualité physicochimique et nutritionnelle de pain.....	44
II.2.4.1. Détermination de la teneur en matière sèche.....	44
II.2.4.2. Détermination du pH.....	46
II.2.4.3. Acidité grasse .....	46
II.2.4.2. Détermination de la teneur en cendres.....	47
II.2.4.3. Dosage des minéraux.....	48
II.2.4.3. Dosage de l'amidon, l'amylose et l'amylopectine.....	51
II.2.4.4. Extraction et dosage des composés antioxydants.....	52
<b>Conclusion.....</b>	<b>56</b>

## **Références bibliographiques**

### **Annexes**

### **Résumé**

### Introduction

Les céréales sont des graminées très anciennement présentes à l'état sauvage dans les zones tempérées ; leur mise en culture transforma les hommes primitifs de nomades en sédentaires (**Roudaut et Lefrancq, 2005**). Les graines céréalières pouvant être considérées depuis des millénaires comme des produits d'intérêt nutritionnel de par leur valeur énergétique, bien qu'elles soient déficientes en acides aminés et vitamines et qu'elles présentent des facteurs antinutritionnels (**Doukani et al., 2013**). La culture des céréales est, économiquement, très importante. Les principales sont : le blé, le riz, le seigle, l'orge, l'avoine, le maïs, le millet et le sorgho (**Roudaut et Lefrancq, 2005**).

En Algérie, le blé et l'orge sont les grains les plus utilisés dans l'alimentation. La farine et la semoule de blé se prêtent aujourd'hui à la fabrication d'un nombre extraordinairement diversifié d'aliments : pains, galettes, couscous, pâtes alimentaires, biscuits (**Feillet, 2000**). Traditionnellement, le blé est stocké dans des silos souterrains (le Matmour) en milieu rural à des endroits élevés proche de la ferme (**Gourchala et al., 2014**). Le résultat de ce stockage est l'obtention d'un produit brun avec odeur acide accentué : blé fermenté, appelé localement 'Mzeyet' ou encore 'Elhammoum'.

Le blé fermenté traditionnel est utilisé en Algérie pour la fabrication du couscous. Sur le plan scientifique et à l'heure actuelle il n'existe aucunes données relatives à son utilisation dans la panification. Notre travail vise alors, à déterminer l'effet de l'inclusion de la farine du blé fermenté traditionnellement sur la qualité microbiologique, nutritionnelle et sensorielle du pain, en vue d'augmenter le niveau de cette inclusion dans la technologie panariaire.

Notre manuscrit est structuré comme suit : une introduction ; une partie bibliographique présentée en 3 chapitres : le premier chapitre concerne le grain de blé, le deuxième chapitre est consacré à l'étude des différentes techniques de son stockage du blé, et le dernier chapitre décrit la technologie du pain ; une deuxième partie présentée en 2 chapitres : le premier traite l'ensemble des techniques et méthodes microbiologiques, biochimiques et sensorielles réalisées en vue de contrôler la qualité des échantillons des matières premières (blé fermenté) et des produits finis (pains), et le deuxième est consacré à la discussion des résultats obtenus ; En fin notre travail termine par en conclusion et les perspectives envisagées.

## Chapitre I. Le grain de blé

### I.1. Données générales sur le blé

Le blé est la céréale la plus cultivée au monde et la principale ressource alimentaire de l'humanité. Il représente une plante annuelle qui s'adapte à des sols et des climats variés. C'est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des Gramineae (poaceae) dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse (Fredot., 2009 et Feuillet., 2000). Les deux espèces de blé les plus cultivées sont : le blé tendre ou froment (*Triticum aestivum*) cultivé dans les régions tempérées (Roudaut et Lefrancq., 2005) dont le nombre de chromosome est de 42 (21 paires), c'est une espèce hexaploïde qui contient trois génomes AA, BB et DD, son amande est friable et lui donne une bonne aptitude à la transformation en farine (Jeantet et al., 2007), et le blé dur (*Triticum durum*) cultivé sous des climats de type méditerranéen (Roudaut et Lefrancq., 2005) dont le nombre de chromosome est de 28 (14 paires), c'est une espèce tétraploïde ne contenant que deux génomes AA et BB, son amande dure, le rend apte à donner des semoules pendant la mouture. Ces semoules sont valorisées dans la fabrication des pâtes alimentaires et des couscous même possible dans la panification (Jeantet et al., 2007).

### I.2. Structure du grain de blé

Le grain de blé est constitué de trois parties essentielles : les enveloppes, l'amande et le germe (Mousia et al., 2004) (Figure 01).

**I.2.1. Enveloppe :** Elle est constituée de plusieurs couches parmi celle le péricarpe qui protège la graine, parfois riche en glucides, ralentit les échanges avec l'extérieur mais qui peut cependant être facilement traversé par les micro-organismes et par les gaz, et il y a aussi le testa et l'épiderme (Cruz et al., 1988). Les enveloppes de blé représentent 13 -17 % du grain et donnent le son en semoulerie, elles sont d'épaisseurs variables (Mousia et al., 2004).

**I.2.2. Amande :** C'est l'organe de réserve, il est constitué de grosses cellules gorgées de réserves sous forme de grains d'amidon (Cruz et al., 1988). L'amande est appelée aussi endosperme ou albumen, c'est la partie centrale du grain, tissu de stockage qui fournit au germe les réserves nécessaires pour sa croissance (Doumandji et al., 2003). On y trouve l'essentiel des réserves énergétiques qui nourrissent la plantule au moment de la germination (ITCF., 1989). Il est représenté 81-84% du grain de blé (Mousia et al., 2004).

**I.2.3. Germe** qui donne la plantule. Le germe comprend 2 parties : la plantule et le cotylédon qui contient l'essentiel des matières grasses du grain dans le cas des céréales (ITCF., 1989). Il est responsable de la perpétuation de la vie. De par sa richesse en nutriments (vitamines, protides,

lipides), le germe est une partie du grain qui contient l'embryon, protégé par le scutellum (Le germe représente 2 à 3% de grain du blé) (Mousia et al., 2004).

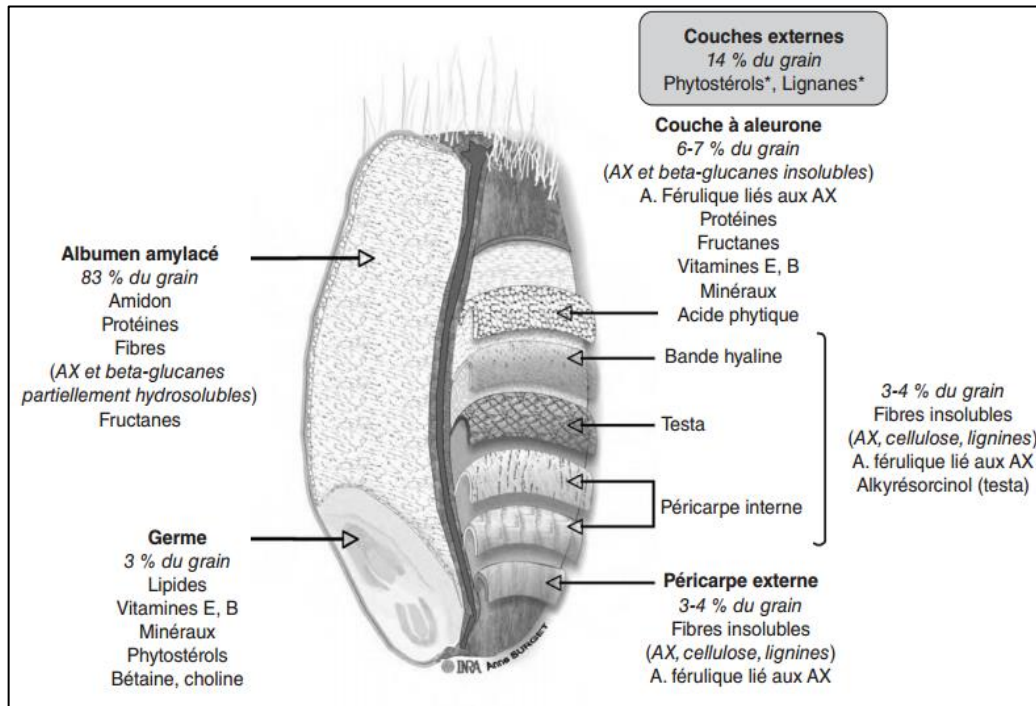


Figure 01. Structure du grain de blé (Saulnier., 2012)

### I.3. Composition biochimique du grain de blé

La composition du blé varie d'une part selon les espèces, la nature du sol, le climat et, d'autre part, selon les parties du grain (Roudaut et Lefrancq., 2005). Le grain est principalement constitué d'amidon (environ 70%), de protéines (10 à 15% selon la variété et les conditions de culture) et de pentosanes (8 à 10 %) ; les autres constituants, pondéralement mineurs (quelque % seulement), sont les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines (Feuillet., 2000).

**I.3.1. Glucides :** Le grain de blé contient environ 61% de glucides assimilables telle que l'amidon, un sucre complexe représentant la majeure partie de ces glucides soit 59% répartis ainsi : 25% d'amylose et 75% d'amylopectine. Il est essentiellement retrouvé en grande quantité dans l'amande du grain dont la zone centrale est plus riche que la zone périphérique. A l'opposé, l'écorce et le germe sont peu riches en amidon. Par conséquent, plus une farine sera blanche, plus elle sera riche en amidon et meilleur sera son coefficient d'utilisation digestive (CUD). Il y a aussi les sucres simples qui représentant 2 %, ces glucides sont le glucose, le fructose, le saccharose et le raffinose qui sont pour la majeure partie localisés dans le germe et l'assise protéique de l'écorce. Il existe dans les grains de blé des glucides non assimilables qui sont présents sous forme des fibres alimentaires végétales à 9,5%, leur présence est essentiellement dans l'écorce (Fredot., 2009).

**I.3.2. Protéines :** Les protéines représentent 12% du poids du grain, elles sont présentes sous deux types (**Fredot., 2009**) : Les protéines solubles « albumines et globulines » et les protéines insolubles « prolamines et glutélines ». Certaines protéines insolubles appelées les gliadines et les gluténines situées dans l’albumen forment le gluten indispensable à la panification (**Battais et al., 2007**) (**Tableau 01**).

En effet, la gliadine permet l’extensibilité de la pâte lors de la fabrication du pain ainsi que son écoulement visqueux, alors que la gluténine assure l’élasticité de la pâte qui permet au gluten de former, lors de la panification, un réseau protéique élastique et adhésif nécessaire à la levée de la pâte. Le gluten du blé dur est très peu extensible d’où l’impossibilité de l’utiliser pour la panification (**Fredot., 2009**).

**Tableau 01.** Protéines du grain de blé (**Fredot., 2009**)

Classes	Propriétés	Dénomination	%de protéines
<b>Albumines</b>	Solubles	-	9
<b>Globulines</b>	Solubles	-	5
<b>Grolamines</b>	Insolubles	Gliadine	40 à 50
<b>Glutélines</b>	Insolubles	Gluténine	40 à 45

**I. 3.3. Lipides :** Les grains de blé sont naturellement pauvres en lipides qui représentent 2%. Essentiellement localisés dans le germe et l’assise protéique. Ils vont se lier lors de pétrissage de la pâte aux protéines et aux glucides afin d’assurer une rétention d’eau, l’extensibilité et l’élasticité de la pâte (**Fredot., 2009**). Ces lipides se répartissent en :

- ✓ Lipides apolaires (lipides de réserve du grain), essentiellement localisés dans le germe.
- ✓ Lipides polaires (lipides de structure du grain). L’albumen amylicé contient la plus grande part des lipides polaires, dont une partie est associée au grain d’amidon.

L’impact nutritionnel des lipides des grains de céréales est relativement limité en raison de leur faible abondance. Ils ont toutefois un grand impact technologique en raison de leurs interactions avec les protéines du gluten et de leurs effets sur la rhéologie des pâtes boulangères. Par ailleurs, les triglycérides peuvent former des complexes de cristallisation avec les molécules d’amylose lors du processus de rétrogradation (**Saulnier., 2012**).



**I.3.4. Éléments secondaires :** Les vitamines sont des éléments chimiques complexes jouant un rôle important dans la nutrition. Les plus répandues sont les vitamines hydrosolubles de type B (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub>) (Fredot, 2009) (Tableau 02).

Dans les grains, les vitamines sont surtout concentrées au niveau du germe et des enveloppes. Lors de la mouture une partie sera donc perdue dans les sons (Cruz et al., 1988).

**Tableau 02 :** Vitamines présentes dans le blé (Fredot., 2009).

Vitamines	Hydrosolubles					Liposolubles
	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>6</sub>	B <sub>9</sub>	E
<b>Quantité dans 100 g de blé</b>	0.4 mg	0.1mg	4.7mg	0.5mg	50µg	2.5mg

Les enzymes sont aussi des substances complexes présentes en quantité négligeable mais dont le rôle est très important: ils sont responsables des transformations que subissent les autres substances (hydrolyse de l'amidon et des protéines, destruction des sucres simples et des acides aminés) (ITCF, 1989). Les enzymes les plus courantes sont les amylolytiques, les pentosanases et les lipases (Boudreau et al., 1992).

Le grain de blé comprend également des matières minérales en faibles proportions (Doumandji et al., 2003). Les minéraux présents dans le blé sont le calcium et le phosphore, une grande partie du phosphore (75%) se trouve sous forme d'acide phytique « phytate » situé dans les enveloppes du grain, la mouture permet d'éliminer une grande partie d'où une meilleure assimilation des minéraux (Tableau 03). Le blé aussi contient le magnésium qui est sous forme de cation bivalent Mg<sup>2+</sup> et donc interagit aussi avec d'acide phytique (Fredot., 2009).

**Tableau 03 :** Minéraux présents dans le blé (Fredot., 2009).

Les minéraux	Calcium	Phosphore	Magnésium	Sodium	Potassium	Fer	Zinc
<b>Quantité dans 100 g de blé en mg</b>	35	400	140	3	435	5	4

**I.3.5. Eau :** L'eau est toujours présente dans le grain, à une teneur plus ou moins grande. Du point de vue chimique et physique, son action solvant favorise les réactions enzymatiques et les attaques microbiennes lorsque sa teneur dans le grain dépasse un certain seuil d'équilibre (ITCF., 1989). Les grains sont naturellement peu hydratés, leur teneur en eau varie avec le taux d'humidité de l'air. L'équilibre se situe entre 13 et 15 % (Feillet., 2000).

#### **I.4. Facteurs influençant la composition chimique**

La composition de blé varie d'une part selon les espèces, la nature de sol, le climat et d'autre part selon les parties de grain (Roudaut et Lefrancq., 2005).

La migration de blé a été facilitée par leur capacité de s'adapter aux environnements locaux, résultant dans la vaste diversité génétique dans le blé. La composition des grains est affectée à la fois par l'environnement, en particulier la température et la disponibilité de l'eau pendant le développement de grain, et l'agronomie, en particulier le type et la quantité de fertilisation azotée (Shewry., 2018).

#### **I.5. L'utilisation du blé**

L'utilisation alimentaire la plus importante est la fabrication de farine pour faire du pain, des biscuits et des produits de pâtisserie (blé tendre). De petites quantités de blé sont transformées en céréales de petit déjeuner, en aliments tels que le boulgour et en semoule pour l'industrie des pâtes alimentaires (blé dur) (Finney et al., 1987).

Le blé en grains entiers est peu utilisé en alimentation humaine mais, il existe des formes d'utilisation telle que le pil-pil, le blé soufflé, le blé germé (Roudaut et Lefrancq., 2005).

## Chapitre II. Stockage du blé

Le stockage des grains est une opération complexe qui demande la prise en compte de multiples paramètres (température, humidité, etc.) lors des différentes étapes, entre la récolte et l'expédition. Les premiers systèmes de stockage étaient de grands paniers faits de roseaux ou fioles d'argiles qui sont enfoncées dans le sol, ainsi que des puits, des structures de bois et des puits garnis de paille (Doukani et al., 2013).

### II.1. Stockage traditionnel en Algérie « Fermentation dans le Matmour»

Le paysan algérien, sur les hauts plateaux, conservait tant bien que mal, le produit de ses champs d'orge et de blé, dans des enceintes creusées dans un sol argileux généralement à endroit surélevé ou proche de la ferme. C'est ce qu'on appelle «le Matmour» (Doumandji et al., 2003). Le stockage de blé dans le Matmour est une technique archaïque qui peut encore être utilisée dans certaines zones rurales (Mokhtari et al., 2016). La capacité de ces lieux de stockage est variable. Elle est de l'ordre de quelques mètres cubes, utilisée dans certaines régions isolées (Doumandji et al., 2003). La méthode de stockage traditionnelle dépend des conditions climatiques, y compris le taux d'humidité ambiante et les matériaux disponibles localement; les agriculteurs utilisent généralement des greniers dont la description et l'efficacité pratique varient d'une région à l'autre. Au cours du processus de fermentation, le blé est soumis par l'action des micro-organismes et/ou des enzymes, avec des changements biochimiques souhaitables (Mokhtari et al., 2016). Suite à l'infiltration accidentelle des eaux de précipitation, les grains de blé humidifiés ou inondés, en périphérie et en profondeur du silo, subissent une fermentation spontanée (Merabti, 2015).



Figure 02. Photo du Matmour et du blé fermenté (Mokhtari et al., 2016).

Cette fermentation est assurée par des levures et des bactéries (**Mokhtari et al., 2016**). La présence d'humidité, de température non contrôlée et l'absence d'air existe dans le Matmour, engendrent les phénomènes de fermentation d'origine microbienne qui peuvent durer plusieurs années ( $\leq$  neuf années) (**figure 02**). Le goût du blé fermenté est alors découvert et entré dans les habitudes alimentaires pour la fabrication de couscous dit noir Lemzeyet. Ce blé est caractérisé par une variété de saveurs, de textures et d'arômes particuliers très convoités par les consommateurs des régions spécifiques (**Merabti, 2015**).

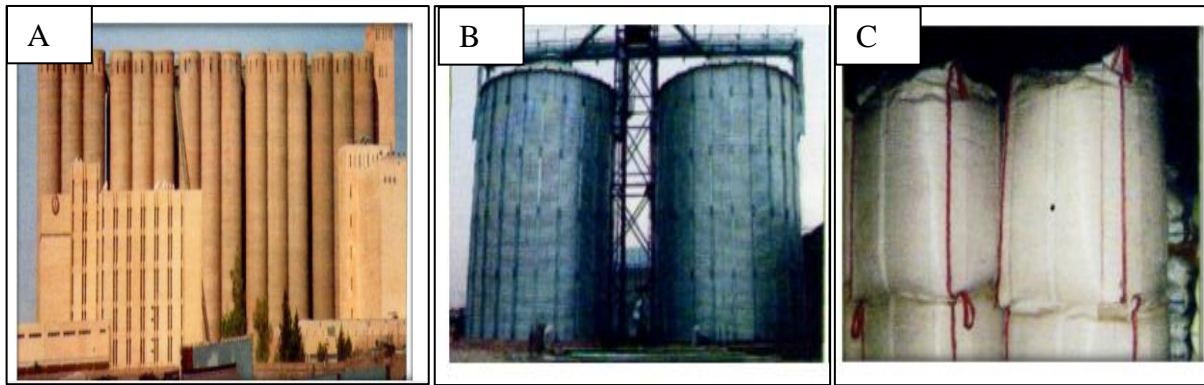
De plus, le blé dur fermenté, issu du stockage dans les Matmours en milieu rural, est apprécié pour ses propriétés organoleptiques et sa richesse en protéines, bonnes pour la santé; il est utilisé comme remède par les diabétiques, en raison de sa pauvreté en sucres liée à sa fermentation. La richesse en polyphénols (antioxydants) et en protéines du blé fermenté lui confère un effet bénéfique sur la santé. Les faibles teneurs en sucres totaux et en amidon justifieraient son utilisation par les diabétiques de la population locale. La diminution de la gliadine, fraction protéique du gluten, impliquée dans la maladie cœliaque, serait bénéfique pour ces patients (**Gourchala et al., 2015**). L'inconvénient majeur de cette méthode de stockage, c'est la trop forte humidité et les eaux d'infiltration qui favorisent le développement des moisissures et les phénomènes de fermentation bactérienne (**Doumandji et al., 2003**).

### II.2. Autres techniques de stockage

**II.2.1. Stockage en sac :** Les grains sont conservés dans des sacs fabriqués en toile de jute. Les sacs sont entreposés dans divers locaux, magasins ou hangars (**Figure 03**). Il est aussi les plus vulnérables aux rats et aux souris. Souvent ce type de stockage est passager dans les milieux où l'autoconsommation est forte (**Boudreau et al., 1992 et Doumandji et al., 2003**).

**II.2.2. Stockage en silo :** Ce sont des enceintes cylindriques en béton armé ou en métal (**Figures 03**). Elles sont fermées à leur partie supérieure par un plancher sur lequel sont installés les appareils de remplissage des cellules. L'emploi des silos réduit la main d'œuvre, augmente l'aire de stockage et supprime l'utilisation des sacs onéreux. Les rongeurs ne peuvent venir s'alimenter dans les silos en béton armé ou de métal (**Boudreau et al., 1992**).

**II.2.3. Stockage en vrac :** Dans ce cas, les grains en tas sont laissés à l'air libre dans des hangars ouverts à charpente métallique.



**Figure 03** : Types de stockage. A : Stockage en silos en béton armé ; B : stockage en silos en métal.  
C : stockage en sacs (Mokhtari, 2012).

Malheureusement les contaminations sont possibles, d'autant plus que dans ce type de construction, il demeure toujours des espaces entre les murs et le toit. Ainsi libre passage des souris, des rats, des moineaux, des tourterelles, des pigeons et des insectes cléthrophages demeure possible. Par ailleurs l'influence des intempéries est encore assez forte et le développement des moisissures et des bactéries est toujours à craindre. Ce moyen de stockage indispensable face à l'insuffisance des installations spécialisées aura tendance à disparaître dans l'avenir (Doumandji et al., 2003).

### II.3. Les altérations du blé au cours du stockage

#### II.3.1. Causes d'altération de blé

Différentes causes peuvent être à l'origine d'une altération des grains au cours de leur conservation (Cruz et al., 1988). Les altérations possibles sont de types mécaniques (détérioration de l'enveloppe des grains ou des grains brisés), biologiques (infestation par des insectes, rongeurs), enzymatiques (dégradation de l'amidon, rancissement des lipides) et chimique (St-Pierre et al., 2014). Des précautions peuvent être prises pendant la manutention des grains pour éviter des chocs susceptibles de provoquer des fissures et des brisures. Ces altérations sont liées à des conditions de stockage particulièrement agressives (Feuillet, 2000).

#### II.3.2. Types d'altérations

**II.3.2.1. Altérations enzymatiques :** Les activités enzymatiques ne commencent à se manifester que pour des activités de l'eau supérieure à 0.75. Compte tenu de ce que leur substrat est liquide, ce qui facilite le renouvellement des contacts enzymes-substrat, les lipases font exception ; leur action lipolytique peut s'exercer à des activités d'eau inférieures à 0.2 (Feuillet, 2000).

**II.3.2.2. Altérations chimiques :** Les altérations chimiques sont peu fréquentes. Elles résultent des réactions de Maillard, qui aboutissent dans leur stade ultime à la libération de composés brunâtres, à

une altération des propriétés d'utilisation du gluten et à la perte de certaines activités enzymatiques faisant suite à la dénaturation des protéines, à la destruction des vitamines (vitamines B1), à l'oxydation non enzymatique des lipides (celle-ci pouvant se produire dans les conditions normales de stockage) et enfin, dans les cas extrêmes, à une atteinte à l'intégrité des granules d'amidon (Feuillet, 2000).

**II.3.2.3. Altérations mécaniques :** Les altérations d'origine mécanique sont dues à des chocs entraînant la fissure, voire la cassure des graines. Lorsque la structure granulaire est détruite, les constituants peuvent entrer plus facilement en contact avec les microorganismes et les enzymes (Boudreau *et al.*, 1992).

**II.3.2.4. Altérations biologiques :** Ces altérations résultent des dégâts parfois très importants que les rongeurs, les insectes et les microorganismes peuvent provoquer aux grains stockés et farines. Les conditions d'évolution de ces populations dépendent, bien sûr, de la teneur en eau et la température mais également de la nature de l'atmosphère qui entoure le grain (libre, renouvelée, confinée ou modifiée) (Feuillet, 2000).

**A. Altération par les rongeurs :** Il existe de très nombreuses espèces de rongeurs dont certaines vivent en symbiose avec l'homme et sont capable de vivent sous tous les climats (Cruz *et al.*, 1988 et Cruz *et al.*, 2016). C'est le cas notamment des rats et des souris. Les rongeurs peuvent occasionner d'importants dégâts et un effet néfaste sur les récoltes, mais également dans les stocks des céréales. Les stocks de céréales constituant des réserves importantes de nourriture sur un espace réduit, représentent un milieu favorable à leur développement (Cruz *et al.*, 1988). D'une part ils réduisent la quantité de grains de céréales emmagasinées en prélevant une partie pour leur propre alimentation. D'autre part ils déprécient la qualité des denrées alimentaires en rejetant leurs excréments dans l'entrepôt (Doumandji *et al.*, 2003).

**B. Altérations par les insectes :** Tout comme les rongeurs, les insectes sont des ravageurs des stocks. Ils provoquent des pertes au cours du stockage, non seulement en consommant le produit, mais aussi en le souillant de leurs déchets (Cruz *et al.*, 1988). Les insectes capables de s'attaquer directement aux grains s'implantent les premiers, suivis par des hôtes secondaires susceptibles de se développer sur des céréales dépréciées (grains endommagés, brisés ou moisissés) que supplantent enfin des espèces parasites des hôtes primaires et secondaires (Doumandji *et al.*, 2003).

**C. Altérations par les Microorganismes :** Le développement des microorganismes est dû aux mauvaises conditions de stockage des grains de céréales. La prolifération des microorganismes est favorisée par une humidité élevée ainsi qu'une température comprise entre 20°C et 40°C

(**Doumandji et al., 2003**). Les moisissures constituent la cause essentielle des altérations microbiennes, provoquant le brunissement et la mort des embryons (**Boudreau et al., 1992**). Les principales moisissures impliquées sont des *Penicillium* et des *Aspergillus* ; elles ont un rôle déterminant dans l'altération des grains en cours de conservation, le développement de bactéries n'est pas à craindre; au contraire, leur nombre diminue lorsque la température s'élève (**Feuillet, 2000**).

#### **II.4. Facteurs d'altération des grains**

Les grains peuvent subir différentes altérations provoquées par des agents de diverses origines et amplifiées par trois principaux facteurs : la durée d'entreposage, l'humidité et la température (**St-Pierre et al., 2014**).

**II.4.1. Durée d'entreposage :** C'est le facteur prépondérant puisqu'il conditionne la durée des dégradations. Plus un grain humide attend avant d'être traité, plus il se dégrade, il convient donc d'agir le plus rapidement possible après la récolte pour mettre ce grain dans de bonnes conditions de stockage (**ITCF, 1989**).

**II.4.2. Humidité :** Les grains stockés humides sont le siège d'échauffements, de développements de moisissures et parfois de germinations (**Cruz et al., 2016**).

Elle conditionne l'intensité des dégradations surtout si le grain est très humide. Une augmentation de l'humidité de 1,5 % entraîne une multiplication par deux de l'intensité respiratoire du grain donc de la quantité de chaleur dégagée. Les moisissures ne peuvent se développer qu'avec une humidité relative de l'air interstitiel supérieure à 65-70 %. Pour être en dessous de ce seuil avec du grain aux normes d'humidité, il faut le refroidir en dessous de 10°C (**ITCF, 1989**).

**II.4.3. Température :** Les températures élevées de 20 °C à 40 °C qui y règnent couramment accélèrent les activités biologiques des microorganismes (**Cruz et al., 2016**). Les insectes ne se reproduisent plus au-dessous de 12°C, et ils sont tués si le grain peut être maintenu durant 2 mois et demi en dessous de 5°C (**ITCF, 1989**).

L'ensemble de ces altérations modifie la qualité des grains entreposés. Au moment de la commercialisation, différents critères de qualité peuvent être évalués tels que les caractéristiques physiques du grain (teneur en eau, température, poids spécifique, taux d'impuretés, grains étrangers, grains endommagés), l'infestation par les prédateurs (insectes) et les microorganismes, ainsi que différents paramètres qui varient selon l'utilisation du grain (qualités alimentaire, nutritionnelle, technologique, germinative) (**St-Pierre et al., 2014**).

**II.4.4. Conditions de Stockage :** En raison de leur siccité à la récolte, les blés se prêtent à des stockages de longue durée, mais à la condition de prendre quelques précautions élémentaires : protection contre les insectes, les rongeurs et les infiltrations d'eau. Il s'agit d'éviter un accroissement, même localisé, de l'activité de l'eau et de la température ; en cas d'élévation de l'une ou de l'autre, les techniques correctives les plus efficaces sont de les faire chuter en ventilant le lot. Le maintien d'une atmosphère confinée ou création d'une atmosphère artificielle peut également contribuer à une amélioration de l'efficacité du stockage, mais cette technique doit être réservée des produits plus humides que ne le sont les blés (**Feuillet, 2000**).



## Chapitre III. Panification

### III.1. Technologie du blé

**III.1.1. Nettoyage :** Les grains de blé doivent être débarrassés de toutes leurs impuretés avant d'être envoyés sur le premier broyeur : les graines étrangères, graines d'autres céréales, pailles, pierres, pièces métalliques, déchets d'animaux. Il est également souhaitable d'éliminer les blés mal venus dont la présence pourrait nuire à la qualité des farines. L'ensemble de ces opérations doit éviter de blesser ou de casser les grains (**Feuillet, 2000**).

**III.1.2. Préparation du blé (conditionnement) :** Après le nettoyage, le blé doit être conditionné de manière à faciliter la séparation du son et de l'amande et le broyage de celle-ci (**Feuillet, 2000**).

D'après **Doumandji et al., (2003)**, la préparation du blé se compose des étapes suivantes:

**Mouillage ou humidification du grain :** le mouillage doit porter le blé à une humidité de 16 ou même à 17 % après la préparation, cette action est réalisée par l'addition d'eau au blé.

**Conditionnement ou temps de repos :** permettre à l'eau de pénétrer dans le grain et de bien se répartir dans l'amande farineuse. Ce repos peut avoir lieu dans des « boisseaux de repos » ou dans des appareils spéciaux appelés conditionneurs-sécheurs, le lot de blé y séjourne de 18 à 36 h. A la sortie du conditionneur, le blé doit subir un repos de l'ordre de 4 à 8 h.

**Brossage :** Vient immédiatement après le conditionnement. La brosse qui se trouve fonctionne à la cadence du moulin et parfait le nettoyage des grains juste avant le broyage.

**Pesage :** Le pesage du blé se fait par une bascule automatique. Cette opération donne le poids du blé propre avant sa mise en mouture.

### III.1.3. Mouture de blé.

La mouture, opération centrale de la transformation des blés en farines et en semoules, repose sur la mise en œuvre de deux opérations unitaires : une opération de fragmentation-dissociation des grains permet de dissocier l'amande et les enveloppes, de fractionner les semoules vêtues et de réduire l'amande en farine et une opération de séparation des constituants assure la séparation des sons et des enveloppes sur la base de leur granulométrie et leur propriété aérodynamique. Chaque opération de broyage est suivie d'une opération de séparation par tamisage, qui permet de classer les produits avant de les envoyer sur l'appareil à cylindres suivant (**Feuillet, 2000**).

#### a. Principales opérations effectuées dans un moulin

- **Broyage :** C'est la dissociation progressive de l'albumen et des parties périphériques (enveloppes et couche à aleurone) des grains par écrasement et cisaillement des produits entre des cylindres cannelés (**Boudroux, 1897 et Ladraa, 2012**).

- **Claquage et Convertissage** : C'est la réduction de la taille des grosses semoules par écrasement entre des cylindres lisses (Feuillet, 2000). La farine de broyage passe sur des rouleaux lisses qui l'écrasent de plus en plus finement et la séparent du germe, la farine de convertissage est très fine et blanche (Roudaut et Lefrancq, 2005).

- **Blutage** : Elle permet le classement des produits en différentes tailles. Le passage des éléments à travers le tamis constitue l'extraction. Par contre ce qui reste sur le tamis c'est le refus (Doumandji et al., 2003). La séparation des produits de mouture (semoules, farines, sons) se fait sur la base de leurs dimensions (granulométrie) (Ladraa, 2012).

- **Sassage** : C'est une opération intermédiaire entre le broyage et le claquage. Son but est de purifier et de classer les produits allant vers le claquage. C'est une opération qui permet l'épuration des semoules par tamisage densimétrique (séparation selon leur densité) et volumétrique (séparation selon leur taille) (Boudroux, 1897 et Feuillet, 2000).

**b. Différents produits de la mouture** : La mouture regroupe l'ensemble des opérations qui produisent des différents produits (Tableau 04)

**Tableau 04 : Produits de mouture (Doumandji et al., 2003).**

Le produit	Leurs propriétés
<b>La farine</b>	Le principal produit de la mouture, leurs particules sont fines et constituées de l'amande du grain de blé.
<b>La semoule</b>	Elle correspond à des morceaux d'amande qui sont plus ou moins vêtus d'enveloppe. Leur grosseur est variable.
<b>Les finots</b>	Ce sont des semoules très fines et très pures
<b>Les gruaux</b>	▪ Ils proviennent de la réduction des semoules.
<b>Les issues</b>	▪ on distingue différents types : Les sons, les remoulages
<b>Les farines basses</b>	Elles correspondent aux farines obtenues en faible quantité.

## III.2. Technologie de panification

### III.2.1. Données générales

La panification est l'ensemble des transformations physiques, de réactions chimiques et d'activités biologiques complexes se produisant au sein d'un mélange de farine, d'eau, de sel, de levure et parfois de quelques autres ingrédients (acide ascorbique, farine de fève, enzyme exogènes, émulsifiants...) sous l'action d'un apport contrôlé d'énergie mécanique et thermique (**Ladraa, 2012**).

Pour obtenir du pain, il faut au départ trois composants dont l'action est complémentaire et indissociable qui sont l'amidon qui fournit les sucres, le gluten qui forme le fin réseau élastique et assure la cohésion de l'ensemble et en fin la levure qui produit, comme son nom l'indique, la levée et l'allègement de la pâte (**Mosiniak, 2018**).

### III.2.2. Matières premières

**III.2.2.1. Farine :** Elle doit être de bonne qualité c'est-à-dire extraite d'un blé sain, satisfaisant à des conditions strictes d'humidification, de grosseurs des grains et de taux maximum d'impuretés (**Fredot, 2009**).

**III.2.2.2. Eau :** L'eau servant à la fabrication du pain est nommée « eau de coulage ». Elle doit être potable, non calcaire et ne doit pas contenir trop de chlore ce qui inhiberait la fermentation, elle permet d'hydrater le gluten et l'amidon et elle est indispensable à la cohésion de la pâte (**Fredot, 2009**).

**III.2.2.3. Sel :** Il est important mais non indispensable, il améliore les qualités organoleptiques de la pâte et il permet de régulariser la fermentation (en la freinant), participe à la bonne coloration de pain et retarde sa dessiccation (**Fredot, 2009**).

### III.2.2.4. Agents de fermentation

**Levain :** Afin de fabriquer du levain, le boulanger prélève une petite quantité de pâte sur l'une des fournées du jour. Il la laisse ensuite reposer plus de 12 heures en ajoutant régulièrement de la farine et de l'eau. De minuscules micro-organismes capables de faire gonfler la pâte se forment alors peu à peu. Ils constituent la flore de levain constituée précisément d'un mélange de bactéries acidifiantes (lactiques et acétiques) et de levures sauvages (*Saccharomyces minor*). La fermentation au levain fait donc appel à une fermentation **naturelle** (**Boudroux, 1897**).

**Levure de boulangerie :** C'est un agent de fermentation plus facile à utiliser que le levain car il est produit industriellement et assure un résultat plus rapide et plus uniforme (**Fredot, 2009**).

**III.2.2.5. Améliorants :** Pour corriger les déficiences de certaines farines ou faciliter certains types de panification, des produits peuvent être additionnés en boulangerie (additifs, adjuvants, auxiliaires technologiques ‘naturels, synthétiques’) (**Fredot, 2009**).

### **III.2.3. Etapes de panification**

**III.2.3.1. Pétrissage :** Le travail mécanique vise à mélanger les différents composants (**Dupin et al., 1992**), incorporer de l’oxygène à la pâte et développer l’élasticité du gluten (l’eau et la levure apportent la souplesse à la pâte). L’oxygène est utilisé en 15 secondes par les levures. La vitesse de pétrissage modifie les durées de fermentation (**Roudaut et Lefrancq, 2005**). La pâte lisse et homogène est formée au cours de pétrissage rapide (20-25 min). La levure peut être remplacée par du levain (**Alais et al., 2005**). Le pétrissage permet de réorganiser les protéines en un réseau viscoélastique, qui va contrôler l’expansion de la pâte pendant la fermentation. En fait, plus on pétrit, et plus on ensemence en levure, plus on aère le pain, ce qui conduit à un volume important (**Rémésy et al., 2014**).

**III.2.3.2. Première fermentation « pointage » :** Dans un milieu qui n’est pas strictement anaérobie : la levure fermente les glucides libres de la farine (environ 1%) pendant ce temps, la  $\beta$ -amylase attaque les granules d’amidon endommagés au cours de la mouture (**Alais et al., 2005**). On laisse reposer la pâte dans le pétrin à 20-25°C pour permettre l’activité de la levure ou de levain qui réalisent leurs fermentations respectives en utilisant les oses résiduels de la farine. Durant le pointage, l’essentiel des arômes est formé en particulier de l’acide propionique et aussi par d’autres acides, ces acides non seulement exhausteurs d’arômes mais qui freinent aussi le rancissement (**Fredot, 2009**).

**III.2.3.3. Division de la pâte en pâtons :** La pâte est découpée en pâtons de poids identiques et cette phase se réalise grâce à une peseuse- diviseuse. Elle doit être faite pour assurer un poids de pain constant et garanti à la vente (**Ladraa, 2012 et Fredot, 2009**).

**III.2.3.4. Boulage :** Afin d’obtenir des pâtons réguliers en vue de façonnage, ces derniers sont « boulés ». Cette étape permet également de contrôler la force des pâtes et de la corriger éventuellement en boulant plus ou moins serré (**Fredot, 2009**).

**III.2.3.5. Détente :** Les pâtons sont laissés au repos une nouvelle fois ce qui permet au gluten de se détendre après les différentes étapes de division et de boulage. Sans cette phase, le réseau de gluten aurait en effet tendance à se déchirer au moment du façonnage (**Ladraa, 2012**).

**III.2.3.6. Façonnage :** C’est une mise en forme de la pâte. Il consiste à donner à chacun des pâtons sa forme voulue selon le type de pain (baguette...). Pendant cette phase, il y a encore production de

sucres fermentescibles (glucose et maltose : grâce à l'action des amylases sur l'amidon) (**Doumandji et al., 2003 et Fredot, 2009**).

**III.2.3.7. Deuxième fermentation « apprêt » :** Elle se pratique aussi dans une enceinte thermostatée (20-25°C) et à hygrométrie suffisante pour éviter le « croûtage » des pâtes (**Doumandji et al., 2003**). Le volume de chaque pâton est ainsi triplé avec la production de nombreux arômes. Il s'agit de la fermentation qui s'échelonne de la tourne à la mise au four. L'apprêt représente la fermentation finale (**Ladraa, 2012**). Elle dure entre 1h 30mn et 2h. Des petits coups de lame sont donnés sur la partie supérieure des pâtons ce qui forme des incisions ayant pour but d'éviter lors de la cuisson, les déchirures peu esthétiques de la croûte. Elles permettent aussi d'obtenir de belles arêtes qui sont des éléments importants de l'esthétique de pain (**Fredot, 2009**).

**III.2.3.8. Cuisson :** Il y a une dilatation des alvéoles gazeuses ce qui permet au pain d'obtenir un volume suffisant et grâce à la gélatinisation de l'amidon et la coagulation du gluten, le pâton se fixe dans sa structure finale (**Dupin et al., 1992**). La mie et la croûte vont se former progressivement au cours de la cuisson qui se fait dans un four dont l'atmosphère est saturée en vapeur d'eau. La cuisson se fait vers 250°C durant 20 à 30 minutes. Il reproduit les transformations suivantes : accroissement brusque du volume de pain par la production accélérée de CO<sub>2</sub> et la saturation en gaz de la pâte ; en même temps, il se forme en surface un film précurseur de la croûte. Ces deux changements s'arrêtent lorsque la température interne s'élève vers 60°C, alors l'alcool produit s'évapore (**Doumandji et al., 2003 et Alais et al., 2005**).

**III.2.3.9. Ressuage :** C'est la période durant laquelle le pain se refroidit. Ce refroidissement est accompagné d'un départ de vapeur d'eau et de CO<sub>2</sub> entraînant une légère perte d'humidité au niveau de la mie et pour le pain une perte de poids. Le pain chaud est refroidi lentement, de manière à ce que sa fraîcheur dure de 12 à 18 heures. C'est donc un produit fragile ; il rassit même en atmosphère humide (ce n'est pas une simple dessiccation). Divers additifs ont été préconisés pour freiner le rassissement ; en particulier, les agents tensioactifs, comme les monoacylglycérols, qui formeraient un complexe avec l'amylose et empêcheraient sa diffusion (**Doumandji et al., 2003 et Alais et al., 2005**).

### **III.2.3. Qualité du pain**

Le pain est majoritairement fabriqué à partir de blé et l'amélioration de sa valeur nutritionnelle peut s'effectuer au niveau de la matière première, des procédés de mouture et des modes de panification (**Lioger et al., 2007**).

Les boulangers ne font pas usage d'ordinaire d'une farine provenant de la mouture d'une seule sorte de blé. Il est rare qu'une telle farine présente à la fois toutes les qualités requises pour la production économique d'un bon pain. La composition chimique des diverses farines, surtout en ce qui concerne la proportion des matières azotées, est extrêmement variable. Elle dépend non seulement de la variété du blé qui produit la farine, mais encore, pour une même variété de blé, des conditions de la culture, richesse du sol, humidité, température. Les considérations principales qui guident le meunier sont : la teneur en gluten, la dureté du grain et son rendement en farine (les blés durs donnent un plus grand rendement), la couleur de la farine à obtenir. Le pain d'une farine de blé tendre est bien blanc, si le taux de blutage est suffisamment élevé ; la farine de blé dur, employée seule, exige beaucoup plus de force pour la confection des levains; elle donne un plus grand rendement en pain. L'acidité du levain, loin d'être à craindre à ce point de vue, est une protection contre le brunissement. Si pour une raison quelconque une farine a été conservée trop longtemps, elle peut être devenue absolument impropre à la panification, à cause de l'altération de son gluten, et cependant il peut suffire d'y ajouter une certaine proportion de farine fraîche très riche en gluten pour en obtenir un pain parfaitement salubre et satisfaisant pour le goût (**Boutroux, 1897**)

La qualité du blé est déterminée par la force du gluten et est affectée par les protéines dans la farine de blé (**Tao et al., 2018**). Son qualité nutritionnelle se définit aussi par son index glycémique, c'est-à-dire sa capacité à plus ou moins augmenter la glycémie postprandiale (**Fardet et al., 2006**). Pour améliorer l'index glycémique du pain, il faudrait donc adoucir au maximum les procédés de pétrissage et panifier plutôt au levain (**Rémésy et al., 2014**).

L'amidon intervient de différentes manières au cours de la fabrication du pain qui est une source inépuisable de sucres fermentescibles assurant la multiplication et la croissance des levures, les interactions qui se développent entre l'amidon et les protéines du gluten peuvent modifier les propriétés des pâtes et aussi les interactions qui se forment entre l'amidon et les protéines des farines de qualité supérieure seraient un facteur favorable à un volume de pain élevé (**Feillet, 2000**).

## Chapitre I. Matériel et méthodes

L'intégralité de notre étude a été réalisée au niveau du département de Microbiologie Appliquée et Sciences Alimentaires à la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie à l'Université de Jijel, durant la période Mai- Juin de l'année 2018.

### I.1. Matériel

#### I.1.1. Matériel biologique

Trois échantillons de blé fermenté par la méthode traditionnelle (1Kg chacun) provenant de deux régions différents : Jijel (BJ2) et Milla (BM3 et BM7) ont fait l'objet de notre études. Les échantillons ont été fournis à partir d'un moulin traditionnel (Willaya de Milla) durant l'année 2014 pour les deux échantillons BJ2 BM3 et 2018 pour BM7, ils ont conservés a des endroits à l'abri de la lumière et de la chaleur jusqu'à leur utilisation.

La mouture de ces trois échantillons de blé fermenté a été réalisé manuellement par un moulin traditionnel, elle a pour but d'obtenir la farine de blé fermenté qui sera utilisée par la suite pour la panification à différents taux d'incorporation (0%, 10%, 20% et 30%).

#### I.1.2. Milieux de culture

Les milieux de culture utilisés au cours de cette étude expérimentale, sont les suivants :

- Gélose PCA (Plate Count Agar) pour le dénombrement de la FTAM.
- Gélose Sabouraud pour le dénombrement des levures et moisissures.
- Gélose MRS (Man-Rogosa-Sharpe) pour le dénombrement des bactéries lactiques.
- Gélose VRBG (Gélose Glucose Biliée au Cristal Violet et au Rouge Neutre) pour le dénombrement des entérobactéries.

#### I.1.3. Produits chimiques et réactifs

Lors de la réalisation de cette étude les produits et réactifs suivants ont été utilisés:

- Acides** : Acide gallique, Acide chlorhydrique (1N)
- Alcools et bases** : Méthanol, Ethanol, Hydroxyde de sodium (NaOH)
- Sels et autres**: Iodure de potassium, Chlorure d'aluminium, Quercetine, DPPH, Bicarbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )
- Colorants et autres** : Folin-Ciocalteu, Phénolphtaléine

#### I.1.4. Appareillage

L'appareillage utilisé lors de ce travail est le suivant :

- Agitateur électrique menu d'un barreau magnétique; Agitateur vortex.
- Autoclave, Plaque chauffante, Four à moufle.
- Bain Marie (Memmert).
- Balance (KERN), Balance analytique (KERN).
- Moulin traditionnel.
- Centrifugeuse électrique (Hettich).
- Conductimétrie (HANNA).
- Etuves (Memmert).
- Micropipettes (Microlit).
- PH-mètre (HANNA).
- Réfrigérateur.
- Spectrophotomètre.
- Lampe à UV.
- Fours à vapeur (boulangerie Bouzakria).

## I.2. Méthodes

Les trois échantillons de blé fermenté ont fait l'objet :

- D'une analyse physico-chimique de blé fermenté (matière première).
- D'un essai de la mouture et analyse de quelques paramètres physico-chimiques des farines obtenues.
- Enfin, des analyses sensorielles, microbiologiques et physico-chimiques et nutritionnelles du pain.

### I.2.1. Evaluation de la qualité physicochimique de blé fermenté

#### I.2.1.1. Poids de mille grains

Le poids de mille grains (PMG) est la masse mesurée en grammes de 1 000 grains choisis au hasard dans un lot. Cette mesure agronomique est un indice de la qualité de la formation des grains. Il constitue une des composantes du rendement de la culture tout en permettant de déterminer si les grains ont été conservés dans de bonnes conditions (**St-Pierre, 2014**).

Selon **Godon et Loisel (1997)** il s'agit de peser 30 g de blé sale, puis éliminer les impuretés, ensuite peser exactement le poids des grains entiers et compter le nombre N de ces grains. Le poids de mille grains est déterminé par la formule suivante :



$$\text{Poids de 1000 grains (g)} = [10 \times P (100-H)] / N$$

Où :

P : le poids des grains entiers

N : nombre des grains comptés

H : taux de l'humidité de l'échantillon en pourcentage (%)

#### **I.2.1.2. Masse à l'hectolitre**

La masse l'hectolitre, appelée aussi poids à l'hectolitre ou poids spécifique (SP), est la masse d'un hectolitre de grains exprimée en kilogrammes (**Godon et Loisel, 1997**).

Le poids à l'hectolitre (Phl) est déterminé par la mesure de la masse de grains de blé fermenté dans un volume d'un litre par écoulement libre d'un échantillon au moyen d'une trémie dans un récipient (**Zairi et al., 2016**).

La méthode décrit par **Godon et Loisel, (1997)** avec une modification légère le volume de l'hectolitre est égale 100 litres, donc pour déterminer la masse de 1 hectolitre, la masse de 100 litres de blé fermenté est déposée dans une éprouvette 10ml, puis on fait la pesé en gramme, la masse à l'hectolitre déterminée en kg/hl.

#### **I.2.1.3. Taux d'impuretés**

La recherche des impuretés est l'opération qui a pour but de séparer, de classer et de peser les différentes impuretés contenues dans un échantillon (**Godon et Loisel, 1997**).

30 g de chaque échantillon de blé fermenté ont été pesés, les impuretés ont été ensuite éliminées puis pesées (**Mauze et al., 1972**). Le taux d'impuretés est déterminé par la formule suivante :

$$M(\%) = (m_1 / m) \times 100$$

Où :

**m** : masse en gramme de l'échantillon pour essai.

**m<sub>1</sub>** : masse en gramme des impuretés de grains

#### **I.2.1.4. Détermination du pourcentage des grains brisés**

Les atteintes mécaniques du grain durant le stockage sont favorables aux développements des champignons et à l'attaque des insectes. Les grains endommagés deviennent un terrain favorable à l'infestation et à la pénétration de l'inoculum d'*Aspergillus* et de *Penicillium* à l'intérieur de la graine, d'où l'importance de l'élimination des grains brisés. Il s'agit donc de comptabiliser les

grains cassés par rapport à une prise d'essai de 100 graines représentatives de chaque lot de blé à analyser (**Gacem et al., 2011**). Le taux des grains brisés est déterminé comme suit :

$$\text{GB}(\%) = (\text{GB}/100)$$

Où : GB est le nombre des grains brisés

#### **I.2.1.5. Mesure du pH**

Pour l'estimation de l'acidité ou l'alcalinité des échantillons, une solution est préparée à base de 45 ml d'eau distillée additionnée à 5 g d'échantillon. Après une heure de repos avec une agitation mécanique et continue pendant 05 minutes pour homogénéiser le mélange, on étalonne l'appareil avec des solutions tampons (pH de 7 et 4), la mesure du pH est réalisée à l'aide du pH-mètre (**Gacem et al., 2011**), on plonge les électrodes du pH-mètre dans le bécher puis on fait la lecture lorsque l'afficheur est stable (**Doukani et al., 2013**).

#### **I.2.1.6. Mesure de l'acidité grasse**

Pour déterminer l'acidité grasse, 5g de blé broyé ont été ajoutés à 30 ml d'éthanol à 95%, le mélange est centrifugé pendant 5min à 6000 trs/min. Après centrifugation, 20 ml de surnageant ont été titrés en présence de 5 gouttes de phénol phtaléine avec une solution de l'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0.05 N jusqu'au virage de la couleur au rose. En parallèle, un essai à blanc a été réalisé dans les mêmes conditions (**JORAN, 2013**). L'acidité grasse a été déterminée selon la formule suivante :

$$\text{AG} = 7.35 \times (\text{V1} - \text{V0}) / \text{m} \times 100 / 100 - \text{H}$$

**Où :**

V1 : volume de Na OH pour la titration de l'échantillon

V0 : volume de Na OH pour la titration de blanc

M : la masse en g de la prise d'essai

H : teneur en eau

#### **I.2.1.7. Détermination de l'humidité et la matière sèche**

C'est une méthode d'étuvage qui consiste à effectuer un séchage d'une prise d'essai de chaque échantillon à une température de  $105 \pm 2$  °C jusqu'à l'obtention d'un poids constant et par la suite on calcule l'humidité de l'échantillon (**Gacem et al., 2011**).

La teneur en eau est exprimée en pourcentage en masse du produit telle qu'elle est donnée par la formule ci-après : (**JORAN, 2013**)

$$H \% = [(m_1 - m_2) / (m_1 - m_0)] \times 100$$

Où :

$m_0$  est la masse, en grammes, de la capsule et de son couvercle

$m_1$  est la masse, en grammes, de la capsule, du couvercle et de la prise d'essai avant séchage

$m_2$  est la masse, en grammes, de la capsule, du couvercle et de la prise d'essai après séchage

La matière sèche représente toute la composition de l'échantillon sauf l'eau, donc elle est déterminée comme suit :

$$MS (\%) = 100 - (H\%).$$

Où : H % est la teneur en eau

## I.2.2. Essai de Mouture et analyses physicochimiques des farines

### I.2.2.1. Détermination de la granulométrie des farines et taux d'extraction des tamis

Selon la méthode décrite par **Lindon (1991)** la granulométrie est l'expression de l'état granulaire d'une poudre. Cette technique utilisée est basée sur le principe de séparation mécanique (tamisage). Le tamisage est l'une des plus anciennes méthodes d'analyse granulométrique, et aussi l'une des plus largement utilisées. L'opération consiste à placer un échantillon de 50 à 200g de farine au sommet d'un empilement de 3 tamis, dont la dimension des mailles décroissant (1000  $\mu$ , 500  $\mu$ , 250 $\mu$ ) et auquel on applique un mouvement vibratoire. Une fois le tamisage terminé, desserrer le couvercle et peser l'extraction ( $m_1$ ) de chaque tamis (**Doukani, 2015**). Les résultats obtenus pour la granulométrie sont calculés selon la formule suivante :

$$\text{Granulométrie} = (m_1 / m_0) \times 100$$

$m_1$  : Masse retenue des tamis après tamisage en (g)

$m_0$  : Masse de la prise d'essai en (g)

### I.2.2.2. Détermination de la densité sèche

Pour déterminer la densité sèche ou masse volumique de la farine nous avons pesé un volume déterminé (2g) de la farine de matériau sec (séchage à 105°C). La densité sèche est exprimée en kg/L (**Levacher, 2000**).

### I.2.2.3. Mesure de l'indice de couleur

Le protocole utilisé est celui d'**Abbassi et al., (2007)**. En bref, nous avons préparé un mélange de 20 ml d'eau distillée avec 20 ml d'éthanol à 95%. Ensuite, nous avons ajouté 10 ml de la solution à 1 g de l'échantillon, puis le mélange a été mis à ébullition, après refroidissement il a

été filtré. Finalement nous avons lu les absorbances à une longueur d'onde de 420 nm contre un blanc constitué de l'eau distillée et de l'éthanol.

#### **I.2.2.4. Détermination de la conductimétrie**

Les mesures de conductibilité sont effectués avec une précision de 0,01% (**Justice et al., 1971**). La conductivité a été mesurée à l'aide d'un conductimètre numérique. Les mesures de conductivité ont été effectuées à 20°C (**Singh et al., 1998**). Une solution de 5 g de blé broyée et 20 ml d'eau distillé a été préparée puis, la conductimétrie a été mesurée à l'aide d'un conductimètre.

#### **I.2.2.5. Mesure de la teneur en eau, matière sèche et PH.**

Ces paramètres ont été déterminés selon les méthodes déjà décrites en partie (**II.2.1**).

#### **I.2.3. Essai de panification**

Un essai de panification permet d'apprécier l'aptitude d'une farine à se transformer en pain de bonne qualité (**Autran, 2000**). Les pains ont été traités dans une boulangerie commerciale, dans les conditions de production qui y sont habituellement utilisées. Les formulations des pains ont été développées par une modification de la formulation traditionnelle. La formulation traditionnelle était basée sur la recette utilisée sur la boulangerie (**Gomes et al., 2016**).

Les pains ont été préparés en mélangeant de la farine de blé tendre (farine panifiable) avec de la farine de blé dur fermenté (**BM3, BM7, BJ2**) en utilisant des méthodes traditionnelles, tandis que 100% de farine de blé non fermenté a été utilisée comme témoin (**Ameh et al., 2013**). Dont 90:10 = 90% de farine de blé tendre et 10% farine de blé dur fermenté, 80:20 = 80% de farine de blé tendre et 20% farine de blé dur fermenté, 70:30 = 70% de farine de blé tendre et 30% farine de blé dur fermenté (**Oloyede et al., 2013**).

La recette de pain consistait en un mélange de 100 g de mélange de la farine, 1,7 g de sel, 5 g de levure fraîche, une petite quantité de l'améliorant et d'eau tiède (43 °C). Les ingrédients ont été soigneusement mélangés et ajouté à la farine, ensuite ils ont été dissous dans une partie de l'eau et ajoutés à la farine (**Amandikwa et al., 2015**). Après le pétrissage, la pâte a été roulée dans un cylindre pour améliorer le développement du gluten, manuellement divisé en pâton de 50g, arrondi à la main et laissé reposer pendant 15 minutes. Ensuite, les pains ont été moulés mécaniquement, placés dans un moule de cuisson et soumis à une chambre de fermentation dont l'humidité et la température ont été réglées respectivement à 75% à 35 °C pendant 40 minutes. Ensuite, les pains ont été cuits dans un four à plaque muni d'un système d'injection de vapeur à 210 °C pendant 15 minutes (**Gomes et al., 2016**).

Les propriétés de rétention de gaz lors de la fermentation, la hauteur de la pâte ont été mesurées. Ces propriétés ont été évaluées en mesurant à intervalle de temps 0 à 60 minutes la levée de la pâte. Une fois cuits, les pains ont été laissés refroidir pendant une heure (Ameh *et al.*, 2013).

### I.2.3.1. Evaluation de la qualité sensorielle de pain

Les échantillons de pain ont été soumis à une évaluation sensorielle environ 1 h après la cuisson par un panel de 07 membres qui sont bien familiarisés avec le pain.

Avant l'analyse, les échantillons ont été découpés en morceaux de taille égale (Dhen *et al.*, 2018). Les pains ont été évalués sur la base de l'acceptation de leur apparence (aspect visuel), de la couleur de la croûte, de l'odeur, du goût, de la texture et de l'acceptabilité globale sur une échelle de neuf points. Les pains étaient jugés acceptables si leurs scores moyens pour l'acceptation globale étaient supérieurs à 5 (ni j'aime ni j'aime pas) (Dhen *et al.*, 2018). Les échantillons de pain ont été servis à chaque panéliste sur un plateau d'une manière aléatoire. En ce qui concerne le goût, on a conseillé aux panélistes de se rincer la bouche après avoir goûté chaque échantillon et de l'eau a été fournie dans des gobelets en plastique à chaque panéliste à cette fin (Oloyede *et al.*, 2013).

### I.2.3.2. Evaluation de la qualité microbiologique de pain

#### A. Préparation de la solution mère et des dilutions

Selon la méthode décrite par Doukani (2015) la suspension mère est préparée en mélangeant 10 g de chaque type du pain dans un 90 ml d'eau physiologique accompagnées d'agitation, laissé en contact et repos pendant 30 min. Les dilutions décimales sont préparées à partir de six tubes à essai contenant chacun 9ml d'eau physiologique. Ensuite, on ajoute 1ml de suspension mère dans le premier tube ( $10^{-1}$ ), on prélève 1ml de la première dilution et on l'ajoute au second tube ( $10^{-2}$ ) ainsi de suite.

#### B. Recherche des levures et moisissures

Levures et moisissures constituent une bonne flore indicatrice de la qualité générale essentiellement pour des produits d'origine végétale (Guiraud et Rosec, 2004). Onensemencer 0.1ml de la dilution  $10^{-5}$  de l'échantillon préparé par étalement en surface des boîtes de la gélose Sabouroud qui sont déjà coulé, on incube les boîtes à température  $25^{\circ}\text{C}$  pendant 3 à 5 jours (Delarras, 2014). Après incubation, nous avons dénombré toutes les colonies blanches sphériques et filamenteuses (Guiraud, 2003).

#### C. Dénombrement de la flore totale mésophile

Cette flore indique le degré de contamination bactérienne globale et est utilisée comme méthode de contrôle de la qualité hygiénique (Dennaï *et al.*, 2001).

La charge microbienne obtenue a été prise en comptant uniquement sur un intervalle compris entre 30 à 300 colonies au maximum (**Godon et Loisel, 1997**). Les colonies peuvent se développer en surface et en profondeur. Ce type de numération convient parfaitement aux germes aéro-anaérobies : la faible épaisseur du milieu assure une aérobiose acceptable pour la plupart des germes aérobies, mais certains peuvent être gênés ; ces conditions ne conviennent pas pour les germes anaérobies stricts (si l'incubation a lieu à l'air) (**Guiraud et Rosec, 2004**).

On fait l'ensemencement de 1ml de la dilution  $10^{-6}$  en fond de boîte de Pétri ensuite on coule le milieu PCA et on mélange doucement la préparation et on laisse solidifier. Les boîtes ont été incubées à 37°C pendant 24h (**Branger et al., 2007**).

#### **D. Dénombrement de la flore lactique**

L'isolement des bactéries lactiques a été effectué sur du milieu MRS. Nous avons ensemencé 0.1ml de la dilution  $10^{-3}$  de l'échantillon préparé par étalement en surface les boîtes de la gélose MRS qui sont déjà coulé (**Delarras, 2014**). Les boîtes ont été ensuite incubées à température 37°C pendant 3 à 5 jours (**Doukani, 2015**). Les colonies de petites tailles, de couleur blanchâtre et brillantes, à pourtour régulier, de forme circulaire ou lenticulaire ont été dénombrées (**Larpen, 1977**).

#### **E. Dénombrement des entérobactéries**

La numération des entérobactéries « totale » est intéressante au niveau industriel comme test de qualité hygiénique globale : les entérobactéries peuvent être considérées comme germes indicateurs de mauvaises conditions de manipulation et de fabrication (**Guiraud et Rosec, 2004**). Le dénombrement des entérobactéries se fait dans le milieu VRBG à 37°C pendant 24h (**Branger et al., 2009**).

L'ensemencement est effectué en profondeur en déposant au fond de chaque boîte de pétri 1ml de la dilution  $10^{-6}$ , les cultures sont ensuite incubées à 37°C pendant 24 à 48 heures (**Siboukeur et Mati, 2007**). Les entérobactéries donnent des colonies pigmentées, lisses ou rugueuses de 1 à 3 mm de diamètre (**Guiraud, 2003**).

### **I.2.4. Evaluation de la qualité physicochimique et nutritionnelle de pain**

#### **I.2.4.1. Détermination de l'humidité, pH et acidité grasse**

Ces paramètres ont été déterminés selon les méthodes déjà décrite en partie (**II.2.1**).

#### **I.2.4.2. Détermination de la teneur en cendres**

La teneur en matière minérale existante dans les différents types du pain est déterminée par incinération d'une prise d'essai de 5 g à 550 °C. L'incinération est réalisée dans un four à moufle. La minéralisation est poursuivie pendant 5 heures jusqu'à combustion totale de la matière organique

et apparition d'un résidu blanchâtre ou légèrement rosés (Doukani et al., 2013). Lorsque les cendres sont blanches, l'incinération est terminée. Le taux de cendres est calculé selon la formule suivante (Doukani, 2015) :

$$MM = \left[ \frac{(m_2 - m_1)}{m_0} \times 100 \right] / (100 - H) \times 100$$

Où:

$M_0$  : Masse de la prise d'essai en (g)

$m_1$  : Masse de la coupelle vide en (g)

$m_2$  : Masse de l'échantillon après incinération en (g)

H : Taux d'humidité de l'échantillon en (%)

La matière organique est calculée comme suit:

$$MO(\%) : 100 - MM(\%)$$

Où: (MO) représente le taux en matière organique

#### I.2.4.3. Dosage des minéraux

Selon la méthode décrite par AFNOR NFV 05-113 (1972), des cendres claires de pain broyé ont été humectées par 2 ml d'eau distillée et 1 ml d'acide chlorhydrique (HCl) concentré lentement ajouté, ce mélange a subi un chauffage sur plaque chauffante, jusqu'à l'apparition des premières vapeurs, ensuite quelques ml d'eau distillée ont été additionnés avant la filtration dans une fiole jaugée de 100 ml, un rinçage par l'eau tiède a été répété 4 fois. Le papier filtre a été incinéré à 550 °C pendant une demi-heure puis, il a été rincé par 5 ml d'eau distillée et chauffé sur plaque chauffante sans dépasser 100°C. Le contenu a été repris par 1 ml d'HCl concentré puis lavé à l'eau tiède. Enfin la solution a été filtrée et le volume a été complété par l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Cette solution sert à doser les éléments : Cu, Zn par spectrophotométrie d'absorption atomique.

#### I.2.4.4. Dosage de l'amidon, l'amylose et l'amylopectine

Selon la méthode décrite par Lecoq (1965), 0.1 g du pain ont été mélangé avec 5 ml de KOH (1N). Après homogénéisation, la solution est neutralisée avec 5 ml (1N) HCl. Un blanc est préparé en parallèle dans les mêmes conditions. Ensuite, le mélange est mis en ébullition au bain-marie pendant 15 min. le volume est réajusté à 10 ml. Après centrifugation, 0.05 ml de surnageant ont été mélangés avec 4.85 ml d'H<sub>2</sub>O et 0.1ml de réactif I<sub>2</sub>KI puis incubés pendant 10 minutes. Dans cette manipulation on considérera que l'absorbance à 580 nm est l'amylose et l'amylopectine, par contre l'absorbance à 720 nm est liée essentiellement à l'amidon. On peut utiliser cette différence spectrale

pour doser simultanément l'amidon total, l'amylose et l'amylopectine. La courbe d'étalonnage a été réalisée en utilisant l'amidon.

#### **I.2.4.5. Extraction et dosage des composés anti-oxydants**

##### **A. Préparation de l'extrait aqueuse du pain**

La préparation de l'extrait aqueux se fait par la méthode de **Talbi et al., (2015)**. On ajoute 1g de pain au 20ml d'eau distillée, après repos à 10 minutes à la température ambiante, on filtre et on obtient par la suite l'extrait aqueux des différents échantillons du pain.

##### **B. Dosage des polyphénols totaux**

Le taux des composés phénoliques totaux de l'extrait a été estimé selon la procédure d'**Othman et al., (2007)** avec modification légère. La méthode de Folin-Ciocalteu est considérée comme étant la meilleure méthode pour la quantification des polyphénols totaux. En effet, elle repose sur la capacité d'un phénol à réduire le réactif Folin-Ciocalteu de couleur jaune constitué de l'acide phosphotungstique et l'acide phosphomolibdique en milieu alcalin, en un mélange de tungstène et de molybdène de couleur bleue, dont l'absorbance maximale est comprise entre 700-760 nm. Pour ce faire, 0.2 ml de l'extrait ont été additionnés de 1.5 ml de réactif Folin-Ciocalteu dilué à 1/10, le mélange a été ensuite incubé pendant 5 min, à température ambiante et à l'obscurité. 1.5 ml de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  à 7.5 %, ont été ajoutés au mélange précédent, puis ré-incubés pendant 90 min à température ambiante et à l'obscurité. La concentration en composés phénoliques de l'extrait a été déterminée en mesurant l'absorption optique à 750 nm, en se référant à la courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique. Les résultats ont été exprimés, en milligrammes équivalent acide gallique par gramme d'extrait brut (mg EAG/g EB).

##### **C. Dosage des flavonoïdes**

La teneur en flavonoïdes totaux a été estimée, selon la méthode de **Djeridane et al., (2006)**. Le principe de dosage des flavonoïdes totaux repose sur la propriété de ces composés à chélater les ions aluminium. La couleur jaune obtenue est le résultat de formation du complexe flavonoïdes-Aluminium. En bref, 1.5 ml de l'extrait ont été additionnés de 1.5 ml de chlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ) à 2 %, puis incubés pendant 30 min à température ambiante et à l'obscurité. La concentration en flavonoïdes de l'extrait a été déterminée en mesurant l'absorption optique à 430 nm et en se référant à une courbe d'étalonnage établie avec la quercétine comme standard. La teneur moyenne en flavonoïdes a été exprimée en milligrammes équivalent quercétine par gramme d'extrait brut (mg EQ/g EB).



#### D. Activité anti-radicalaire du radical DPPH°

Le protocole utilisé dans cette méthode est celui de **Mansouri et al., (2005)**. Il consiste à mélanger 100 µl de l'extrait avec 1300 µl DPPH (0.004% préparé dans le méthanol). Le mélange a été incubé 30 minutes à l'obscurité et à température ambiante. La lecture par spectrophotomètre à 517nm a été réalisée contre un blanc préparé à partir de 100 µl du méthanol et 1300 µl DPPH dans les mêmes conditions.

$$\% \text{ d'activité anti-radicalaire} = [(\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon}) / \text{Abs contrôle}] \times 100$$

#### I.2.4. Analyse statistique

Les analyses ont été effectuées au moins en trois exemplaires avec Excel de Microsoft Office 2010, et exprimées en moyenne  $\pm$  écart-type. L'analyse statistique a été effectuée en utilisant l'analyse de variance à un facteur (ANOVA) à l'aide du logiciel Origin version 6.0, pour évaluer les différences entre les moyennes. Les différences ont été considérés comme significatifs à  $p < 0,05$ .

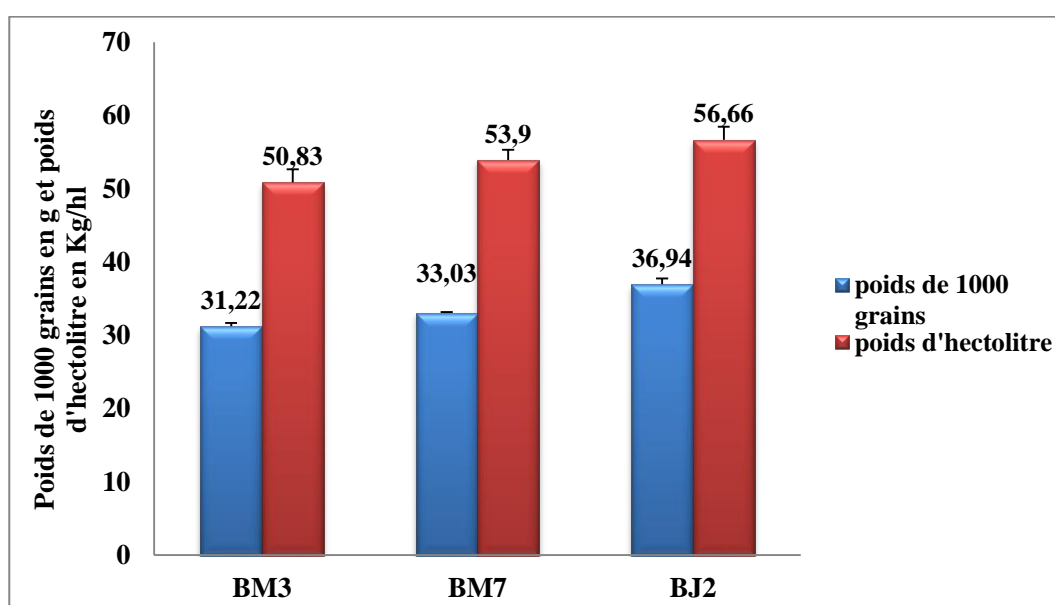
## Chapitre II. Résultats et discussion

### II.1. Evaluation de la qualité physicochimique du blé fermenté

#### II.1.1. Poids de mille grains et masse à l'hectolitre

Le poids de 1000 grains est un indicateur du rendement technologique dans l'industrie de première transformation. La masse du grain est une caractéristique variétale en relation directe avec la taille des grains (Ladraa, 2012).

Les résultats concernant le poids de mille grains et la masse à l'hectolitre des trois échantillons codés BM3, BM7 et BJ2 sont illustrés dans la figure 04.



**Figure 04.** Poids de 1000 grains et Masse d'hectolitre dans les échantillons du blé fermenté

Nous avons noté une différence très significative dans le poids de 1000 grains des trois échantillons ( $p=0.003$ ,  $P<0.05$ ):  $31.22\pm 0.45g$ ,  $33.03\pm 3.16g$  et  $36.94g\pm 0.79$  pour BM3, BM7 et BJ2 respectivement. L'échantillon BJ2 présente le poids le plus élevé et cela comparativement avec les autres échantillons BM3 et BM7. Cet échantillon est en accord à la norme proposée par Chasseray et ITCF

S'agissant de la masse d'hectolitre ( $p=0.01$ ,  $P<0,05$ ), l'échantillon BM3 présente une valeur de  $50.83\pm 1.9kg/hl$ , les deux autres échantillons (BM7 et BJ2) présentent les valeurs suivantes :  $53.9\pm 1.41kg/hl$  et  $56.66\pm 1.79kg/hl$  respectivement. D'après ces valeurs on constate aussi que l'échantillon BJ2 représente la valeur la plus élevée.

La mesure du poids de 1000 grains et la masse à l'hectolitre se fait par simple pesée, parfois elles sont utilisées pour prédire le comportement du blé au cours de la mouture. Le poids à l'hectolitre

souvent appelé poids spécifiques et est mesuré en kilogramme. Plus le poids spécifique est important, plus le rendement en farine est élevé (Feillet, 2000).

Il a été démontré que les types et la dose d'engrais et de fertilisants affectaient significativement la masse à l'hectolitre et le poids de 1000 grains de blé, et donc le rendement et la qualité globaux de la farine. Généralement, le poids le plus élevé indique un grain sain et des corrélations plus élevées sont trouvées entre le poids en hectolitre et le rendement en farine (Eljak et al., 2016).

D'après ces données, on peut conclure que l'échantillon BJ2 aura un rendement plus élevé en farine que les deux autres échantillons.

### II.1.2. Taux d'impuretés

Les impuretés sont l'ensemble des éléments considérés conventionnellement comme indésirables dans l'échantillon (Bousslah et al., 2016).

Un lot de blé n'est jamais pur. Il peut être contaminé par des matières inertes (pierres, sable, terre, objets métalliques...), des débris d'animaux et de végétaux, des graines étrangères (graines nuisibles...), des grains de blés altérés ou mal venus (cassés, brûlés...) (Feillet, 2000).

Le taux d'impuretés des trois échantillons BM3, BM7 et BJ2 diffèrent significativement ( $p=0.04$ ,  $P<0,05$ ), ils sont respectivement les suivants :  $1.35\pm 0.57\%$ ,  $6.93\pm 0.94\%$ , et enfin  $1.29\pm 0.25\%$  (figure 05). On note que l'échantillon BM7 est le plus contaminé.

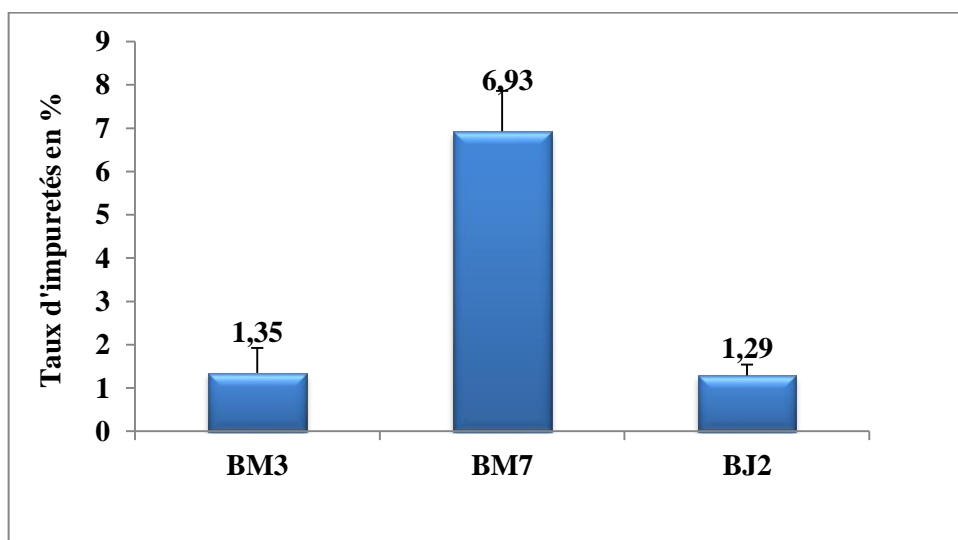


Figure 05. Taux d'impuretés dans les échantillons du blé fermenté

### II.1.3. Détermination du pourcentage des grains brisés

A partir de 100 grains prélevés au hasard, des trois échantillons, on constate que l'état physique a été effectué pour déterminer le nombre des grains brisés ou casés, les moyennes des grains brisés que nous avons trouvé pour les trois échantillons BM3, BM7 et BJ2 sont respectivement les suivantes  $23 \pm 5.5\%$ ,  $30 \pm 9.23\%$  et  $34 \pm 13.05\%$  (figure 06), il n'existe pas une différence significative entre les échantillons ( $p=0.43$ ,  $P>0,05$ ). D'après ces valeurs on constate que l'échantillon BJ2 représente la valeur la plus élevée. En plus, les trois échantillons renferment un pourcentage de grains cassés supérieur au pourcentage fixé par les normes commerciales qui imposent qu'un blé tendre de qualité ne doit pas dépasser un pourcentage de 3% de grains cassés (Gacem et al., 2011).

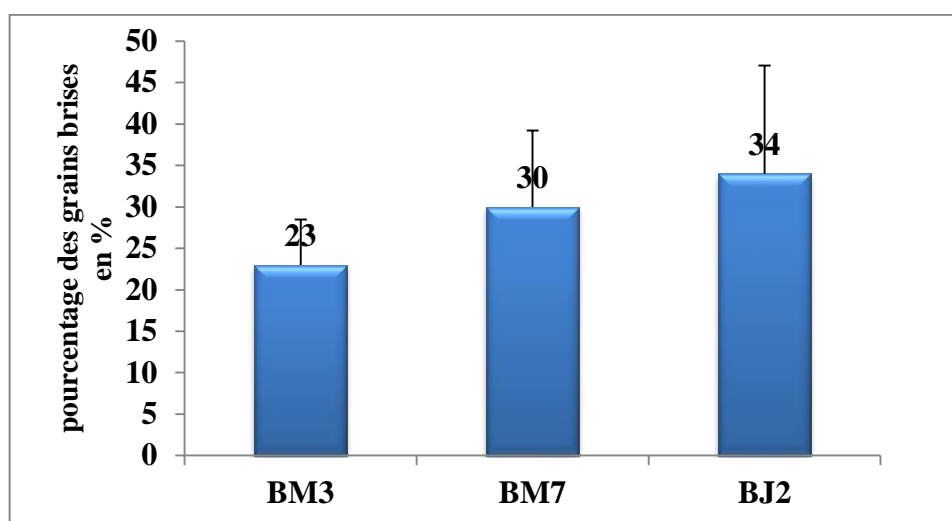


Figure 06. Pourcentage des grains brisés des échantillons du blé fermenté

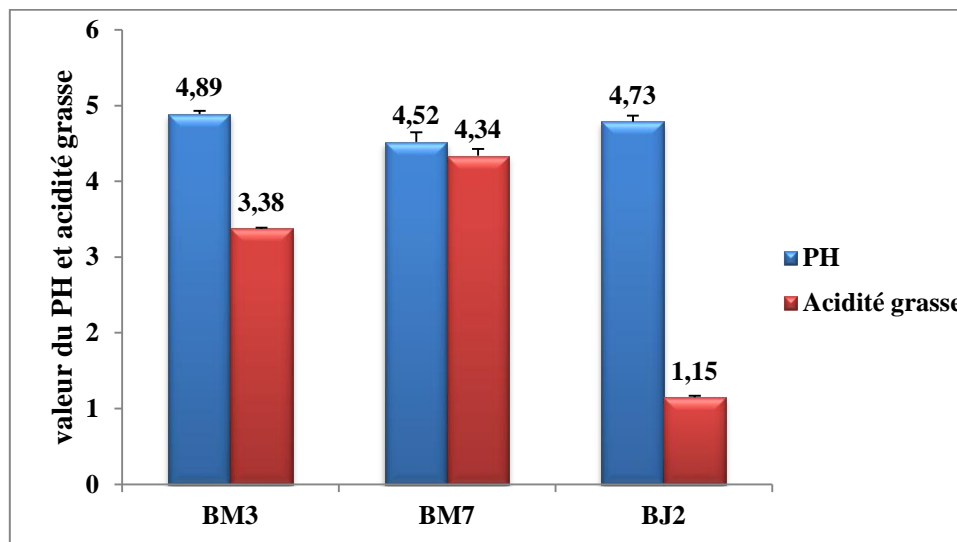
Cette augmentation dans le nombre des grains cassés pouvait être expliquée par plusieurs facteurs pouvant influencer l'état physique du grain de blé, notamment celui du local, tels que les mauvaises conditions de récolte, les caractéristiques de chaque variété, les défaillances mécaniques des appareils et surtout aux chocs infligés aux grains lors du transport mécaniques aux silos. La présence de grains brisés ne peut que favoriser le développement de foyer de contamination et par conséquent, elle ne peut être qu'en défaveur d'un stockage de longue durée (Gacem et al., 2011). En effet, les grains cassés sont la cause la plus importante qui engendre les différents types de dégradations des grains de blé dur en présence d'humidité (Bousslah et al., 2016)

### II.1.4. Mesure du PH et acidité grasse

La détermination du pH nous informe sur l'évolution de l'acidité du milieu, en fonction du métabolisme des microorganismes.

D'après la figure 07, qui illustre les résultats d'analyse du pH et de l'acidité grasse, on remarque que les valeurs du pH varient entre  $4.89 \pm 0.04$  et  $4.52 \pm 0.13$  et  $4.73 \pm 0.08$ , l'échantillon codé BM7

semble être le plus acide, comparativement avec les deux autres échantillons qui sont moins acides. Ces valeurs de pH varient très significativement ( $p=0.001$ ,  $P<0,05$ ). Cette acidité peut être due à la multiplication des microorganismes surtout les levures et moisissure et aussi les bactéries lactiques. Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Doukani et al., (2013)**.



**Figure 07.** Détermination du pH et de l'acidité grasse dans les échantillons du blé fermenté

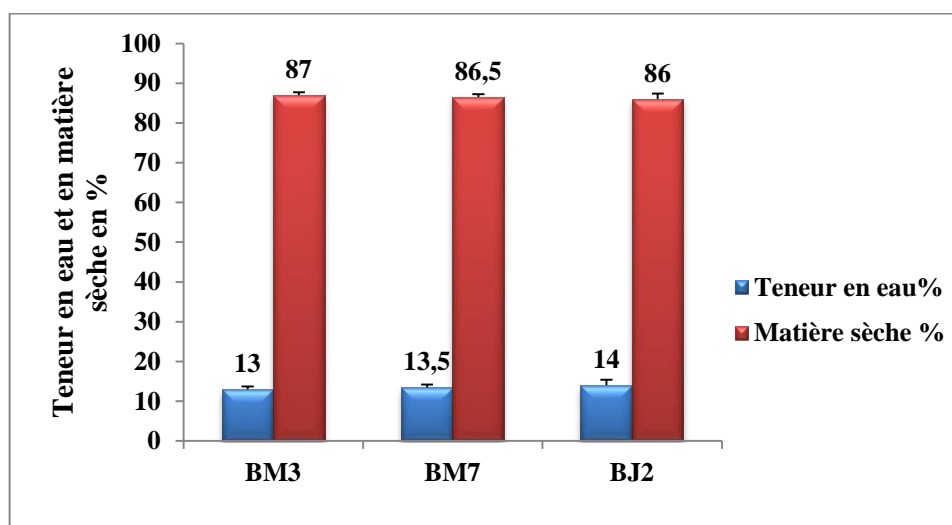
L'acidité grasse est l'expression conventionnelle des acides, essentiellement des acides gras libres (**JORAN, 2013**). Les résultats de l'acidité grasse sont  $3.38\pm 0.01$  pour BM3 et  $4.34\pm 0.09$  pour BM7 et enfin  $1.15\pm 0.02$  pour BJ2 ( $p=0.001$ ,  $P<0,05$ ), dont la valeur la plus élevée a été enregistrée dans l'échantillon BM7 le plus acide, cela concorde bien avec la littérature. D'après **Kohajdova et Karovicova (2007)**, pendant la fermentation, il existe une corrélation négative entre le pH et l'acidité dont le pH diminue avec une augmentation simultanée de l'acidité car les acides organiques, lactiques et d'autres acides s'accumulent en raison de l'activité microbienne. L'activité métabolique des micro-organismes qui sont impliqués dans la fermentation des céréales conduit à la production d'acides gras de courtes chaînes. Les acides formés pendant le processus de fermentation abaissent le pH, empêchant ainsi la croissance des organismes responsables de la détérioration. Le pH de ces aliments est réduit au moins à des valeurs de 4 (**Doukani et al., 2013 et Kohajdova et Karovicova, 2007**).

### II.1.5. Mesure de la teneur en eau et la matière sèche du blé fermenté

La teneur en eau des produits céréaliers présente une très grande importance sur le plan technologique, nutritionnel et économique. On entend conventionnellement par teneur en eau, la perte de masse exprimé en % subit par le produit (**Godon et Loisel, 1997**).

Les valeurs moyennes de la teneur en eau des trois échantillons BM3, BM7 et BJ2 de blé fermenté sont respectivement  $13 \pm 0.72 \%$ ,  $13.5 \pm 0.70 \%$  et  $14 \pm 0.41\%$ , dont l'échantillon BM3 montre la valeur la plus basse. Ces valeurs sont plus élevées que celles trouvées par **Doukani et al., (2013)** (11.89%). En effet, la différence d'humidité d'un échantillon à un autre peut être attribuée aux conditions climatiques, à la région de culture, et aux conditions de stockage. La teneur en eau est un critère essentiel de sa conservation (**Ladraa, 2012**).

S'agissant de l'eau et la matière sèche, il n'existe pas une différence significative entre les trois échantillons ( $p=0.30$ ,  $P>0,05$ ). La valeur la plus élevée a été enregistrée pour l'échantillon BM3 ( $87 \pm 0.72 \%$ ) (**Figure 08**).



**Figure 08.** Teneur en eau et la matière sèche des échantillons du blé fermenté

## II.2. Essai de Mouture et analyses physicochimiques des farines

### II.2.1. Détermination de la granulométrie des farines et taux d'extraction des tamis

L'intérêt de détermination de la granulométrie est de savoir le degré d'homogénéité du produit fini selon la préférence de consommateur (**Doukani, 2015**).

La granulométrie d'une farine permet de caractériser la répartition en taille et en nombre des particules dont elle est composée; le comportement des farines au cours de leur transformation, notamment la vitesse d'hydratation, en dépend (**Feillet, 2000**).

Les résultats concernant ce paramètre pour les trois échantillons codés BM3, BM7 et BJ2 sont illustrés dans la figure 09. D'après cette figure, la farine issue du blé codé BJ2 est la plus fine, car  $68.4 \pm 3.39\%$  de particules ont un diamètre inférieur à  $250 \mu\text{m}$ . De plus après passage au tamis à ouverture de maille de  $500 \mu\text{m}$ , elle enregistre un taux d'extraction de  $81.5 \pm 3.11\%$  contre seulement  $79.1 \pm 0.28\%$  pour BM7 et  $71.25 \pm 0.49\%$  pour BM3 et pour le passage au tamis à ouverture de maille

de 1000 $\mu$ m, les résultats des échantillons BM3, BM7 et BJ2 respectivement sont  $88.7\pm 0.57\%$ ,  $90.7\pm 0.42\%$  et  $93.35\pm 1.1\%$ . La taille des granules des farines peut jouer un rôle dans la qualité du produit fini. Une farine très fine peut contenir plus d'amidon endommagé (Ladraa, 2012). Ces résultats montrent que la granulométrie des trois échantillons ne sont pas significativement différentes ( $p=0.67$ ,  $P>0.05$ ).

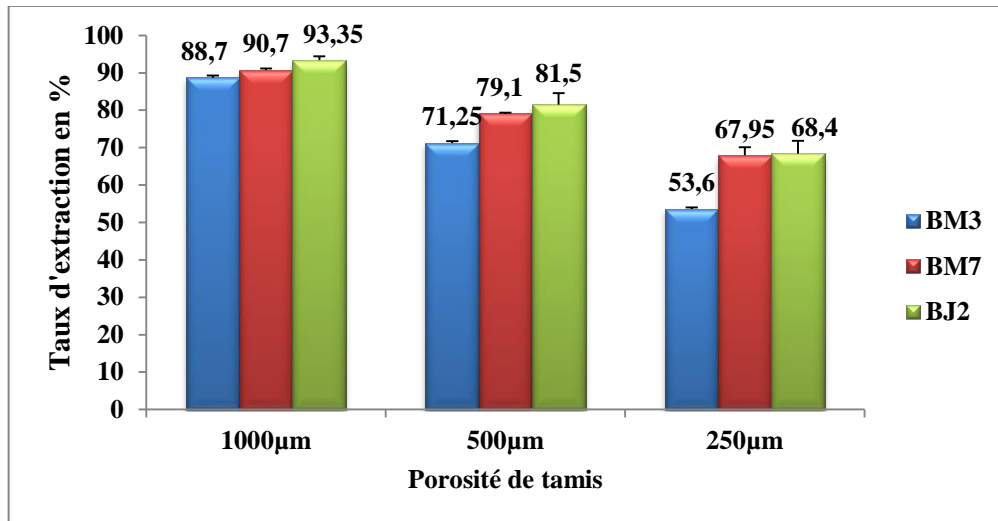


Figure 09. Taux d'extraction des farines

Selon Feillet (2000), en boulangerie, la quantité d'eau absorbée lors de la formation de la pâte, et la vitesse d'absorption d'eau augmente avec la finesse des particules de la farine.

### II.2.2. Détermination de la densité sèche

A partir de la figure ci-dessous, nous avons remarqué que les farines ont des densités variables. D'après le même graphe, la densité de l'échantillon BJ2 est la plus élevée ( $0.558\pm 0.03\text{Kg/l}$ ), suivie par celle de BM7 ( $0.556\pm 0.03\text{kg/l}$ ) et enfin de BM3 avec  $0.38\pm 0.03\text{Kg/l}$ . Ces résultats sont significativement différentes ( $p=0.03$ ,  $P<0.05$ ).

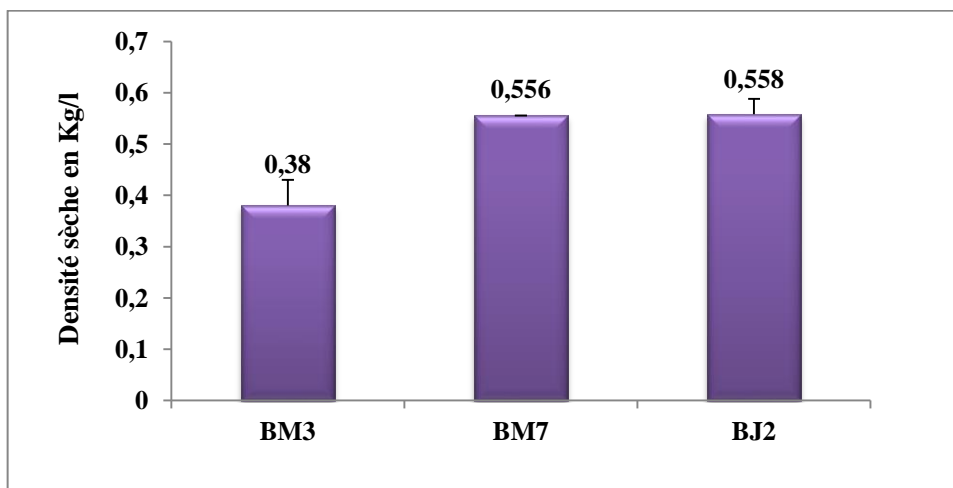
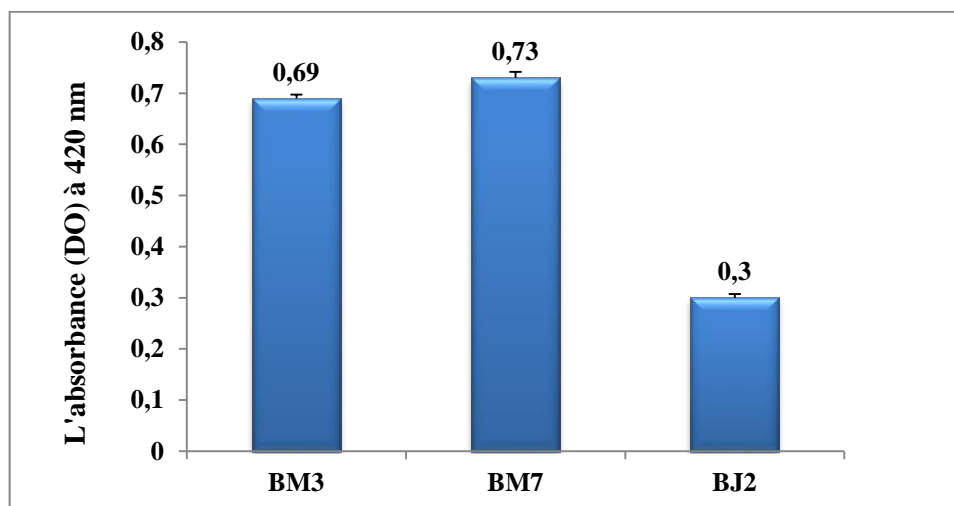


Figure 10. Densité sèche des farines issues des blés fermentés

### II.2.3. Indice de couleur

La couleur de la farine est parmi les indices qui reflètent sa qualité. Les résultats obtenus sont illustrés par la figure 11. Le blé dur est riche en caroténoïdes qui sont des antioxydants ayant des effets bénéfiques sur la santé humaine.



**Figure 11** : Indice de couleur des farines issues des blés fermentés

D'après les résultats obtenus, la farine issue de l'échantillon codé BM7 représente l'indice le plus élevé ( $0.73 \pm 0.01$ ) suivi par BM3 et BJ2 ( $0.69 \pm 0.007$  et  $0.3 \pm 0.007$  respectivement). Les échantillons varient très significativement ( $p=0.02$ ,  $P<0.05$ ). Il a été démontré que l'indice de couleur est en relation avec la taille des granules de la farine. En effet, la taille des granules de farine possède un effet sur la couleur des caroténoïdes du blé dur. La couleur de la farine est déterminée non seulement par la teneur en caroténoïdes mais aussi par la taille des particules de farine : par conséquent, la mesure directe de la couleur ne semble pas appropriée pour prédire la teneur en caroténoïdes de la farine, ces derniers sont rares dans le blé tendre et plus abondant dans le blé dur. La couleur jaune communiquée par les caroténoïdes est devenu un trait de qualité très important pour les pâtes et autres aliments produits (Hidalgo *et al.*, 2014).

### II.2.4. Détermination de la conductimétrie

D'après la figure 12, les résultats de la conductimétrie varient entre  $4.41 \pm 0.7$ ms,  $4.58 \pm 0.01$ ms et  $3.32 \pm 0.05$ ms. La valeur la plus élevée a été enregistrée pour BM7. Il n'existe pas une différence significative entre ces valeurs ( $p=0.09$ ,  $P>0.05$ ).



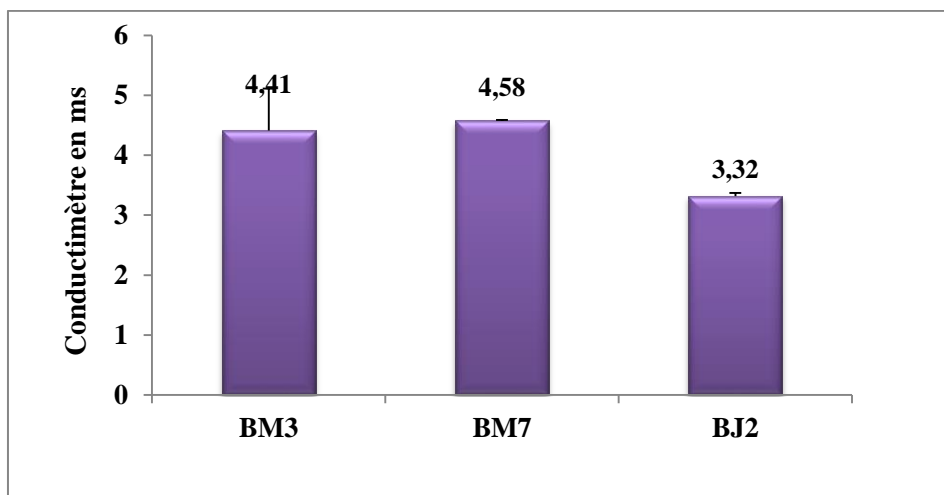


Figure 12. Conductivité des trois échantillons de farine de blé fermenté

### II.2.5. Détermination du pH

Les résultats du pH des trois farines varient très significativement ( $p < 0.001$ ), ils sont illustrés par la figure 13. D'après cette figure la farine la plus acide est celle codée BJ2 ( $3.53 \pm 0.00$ ). Ces valeurs de pH des trois échantillons de farine sont plus basses en comparant avec celles des blés fermentés dont-elles issues, ceci peut être expliqué par l'élimination du son. De plus les résultats obtenus montrent que nos farines sont très acides, et cela en comparant avec les résultats trouvés par **Gomes et al. (2016)**, dans lesquelles, il a été montré qu'une farine de blé normal (non fermenté).

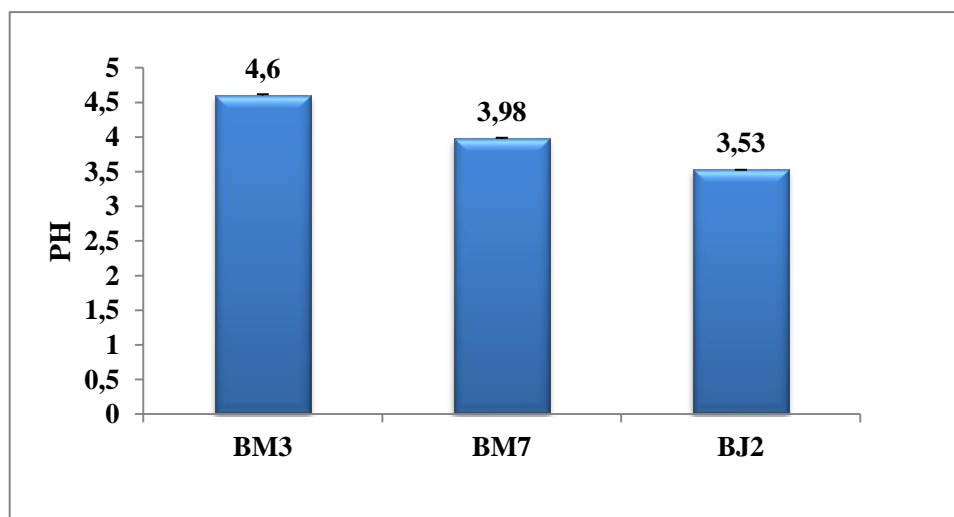


Figure 13. Valeurs du PH des échantillons de farine

### II.2.6. Mesure de la teneur en eau et la matière sèche de la farine

Les résultats de la teneur en eau des échantillons des farines étudiées sont de  $15.25 \pm 0.35\%$ ,  $13.5 \pm 0.7\%$  et  $13.25 \pm 1.06\%$ , alors que pour la matière sèche sont de  $84.75\%$ ,  $86.5\%$  et  $86.75\%$  pour BM3, BM7 et BJ2 respectivement (figure 14). Ces résultats sont proche de ceux obtenus par **Gomes et al.**,

(2016) qui ont enregistré une valeur de 12% pour la farine de blé non fermenté. Nous avons noté une bonne corrélation entre la matière sèche et la teneur en eau : l'échantillon avec la teneur en eau faible, contient un taux plus élevé en matière sèche.

Il faut noter que la farine comme tous les produits dérivés des céréales est hygroscopique. Il est clair que l'activité métabolique et par conséquent les possibilités de croissance des bactéries, levures et moisissures portées par les grains dépend essentiellement de leur possibilité d'échange avec le milieu extérieur et donc de la disponibilité de l'eau, solvant vital par excellence ; donc la teneur en eau détermine la durée de stockage des farines (Bourgeois *et al.*, 1996).

D'après les résultats obtenus, la teneur en eau la plus basse a été enregistrée avec la farine codée BJ2 (13.25 %), donc cette farine est plus conservable que celle codée BM3 et BM7.

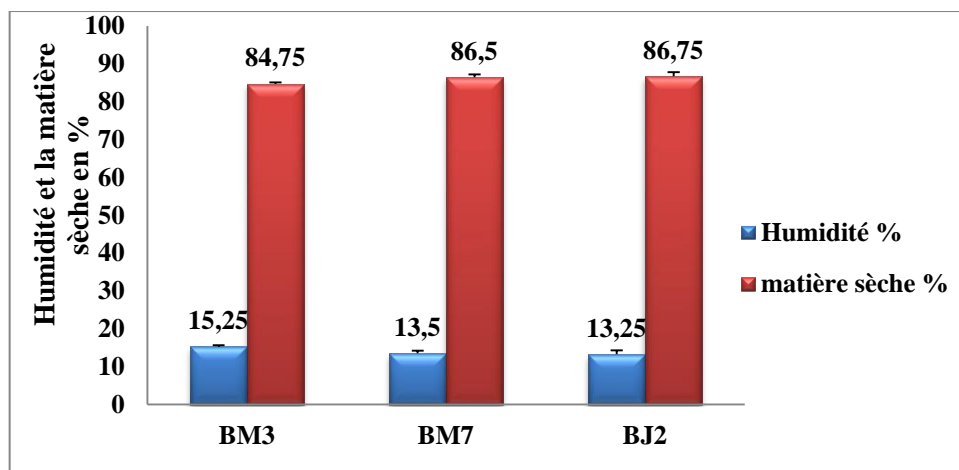


Figure 14. Humidité et la matière sèche des farines

### II.3. Essai de panification

Des essais ont été conduits pour comparer l'intérêt de l'incorporation de la farine de blé fermenté avec la farine de blé tendre. L'expérimentation a été effectuée en utilisant des taux de substitution différents des farines du blé fermenté ; 10 %, 20 % et 30 %. (Nous avons utilisé encore un taux de 0 % qui est considéré comme témoin)(Figure 15).

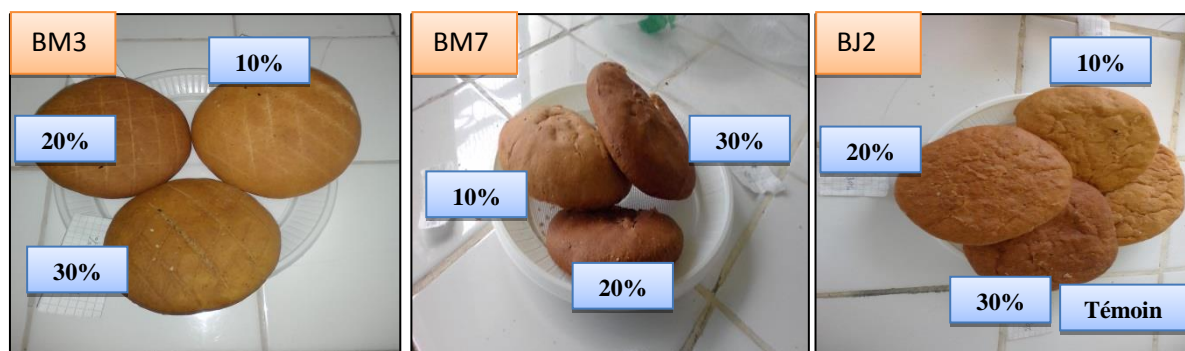
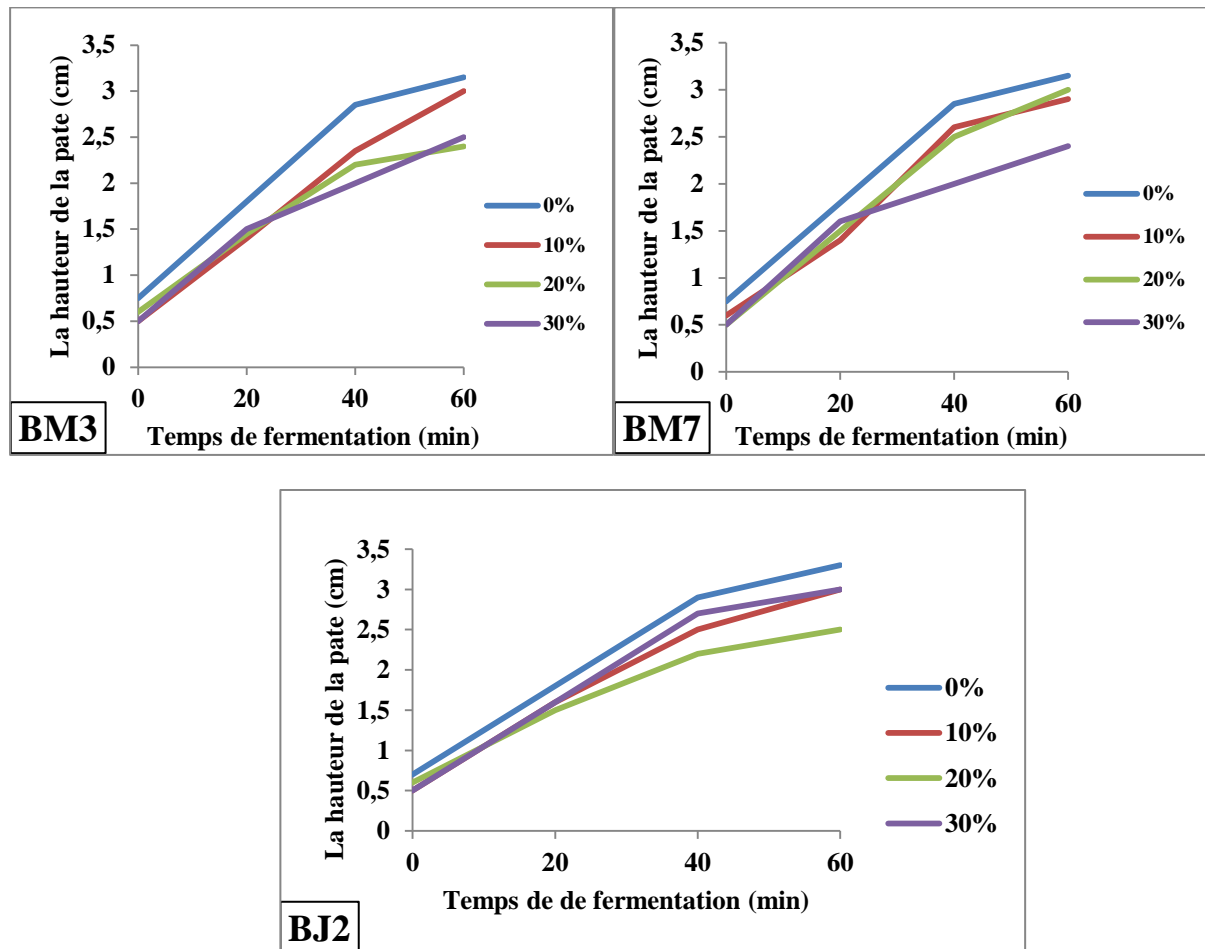


Figure 15. Essai de panification

Pendant le processus de la fermentation, les pains issus des farines de blé fermenté présentent des volumes moyens ces résultats peuvent être expliqués par la composition chimique de la farine. Le pain issu de farines de blé tendre présente un volume plus développé (Figure 16).

D'après **Alais et al., (2008)**, la richesse en sucre préexistants et en amidon endommagé favoriseraient l'activité fermentative, les levures s'adaptent rapidement à leur milieu et commencent la synthèse des enzymes nécessaires à la production de gaz carbonique à partir des sucres préexistants dans la pâte (glucose, saccharose).



**Figure 16.** Influence du taux d'incorporation de blé fermenté sur les hauteurs des pâtes lors de la fermentation des échantillons de pains produits

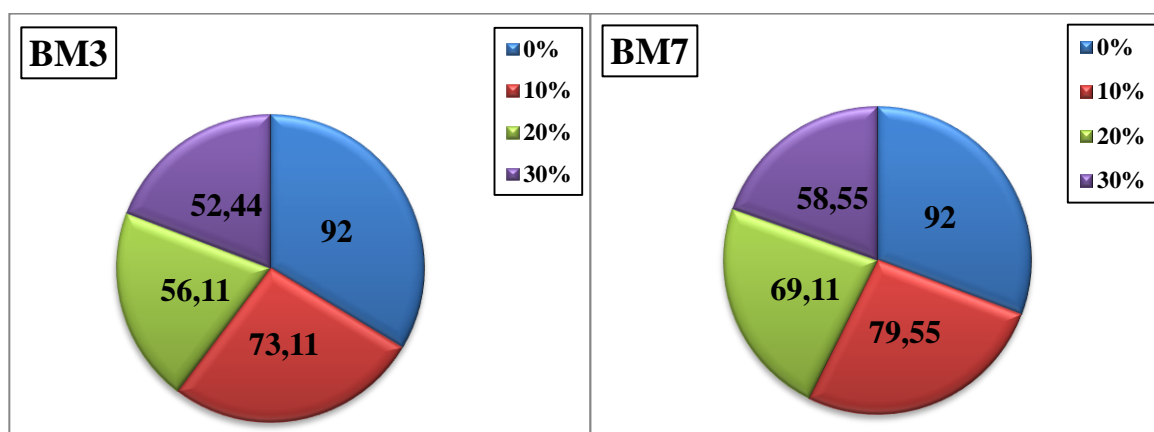
Il existe généralement une relation idéale entre le poids de la pâte et le volume du pain qui donne la texture la plus désirable. C'est-à-dire que le volume spécifique du pain ne doit pas être trop grand ou trop petit car il affecte la structure de la mie. Un volume spécifique trop petit est associé à une structure de grains très compacte, dense et fermée, tandis qu'un volume de pain trop grand donne une structure aérienne et ouverte (**Yi et al., 2009**).

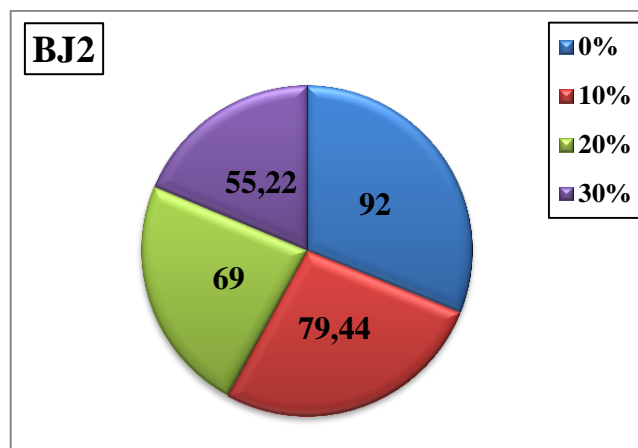
D'après les résultats illustrés dans la figure 17, nous avons noté une augmentation de la levée de la pâte avec le temps, dans tous les échantillons des pains produits. Pour tous les pâtons, on observe que le taux d'incorporation 10% était le meilleur pour une bonne levée de la pâte et en particulier pour l'échantillon BM3, et cela peut être expliqué par la richesse de cet échantillon en sucres fermentescibles utilisés par *Saccharomyces cerevisiae*, qui peuvent être originaires de la dégradation des granules d'amidon pendant le stockage dans le Matmour (Bekhouche et al., 2014).

### II.3.1. Evaluation de la qualité sensorielle de pain

On a procédé à une analyse sensorielle en faisant appel à une analyse des critères suivants : odorat, vue, goût, etc. (Voir annexe). La note finale étant en pourcentage.

D'après la figure 17, Les pains avec 10% d'incorporation des trois échantillons BM3, BM7 et BJ2 représentent une note de 73.11%, 79.55% et 79.44% respectivement. Ceux avec 20% d'incorporation représentent des notes faibles (56.11%, 69.11% et 69 % respectivement). Tandis que pour les autres (avec 30% d'incorporation), nous avons enregistré la note la plus faible dont 58.55% pour BM7 et 55.22 % pour BJ2 contre seulement 52.44% pour BM3. Si on compare les pains préparés avec le témoin, on voit que le taux d'incorporation 10% confère une bonne qualité organoleptique à la moyenne de 77.36 %, qu'on l'admet proche à celle du témoin (92%). Le meilleur pain obtenu à partir de blé fermenté est le pain de Milla (BM7) à 10%.





**Figure 17.** Analyse sensorielle des pains (%)

Le pain de qualité supérieure est défini en termes de texture spongieuse et uniforme, d'arôme meilleur, de couleur plus lumineuse, nutritif, avec une durée de conservation prolongée (**Ghoshal et al., 2016**).

Et selon **Rèmèsy et Leenhardt (2007)**, les principaux facteurs qui peuvent influencer la valeur nutritionnelle et organoleptique du pain; la dévalorisation du blé (mauvaise sélection des variétés), la production de la farine (conduite de mouture), l'accélération de la panification et l'usage excessif de sel.

L'acceptabilité globale a été déterminée sur la base des notes de qualité obtenues à partir de l'évaluation du goût, de la texture, de l'arôme, de la mie et de la couleur de la croûte. Il ressort clairement du résultat que le pain à 100% de farine de blé tendre était plus acceptable pour les juges, suivi du pain de 10% d'incorporation de blé fermenté puis 20% et en fin 30% pour les trois échantillons. On peut prédire que nos pains issus de la farine mélangée avec celle du blé fermenté sont de qualité organoleptique acceptable, et que cette dernière peut être utilisée et incorporée à des taux bien précis dans des préparations culinaires et ne doit pas dépassant le 10%. C'est la même conclusion achevée par **Olaoye et al., (2006)** qui ont incorporé la farine de soja lors de la préparation du pain.

## **II.3.2. Evaluation de la qualité microbiologique du pain**

### **II.3.2.1. Dénombrement de la flore totale aérobie mésophile**

Le dénombrement de la flore totale aérobie mésophile (FTAM) reflète la qualité microbiologique générale d'un produit naturel et permet d'en suivre l'évolution, le nombre des germes « totaux » pourra donner une indication de l'état de fraîcheur ou de décomposition (altération) de produit (**Guiraud et Rosec, 2004**).

D'après la figure 18, les résultats de BM3 et BM7 pour l'incorporation de 30% représente le taux de contamination le plus élevé, alors que pour l'échantillon BJ2, il a montré une flore non dénombrable.

La charge en FTAM permet de s'informer sur la qualité microbiologique et hygiénique des denrées alimentaires. En effet, l'excès de ces germes témoigne du non-respect des règles d'hygiène lors de la fabrication, des mauvaises conditions d'entreposage et de la mauvaise qualité des matières premières (Ennadir et al., 2012).

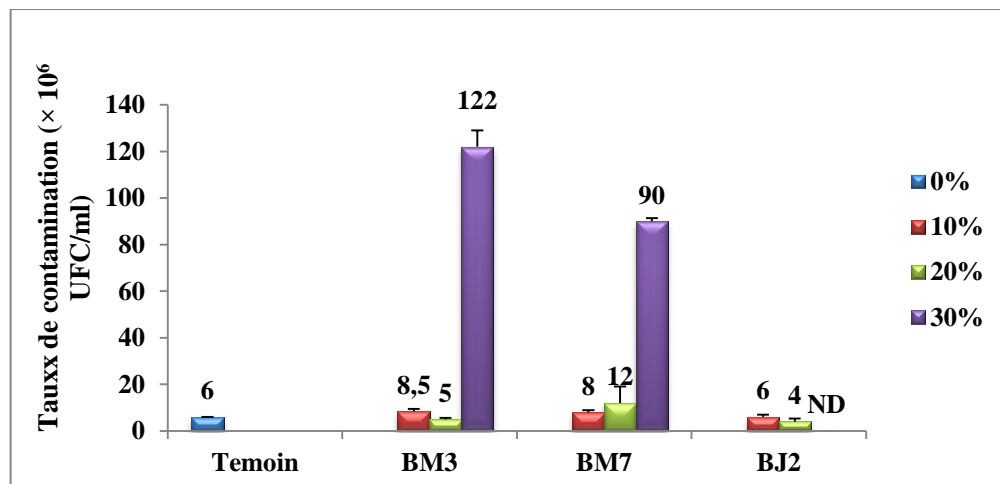


Figure 18. Dénombrement de la flore totale aérobie mésophiles.

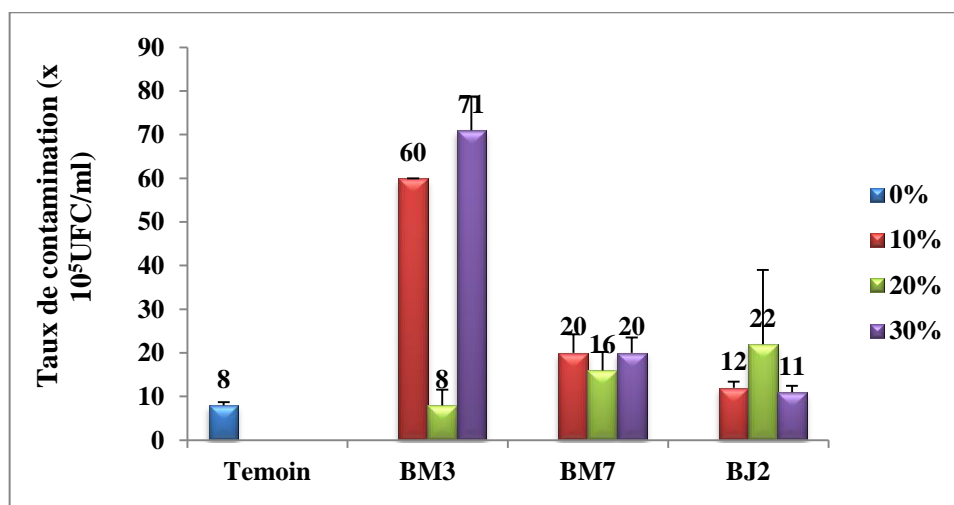
Selon Guiraud, (2003) le nombre des germes totaux pourra donner une indication de l'état de fraîcheur ou de l'état de décomposition du produit. Dans notre cas, le blé fermenté dans le Matmour est exposé aux phénomènes de dégradation beaucoup plus importants, suite aux infiltrations d'eau favorisant la multiplication et la contamination par une toute communauté de micro-organismes différents.

### II.3.2.2. Dénombrement des levures et moisissures

La présence de flore fongique dans les céréales destinées à l'alimentation de l'homme peut engendrer de graves conséquences sur sa santé. Le développement de cette flore compte parmi les principales causes d'altération sanitaire des céréales (Gacem et al., 2011) et aussi peut également avoir une action sur les protéines des céréales, il provoque sur des blés destinés à la panification une modification des propriétés rhéologiques des pâtes qui en résultent, et sont susceptible de dégrader la qualité hygiénique des céréales (Cahagnier, 1996).

Les résultats du dénombrement des levures et moisissures sont illustrés dans la figure 19. Après l'analyse de cette figure, on observe que le taux de contamination des échantillons du pain par cette

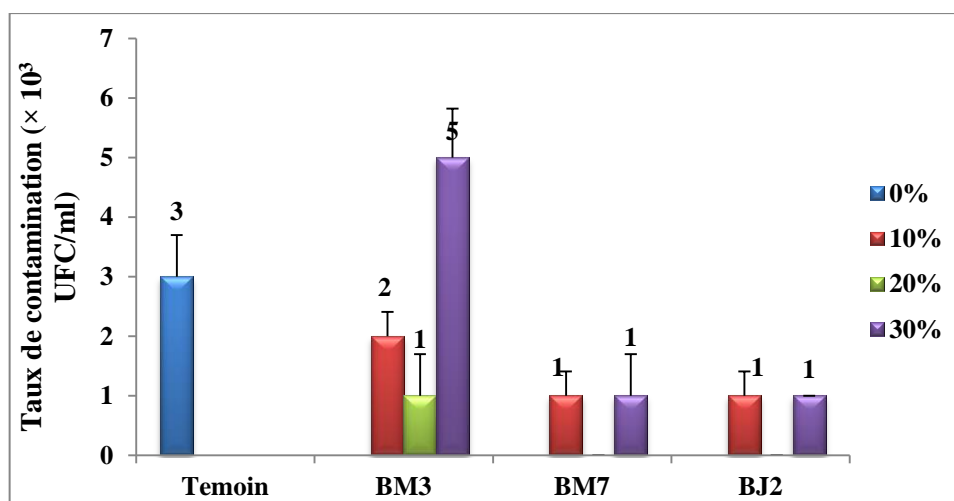
flore est différent d'un échantillon à un autre ; dont le BM3 (10% et 30%) représente le taux de contamination le plus élevé ( $60 \times 10^5 \pm 0$  UFC/ml et  $71 \times 10^5 \pm 7.77$  UFC/ml respectivement).



**Figure 19.** Dénombrement des levures et moisissures

Les conditions de récolte des produits agricoles et surtout celles de stockage de ces denrées ou de leurs dérivés ont une grande influence sur le développement des moisissures (Moreau, 1996 et Ijah et al., 2014). En empêchant délibérément la croissance des moisissures et en éliminant les principales conditions de réaction, on peut retarder le rassissement et, éventuellement, prolonger la durée de conservation du pain (Ghoshal et al., 2016).

### II.3.2.3. Dénombrement de la flore lactique



**Figure 20.** Dénombrement de la flore lactique

L'action des bactéries lactiques au cours de la fermentation a été associée tout d'abord à l'élaboration de l'arôme et de la texture du produit final mais aussi au maintien d'une bonne sécurité alimentaire grâce aux acides organiques produits (Zita et al., 2017).

Les résultats de BM3 pour l'incorporation de 30% représentent le taux en bactéries lactiques le plus élevé ( $5 \times 10^3$  UFC/ml  $\pm$  0.82), par rapport aux autres échantillons (figure 20).

#### II.3.2.4. Dénombrement des entérobactéries

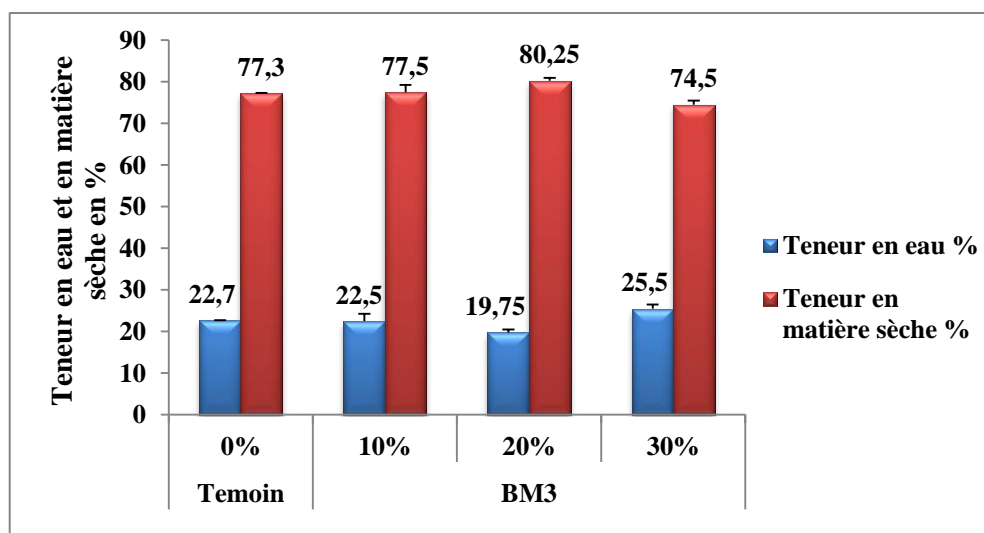
Les entérobactéries sont très répandues dans la nature et contaminent facilement les aliments. Le dénombrement des entérobactéries est intéressant au niveau industriel comme test de qualité hygiénique globale et peuvent être considérées comme germes indicateurs de mauvaises condition de manipulation et de fabrication (Guiraud et Rosec, 2004).

Les entérobactéries sont la plus part des hôtes normaux (commensaux) de l'homme et des animaux, elles sont très répandues dans la nature en raison de leurs contamination de l'environnement par l'intermédiaires des matières fécales animales et des eaux d'égout (Bourgeois et al., 1996). Nous avons noté une absence de ces germes dans tous les échantillons du pain, cela indique leur bonne qualité hygiénique.

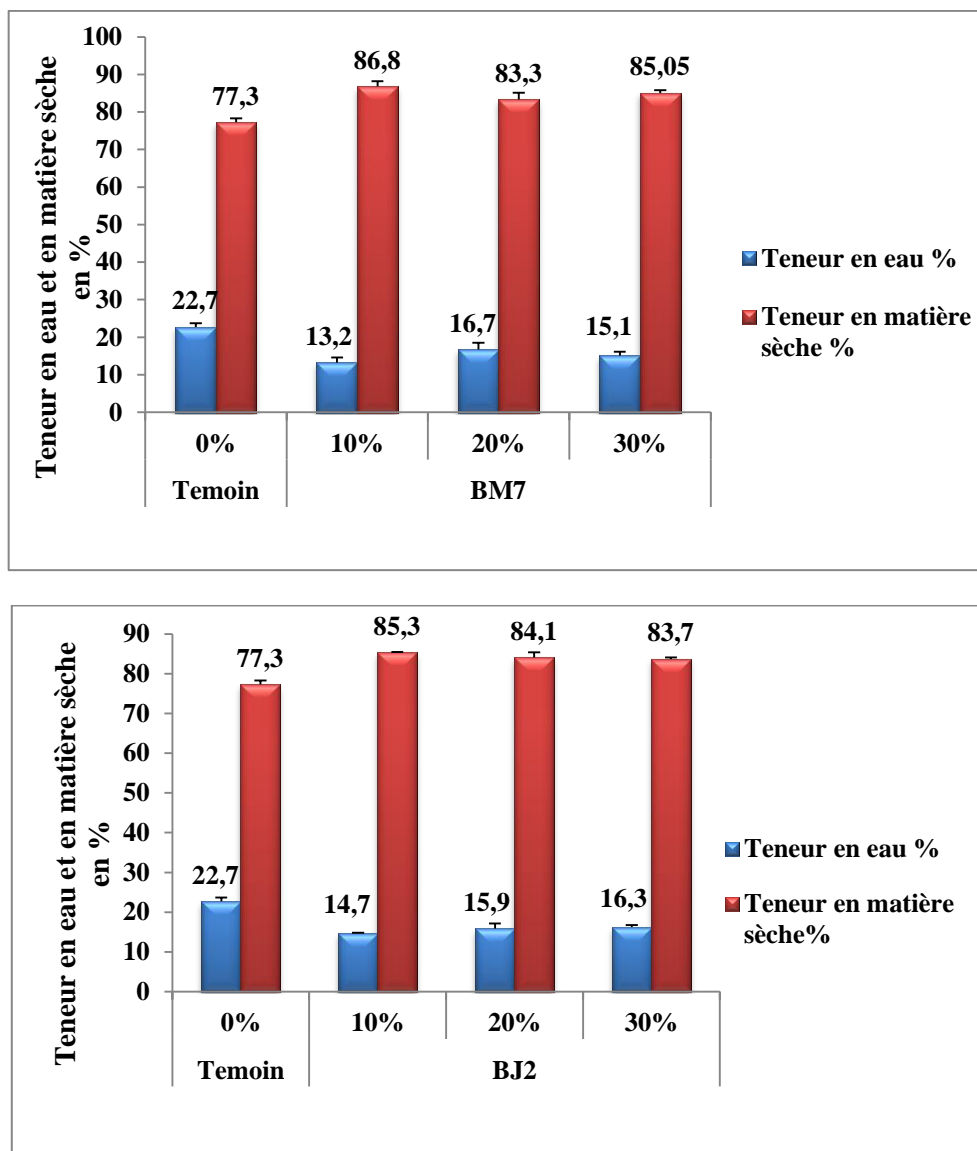
#### II.3.3. Evaluation de la qualité physicochimique et nutritionnelle du pain

##### II.3.3.1. Détermination de la teneur en eau et la matière sèche

Les résultats de la teneur en eau des échantillons du pain à 10% de la farine du blé fermenté pour BM3, BM7, BJ2 sont :  $22.5 \pm 0.0\%$ ,  $13.2 \pm 1.41\%$ ,  $14.7 \pm 0.14\%$  respectivement. Les résultats pour le taux d'incorporation à 20% varient entre  $19.75 \pm 1.77\%$  et  $16.7 \pm 1.84\%$ ,  $15.9 \pm 1.27\%$ , alors que ceux pour le taux d'incorporation à 30% varient entre  $25.5 \pm 0.71\%$  et  $15.1 \pm 0.99\%$  et  $16.3 \pm 0.42\%$  (figure 21).







**Figure 21.** Teneur en eau et la matière sèche des échantillons du pain

La teneur en eau élevée des échantillons du pain, en particulier ceux avec un taux d'incorporation 30% et comparativement avec le témoin (22.7%), peut être liée à l'ajout de la farine du blé fermenté, en plus de la capacité accrue des fibres pour absorber l'humidité (Gomes et al., 2016). L'humidité est un facteur très important dans la conservation de la qualité du pain et une forte humidité peut avoir un effet négatif sur la stabilité au stockage. L'échantillon de pain ayant la teneur en humidité la plus élevée peut donc avoir une durée de conservation réduite en comparaison avec d'autres (Ijah et al., 2014).

La teneur en humidité du pain est un paramètre important lié au volume spécifique et à la douceur de la mie de pain (Ghoshal et al., 2016). Selon Bourre et al. (2008) le taux d'humidité du pain à base de céréales est de 32.2%, ce qui n'est pas en accord avec nos résultats. D'autre part, nos

résultats se concordent avec ceux trouvés par **Ameah et al. (2013)**, qui ont enregistré une moyenne de 22.34% dans du pain supplémenté avec le son du riz.

En ce qui concerne la matière sèche, tous les échantillons du pain avec les trois taux d'incorporation de la farine de blé fermenté (10, 20 et 30%) présentent les valeurs élevées et cela comparativement avec le témoin ( $p=0.02$ ,  $P<0.05$ ). Cela indique que l'incorporation de la farine de blé fermenté peut augmenter le taux de la matière sèche dans les pains produits.

### II.3.3.2. Détermination du pH

D'après la figure 22, les pains avec 10% d'incorporation des trois échantillons BM3, BM7 et BJ2 représentent un pH acide de 4.94, 4.89 et 4.46 respectivement. Ceux avec 20% d'incorporation représentent des pH encore acide (4.83, 4.79 et 4.38 respectivement). Tandis que pour les autres (avec 30% d'incorporation), nous avons enregistré des valeurs de pH plus acide varient entre 4.76, 4.58 et 4.19 ( $p=0.0003$ ,  $P<0.05$ ). On constate que, plus le taux d'incorporation des farines de blé fermenté augmente plus le pH des échantillons du pain s'abaisse. Si on compare les pains préparés avec le pain témoin, on voit que le taux d'incorporation 10% confère une bonne qualité organoleptique, qu'on l'admet proche à celle du témoin (5.79).

Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Gomes et al., (2016)**, qui ont noté une diminution dans les valeurs de pH avec l'augmentation du taux d'incorporation de farines de la banane verte. Cependant, on observe que les valeurs de pH des échantillons du pain sont plus diminuées de ceux trouvés par **Gomes et al., (2016)**, cela est expliqué par la nature acide des farines de blé fermenté.

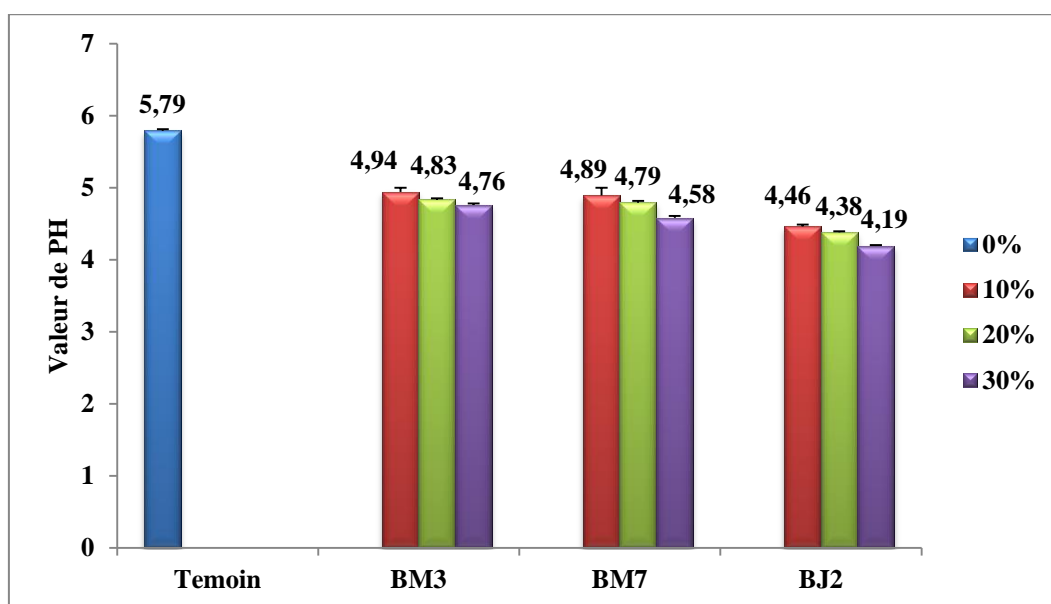


Figure 22. Valeurs de pH des échantillons du pain

### II.3.3.3. Acidité grasse

Les résultats concernant l'acidité grasse sont illustrés dans la figure 23. On remarque que la valeur la plus élevée enregistrée chez BM7 à 20% « 4.41 ».

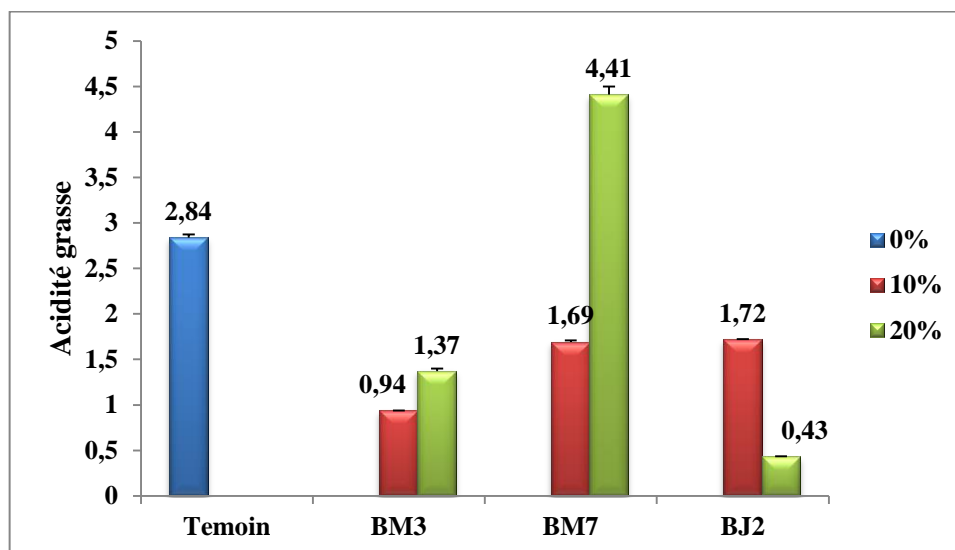
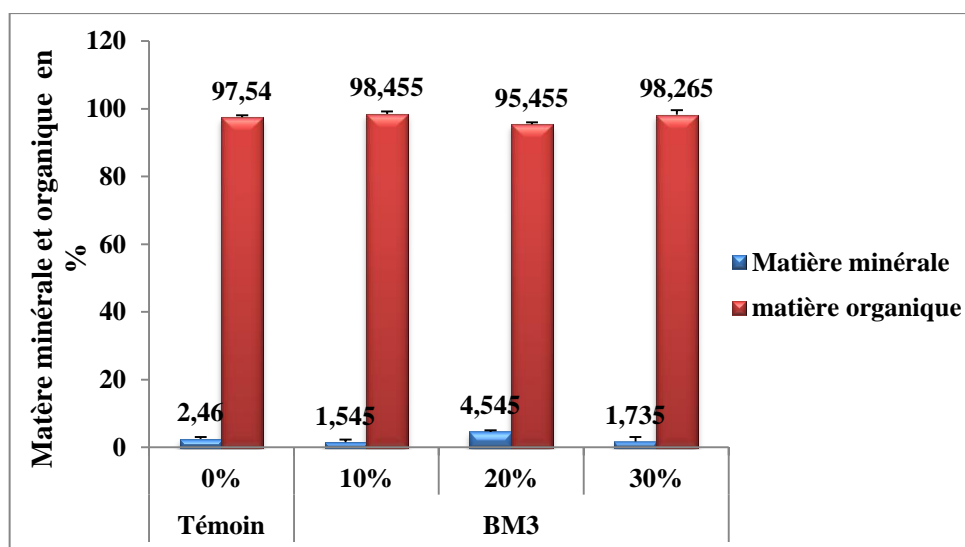


Figure 23. Valeur de l'acidité grasse des échantillons du pain

### II.3.3.4. Détermination de la teneur en cendres

Le grain de blé contient des matières minérales en faible proportion et inégalement réparties, ainsi 80% des cendres se trouvent dans les enveloppes, contre 20% dans l'amande. Le potassium, le phosphore, le calcium et le magnésium étant les plus élevés parmi les matières minérales contenus dans le blé (Doumandji et al., 2003).



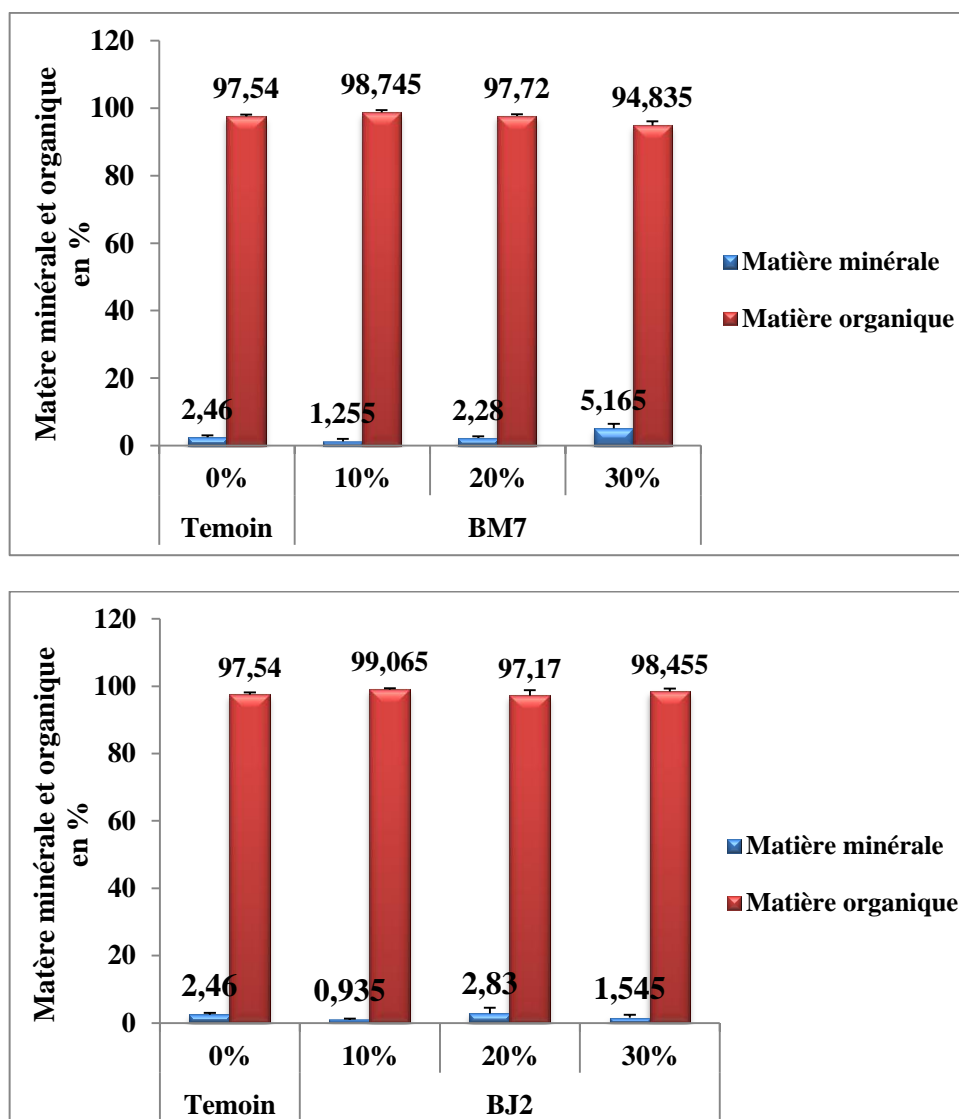


Figure 24. Teneur en cendres

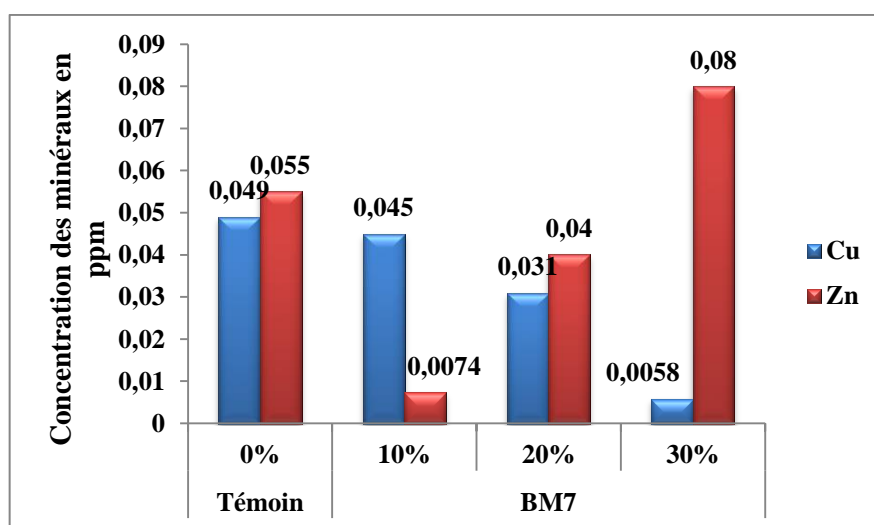
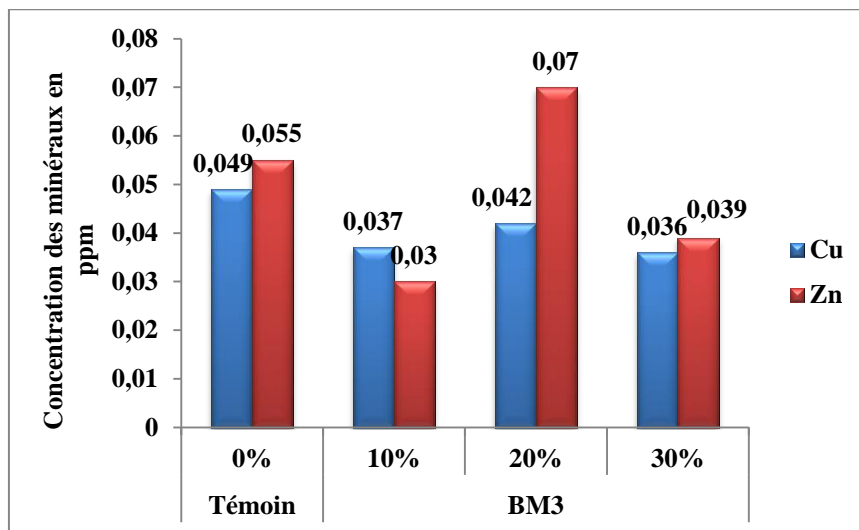
Les résultats de la matière minérale de nos échantillons du pain sont très proches de ceux enregistrés par **Bourre et al., (2008)** (2.7%), qui ont fabriqué du pain à base de céréales. Alors que certains échantillons présentent des valeurs très élevées (4.54 et 5.16%), cela peut être expliqué premièrement par le degré de pureté du produit à analyser, deuxièmement, à la proportion des enveloppes présentes dans le produit, car la matière minérale se concentre beaucoup plus dans les enveloppes. D'autres facteurs de différence : la variété, le stade de maturité des grains, les conditions de la mouture. La recherche de la teneur en cendres présente une importance réglementaire par la mesure du degré de pureté (**Doukani, 2015**).

### II.3.3.5. Dosage des minéraux

La figure ci-dessous, résume les teneurs en élément dosés pour les dix échantillons du pain : le cuivre et le zinc.

Le cuivre est un élément essentiel chez l'homme et l'animal, il participe à de nombreuses fonctions : antioxydant et joue un rôle dans l'immunité cellulaire (Jaccot *et al.*, 2003). En ce qui concerne le zinc, il participe à la synthèse des protéines, à l'immunité cellulaire et humorale, à la transcription génétique et à la structure des hormones (Chibane *et al.*, 2007). Il est l'un des oligo-éléments les plus abondants chez l'homme. Il intervient dans l'activité de plus de 200 enzymes (Jaccot *et al.*, 2003).

Le cuivre était présent dans nos échantillons en valeurs nettement différentes. En effet, l'échantillon codé BJ2 à incorporation 30% (0,064 ppm) présente la valeur la plus élevée comparativement avec les autres échantillons. S'agissant du zinc, nous avons enregistré la valeur la plus élevée pour l'échantillon BJ2 à incorporation 10% (0,087 ppm). En plus, on remarque que presque tous les échantillons du pain contiennent des valeurs plus élevées.



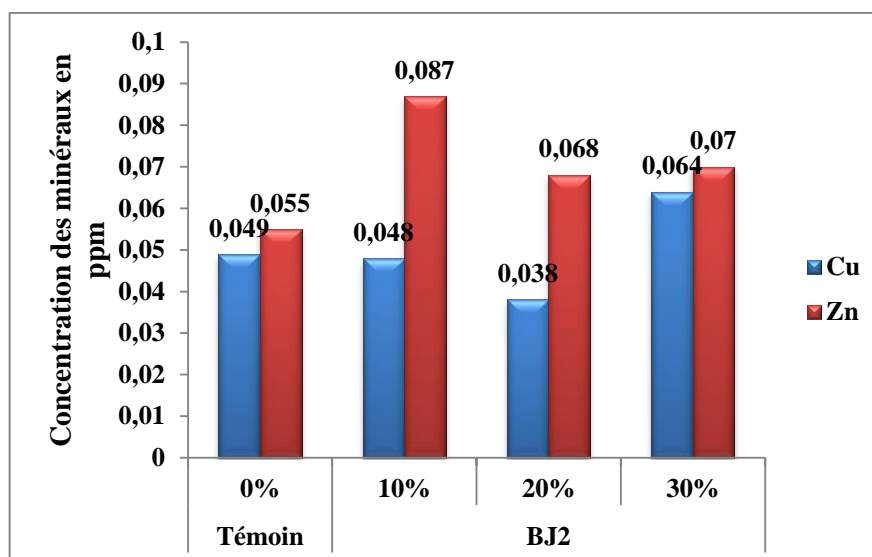


Figure 25. Teneur en éléments minéraux

### II.3.3.6. Dosage de l'amidon, l'amylose et l'amylopectine

L'amidon est un polymère de D-glucose, constituant une source excellente d'énergie, il est surtout localisé dans l'albumen (Roudaut et Lefrancq, 2005). Les résultats de dosage spectrophotométrique de l'amidon, l'amylose et l'amylopectine dans les échantillons du pain sont illustrés par la figure (26).

Le taux en amidon, des pains avec 10% d'incorporation des trois échantillons codés BM3, BM7 et BJ2 respectivement varie entre  $10.94 \pm 0.007$ ,  $11 \pm 0.01$  et  $19 \pm 0.005$  respectivement. Ceux avec 20% d'incorporation entre  $17 \pm 0.001$ ,  $16 \pm 0.002$  et  $24 \pm 0.0003$ . Tandis que pour les autres (avec 30% d'incorporation), nous avons enregistré  $39 \pm 0.005$  pour BM3,  $18 \pm 0.019$  pour BM7 et  $31 \pm 0.02$  pour BJ2 ( $p=0.0005$ ).

Alors que le taux en amylose –amylopectine ( $p=0.0074$ ), des pains de blé fermenté présente des valeurs plus élevées que le témoin. Plus le taux d'incorporation de la farine du blé fermenté augmente, plus le teneur en amylose-amylopectine augmente.

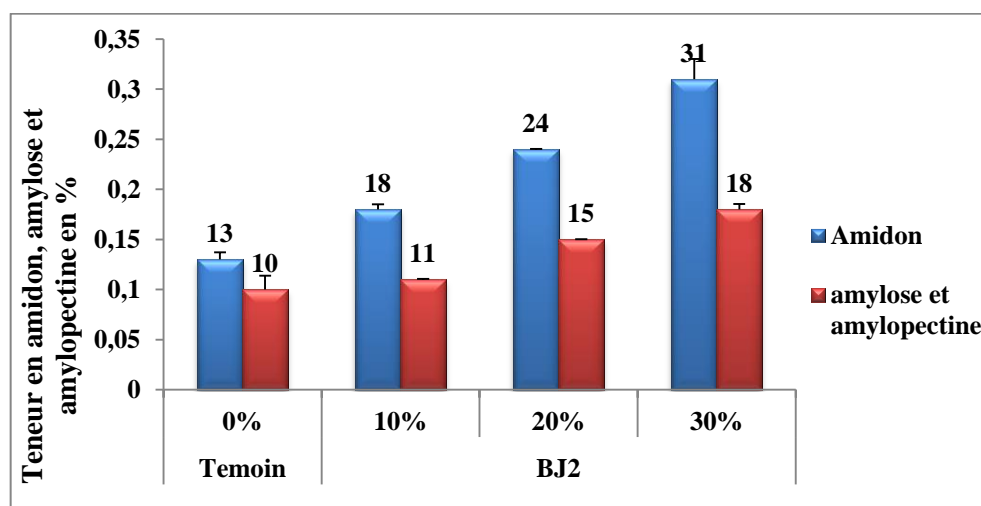
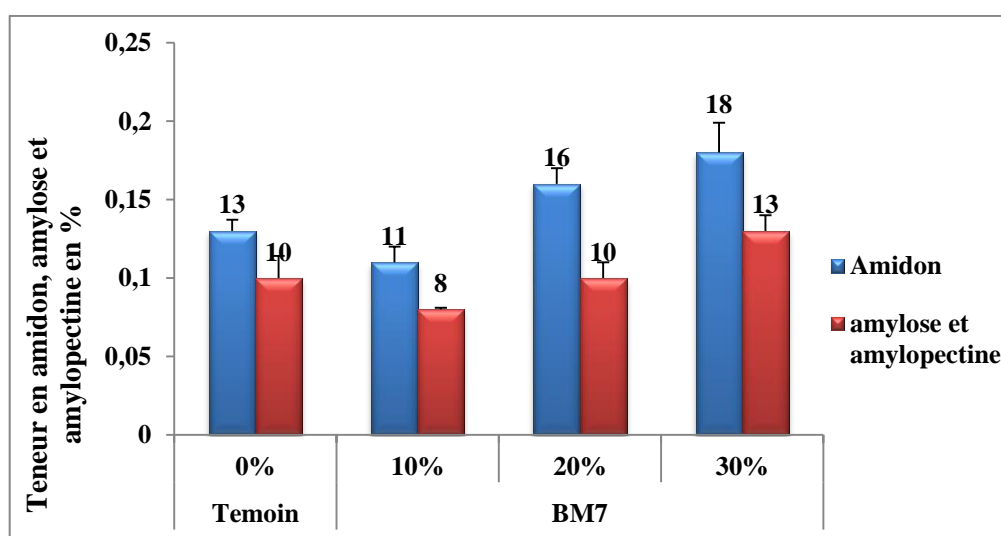
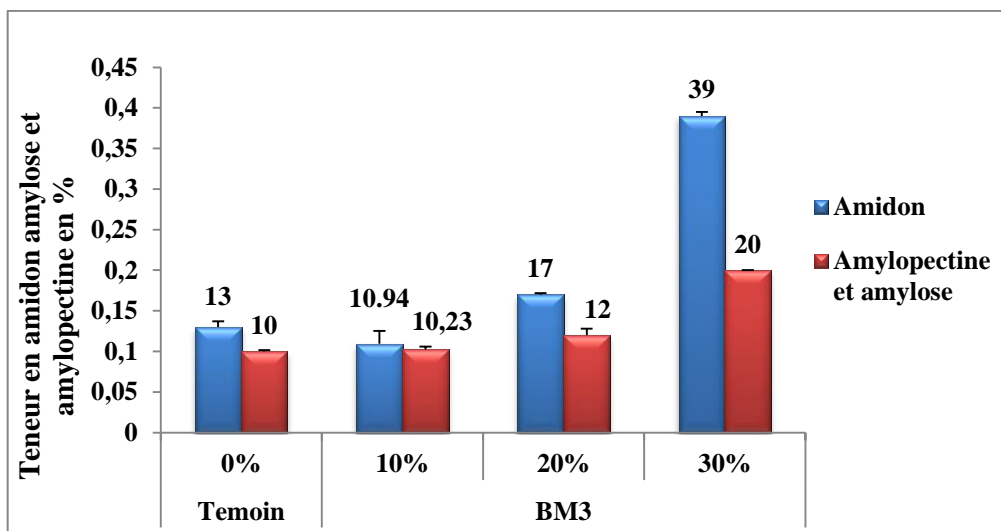


Figure 26. Teneur en amidon, amylose et amylopectine

Les teneurs respectives en amylose et en amylopectine influencent les propriétés d'un amidon tel que sa susceptibilité à l'hydrolyse enzymatique (Massaux *et al.*, 2006).

On constate pour les teneurs en amylose et amylopectine qu'elles sont très basses en comparant nos résultats avec des études précédentes. En effet, **Ameh et al. (2013)** ont enregistré des valeurs en carbohydrates allant de 55.59 jusqu'à 63.10%. Cette diminution est peut être liée à l'endommagement et la dégradation de l'amidon pendant le stockage du blé fermenté.

### II.3.3.7. Extraction et dosage des composés antioxydants

#### A. Mesure de l'activité polyphénols

Les céréales, y compris le blé sont considérés comme des produits particulièrement riches en polyphénols notamment en acides phénoliques (**Doukani et al., 2013**)

L'étude quantitative de l'extrait aqueux de blé dur fermenté est réalisée par des dosages spectrophotométrique. Afin de caractériser cet extrait, un dosage des phénols a été effectué. La teneur en phénols est exprimée en milligramme d'équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/g d'extrait). Les résultats sont présentés dans la figure 27. D'après la courbe d'étalonnage de l'acide gallique nous avons calculé la teneur en composés phénoliques des échantillons étudiés.

Les teneurs en polyphénols, des pains avec 10% d'incorporation des trois échantillons codés BM3, BM7 et BJ2, elles varient entre  $0.26 \pm 0.005$  mg EAG/g EB,  $0.16 \pm 0.003$  mg EAG/g EB et  $0.19 \pm 0.002$  mg EAG/g EB. Ceux avec 20% d'incorporation représentent ( $0.33 \pm 0.002$  mg EAG/g EB,  $0.25 \pm 0.002$  mg EAG/g EB et  $0.24 \pm 0.001$  mg EAG/g EB respectivement). Tandis que pour les autres (avec 30% d'incorporation), nous avons enregistré  $0.37 \pm 0.0005$  mg EAG/g EB pour BM3,  $0.31 \pm 0.001$  mg EAG/g EB pour BM7 et  $0.27 \pm 0.001$  mg EAG/g EB pour BJ2. Ces résultats sont différent très significativement ( $P = 0.0003$ ).

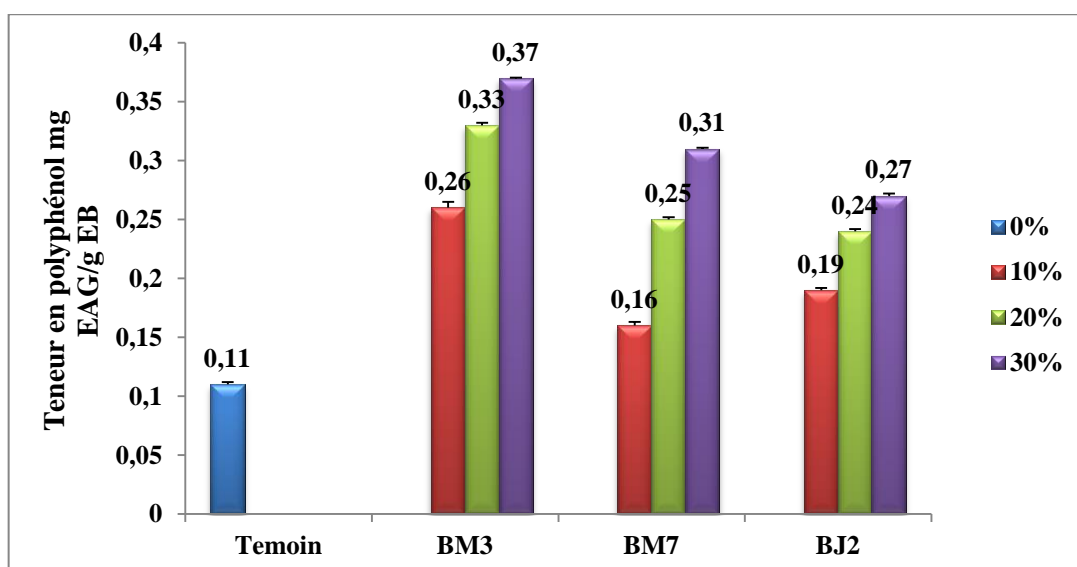


Figure 27. Teneur en poly phénols totaux des extraits aqueux



On constate que la teneur en polyphénols totaux des différents échantillons est supérieure à celle du témoin, cela prouve que la farine de blé fermenté est plus riche en polyphénols que celle de la farine de blé non fermenté. En plus cette teneur augmente avec l'augmentation du taux d'incorporation.

Le processus de fermentation est une façon d'améliorer la teneur en composés phénoliques et le potentiel antioxydant dans les aliments fermentés. Dans le processus de fermentation, différentes enzymes hydrolytiques pourraient être produites directement à partir du substrat solide et en même temps être utilisés pour libérer les composés phénoliques (**Doukani et al., 2013**). Ce résultat a été démontré dans la partie précédente (évaluation de la qualité microbiologique du pain) qui décrit une charge microbienne plus élevée dans les échantillons du pain comparativement avec le témoin, ce qui entraîne une augmentation des enzymes hydrolytiques et par la suite concentration plus élevée en polyphénols.

Comme le blé contient des composés phénoliques qui sont concentrées principalement dans les tissus de son, il est possible que d'autres enzymes membranaires d'hydrolyse peuvent également jouer un rôle dans la libération des polyphénols au cours de la période de fermentation (**Doukani et al., 2013**). Donc la richesse du pain produit à partir d'un mélange de la farine de blé dur fermenté et blé tendre confère aux échantillons du pain une qualité nutritionnelle plus importante.

### B. Flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes déterminée par la méthode au trichlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ) pour chaque extrait a été rapportée en  $\mu\text{g}$  équivalent quercétine /mg d'extrait (**Talbi et al., 2015**).

La quantité de composés phénoliques tels que les flavonoïdes dépend essentiellement du stade de croissance de la plante, les conditions climatiques et environnementales, la localisation géographique et les différentes maladies qui peuvent affecté la plante (**Triki et al., 2018**).

Le graphe suivant (figure 28) représente les résultats de dosage des flavonoïdes dans les différents types du pain qui sont produits à partir d'un mélange de la farine de blé fermenté et la farine de blé tendre.

Nous remarquons clairement que l'échantillon BM3 du pain avec 10%, 20% et 30% d'incorporation présente la teneur la plus élevée en flavonoïdes respectivement ( $0.14 \pm 0.003$  mg EQ/ g EB,  $0.21 \pm 0.0005$  mg EQ/g EB, et  $0.54 \pm 0.01$  mg EQ/ g EB) contre le témoin et les autres échantillons. Ces résultats sont très significativement différents ( $P = 0.0002$ ).

Ces résultats montrent que les échantillons étudiés présentent aussi des teneurs variables en flavonoïdes. La teneur en flavonoïdes des échantillons du pain de blé fermenté est plus élevée si on compare avec le témoin, plus le taux d'incorporation augmente plus la teneur en flavonoïdes

augmente. Ces résultats montrent que la supplémentation de la farine du blé tendre avec celle du blé fermenté présente l'avantage de l'amélioration de la qualité nutritionnelle du pain.

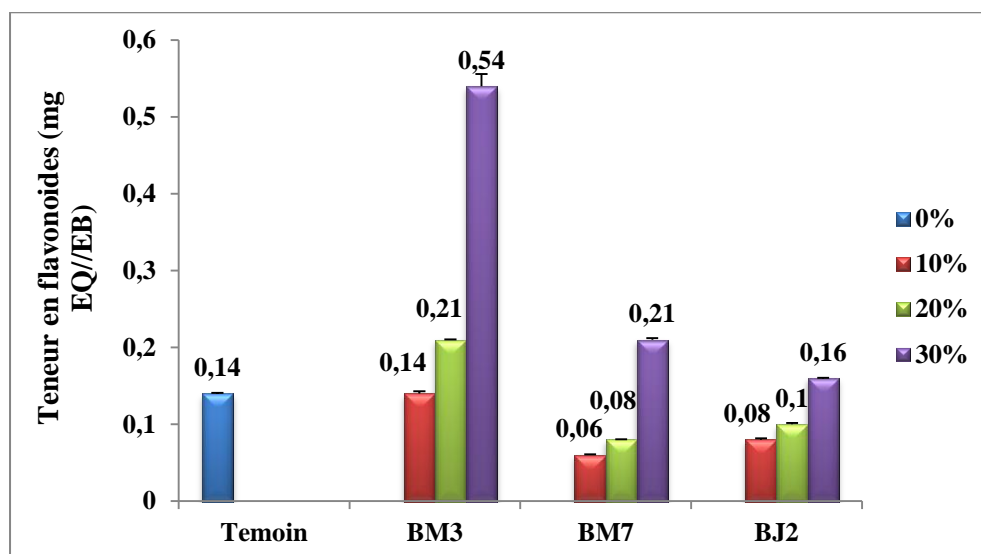
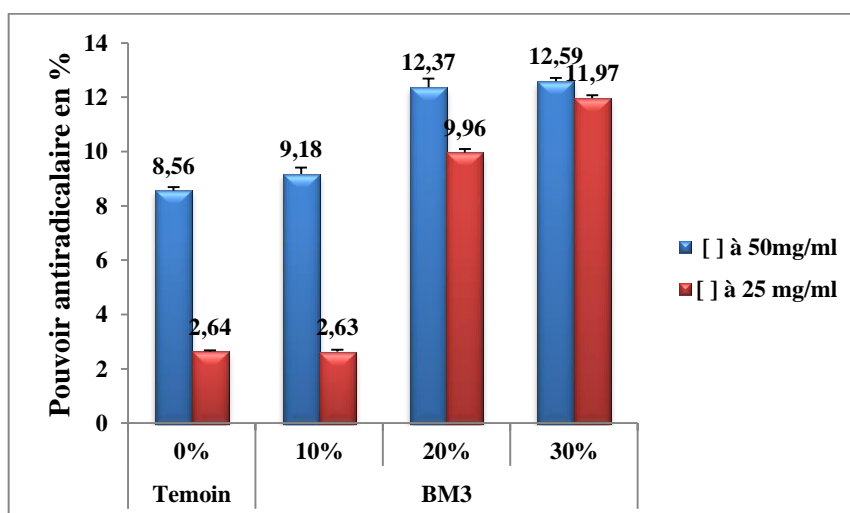
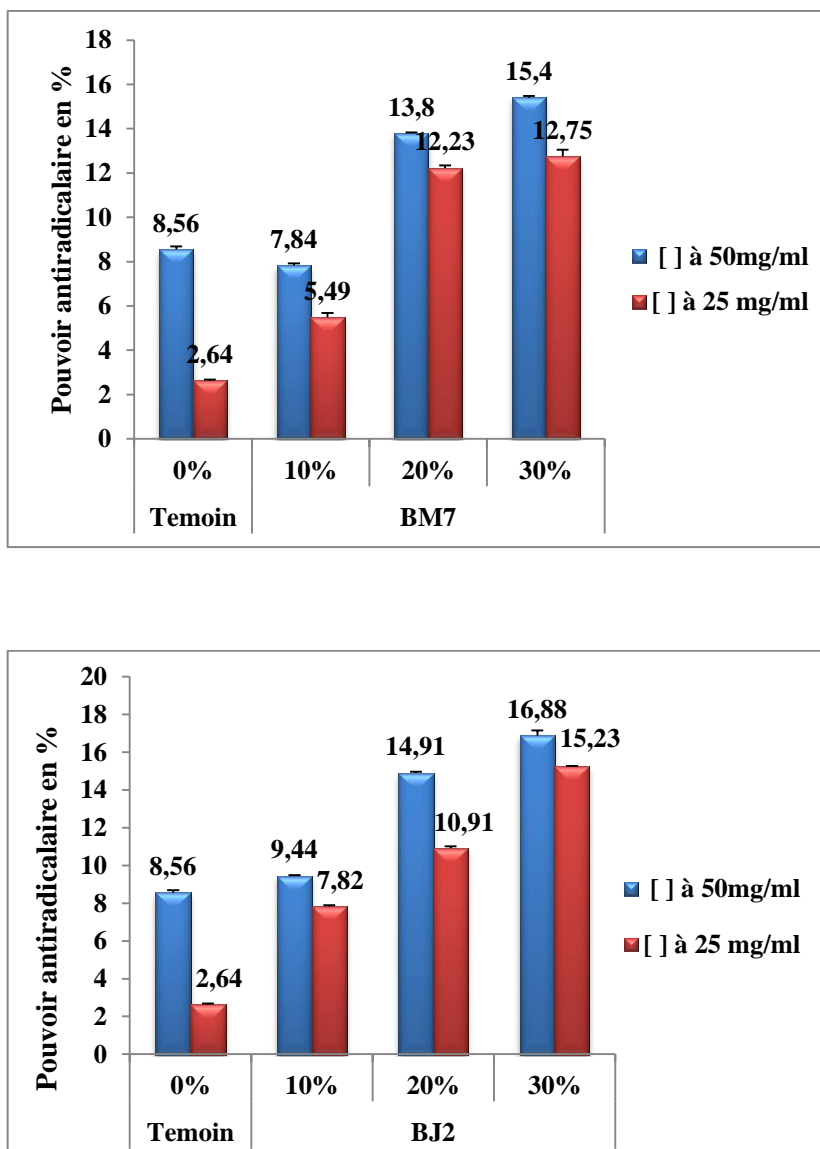


Figure 28. Teneur en flavonoïdes des échantillons du pain

### C. Activité anti-radicalaire du radical DPPH°

L'activité anti-radicalaire est estimée selon la méthode décrite par **Mansouri et al., 2005**. Elle consiste à réduire le 2,2-phényl-1-picrylhydrazyl (DPPH), un radical stable, à une molécule non radicalaire stable. Cette réduction est le résultat de la fixation d'un atome d'hydrogène de l'extrait sur la molécule de DPPH (**Triki et al., 2018**). La figure 29 présente l'activité anti-radicalaire des différents échantillons.





**Figure 29.** Activité anti-radicalaire du radical DPPH° des extraits du pain

Les résultats de l'activité antioxydant, présentés dans la figure 30 des différents échantillons du pain varient significativement. Le pain issu de la farine du blé fermenté BJ2 représente la valeur la plus élevée de l'activité antiradicalaire suivi par l'échantillon BM7 puis BM3. On note que tous les échantillons des pains produits avec supplémentation de farine du blé fermenté présentent des activités antioxydants plus élevées que celles enregistrées pour le témoin. Et plus le taux d'incorporation de la farine du blé fermenté augmente, plus l'activité s'améliore. Ces résultats de l'activité antioxydant sont en ligne avec ceux de la teneur en polyphénols et flavonoïdes, en effet ces derniers sont l'un des constituants antioxydants les plus efficaces qui contribuent à l'activité antioxydant (Velioglu et al., 1998). L'amélioration de cette activité peut avoir aussi origine aux divers composés antioxydants formés au cours de la cuisson à travers la réaction de Maillard. La formation de pigments bruns a été signalé pour présenter une activité antioxydant (Culetu et al., 2016).

### Conclusion générale

La méthode de stockage de blé dans le Matmour est l'une des méthodes traditionnelles dans l'Algérie, son intérêt concerne ses qualités sanitaires, physicochimiques et organoleptiques. L'objectif de ce travail est l'étude de la qualité microbiologique, physicochimique, nutritionnelle et sensorielle de pain fabriqué avec mélange de la farine du blé fermenté et celle de la farine du blé non fermenté.

L'étude de la qualité physicochimique des matières premières (trois échantillons du blé fermenté) révèle des résultats proches pour le test de poids de mille grains et la masse à l'hectolitre, le pH, la teneur en eau et la matière sèche. Les résultats des taux d'impuretés, le pourcentage des grains brisés et l'acidité grasse sont peu différents pour les trois échantillons.

Pour les analyses des farines, nous avons remarqué que le taux d'extraction de BJ2 est le plus élevé alors que la densité sèche, la conductimétrie, le pH ainsi que l'indice de couleur indiquent des valeurs peu similaires. Concernant la teneur en eau et matière sèche les résultats sont très proches pour tous les échantillons.

Après l'essai de panification, l'analyse sensorielle indique une bonne acceptation générale des pains issus du taux d'incorporation 10% en comparant avec les deux autres taux d'incorporation (20% et 30%), leur contrôle microbiologique a montré qu'ils sont de bonne qualité hygiénique.

Concernant la qualité physicochimique et biochimique, les échantillons du pain présentent des teneurs basses de pH et de l'humidité comparativement au témoin. Ils représentent une activité antioxydante intéressante, en effet plus le taux d'incorporation de la farine du blé fermenté augmente plus on aura un taux élevé en polyphénols et flavonoides.

On conclura alors, que le pain fabriqué à partir de blé dur fermenté a présenté une bonne acceptabilité du point de vue organoleptique, microbiologique et nutritionnelle, ces résultats permettent son utilisation ultérieure comme ingrédient de panification en vue d'améliorer la qualité du pain.

### -A-

**Abbasi S., Azari S.** Novel freeze drying of onion slices using microwaves. Proceeding of the 5th international congress on food technology, 2007, vol. 1, Greece, 54-61.

**AFNOR NFV 05-113**,1972.

**Alais C., Linden G., Miclo L.** Biochimie Alimentaire, 6e éd, France : Dupli-Print, 2005. p133-143.

**Amandikwa C., Iwe M.O., Uzomah A., Olawuni A.I.** Physico-chemical properties of wheat-yam flour composite bread. *Nigerian Food Journal* 33, 2015, p 13-14.

**Ameh O.M., Gernah D.I., Igbabul B.D.** Physico-Chemical and Sensory Evaluation of Wheat Bread Supplemented with Stabilized Undefined Rice Bran. *Food and Nutrition Sciences*, 2013, 44.

**Autran J.C.** Science et technologie des céréales. UFR de Technologie des Céréales et des Agropolymères. Paris : INRA, 2000. p 116.

### -B-

**Bekhouche F., Merabti R., Bailly J. D.** Traditional couscous manufacture from fermented wheat (Algeria): investigation of the process and estimation of the technological and nutritional quality. *African Journal of Food Science and Technology*, 2013, vol.4, 167–175.

**Boudreau A., Ménard G., Germain.** Le blé : éléments fondamentaux et transformations. 4e éd. Canada : les presses de l'université laval, 1992. p 66.

**Bourgeois C.M., Mescle J.F. et Zucca J.** Microbiologie alimentaire. Tome I : Aspect microbiologie de la sécurité et de la qualité des aliments. Paris : Lavoisier, 1996. p650.

**Bouslah F., El Moueddeb KH., Hamza M.E.** Les problèmes de qualité du blé dur après stockage en Tunisie [Durum wheat storage problems quality in Tunisia]. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 2016, vol. 21,190-200.

**Bourre J-M., Bégat A., Leroux M-C.,Mousques-Cami V., Pérardel N., Souply F.** Valeur nutritionnelle (macro et micro-nutriments) de farines et pains français. Médecine et nutrition. France, 2008, vol. 44, n° 2,49-76.

**Boutroux L.** Le Pain et la panification. Chimie et technologie de la boulangerie et de la meunerie. Paris : Iris, 1897, 196-198.

**Branger A., Richer M-M., Roustel S.** (Ed). Alimentation, processus technologiques et contrôles. France : Educagri éditions, 2009. p 102. ISBN 978-2-84444-720-3

**Branger A., Richer M-M., Roustel S.** (Ed). Alimentation, sécurité et contrôles microbiologiques. Edition : Educagri éditions, 2007.p 63. ISBN 978-2-84444-616-9.

### -C-

**Cahagnier B.** Céréales et produits dérivés. *In* : Microbiologie alimentaire : Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Bourgeois C.M. Paris: Lavoisier, 1996.p 406.

**Chibane H., Benamara H., Noui Y., Djouab A.** Some physicochemical and morphological characterizations of three varieties of Algerian common dates. *European Journal of Scientific Research*, 2007, vol.18, n°1, p.134-140.

**Cruz J.F., Hounhouigan D.J., Lessard F.F.** La conservation des grains après récolte. France : Presses Agronomiques de Gembloux, 2016. p 140.

**Cruz J.F., Troude F., Griffon D., Hébert J.P.** Conservation des grains en régions chaudes «Techniques rurales en Afrique».2e. Paris : CEEMAT, 1988. p 545.

**Culetu A., Fernandez-Gomez B., Ullate M., Del Castillo M.D., Andlauer W.** Effect of theanine and polyphenols enriched fractions from decaffeinated tea dust on the formation of Maillard reaction products and sensory attributes of breads. *Food Chemistry*, 2016, 18.

### -D-

**Dhen N., Ben Rejeb I., Boukhris H., Damergi C., Gargouri M.** Physicochemical and sensory properties of wheat- Apricot kernels composite bread. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 7.

**Dennaï N., Kharrati B., El Yachioui M.** Appréciation de la qualité microbiologique des carcasses de bovins fraîchement abattus. *Ann. Méd. Vét*, 2001, vol.145, 271.

**Delarras C.** Pratique en microbiologie de laboratoire : recherche de bactéries et de levures-moisissures. Paris: Lavoisier, 2014. p .444-445.

**Djeridane A., yousfi .M. Najemi B., Boutassouma., D. Stocherpandvidal N.** Antioxydant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compound. *Food chemistry*, 2006, vol. 97, 654- 660.

**Doukani K.** Etude comparative entre le couscous industriel et le couscous à base de glands. *Nature and Technology*, 2015, n°13, 2-11.

**Doukani K., Tabak S., Gourchala F., Mihoub F., Ounes M., Benbaguara M.** Caractérisation physico-chimique du blé fermenté par stockage souterrain (Matmora). *Revue Ecologie-Environnement*, 2013, 9

**Doumandji A., Doumandji S., Doumandji M B.** Technologie de transformations des blés et problèmes dus aux insectes au stock « cours de technologie des céréales ». Alger : office des publications universitaires, 2003.126.

**Dupin H., Cuq J.L., Malewiak M.I., Leynaud-Rouaud C., Berthier A-M.** Alimentation et nutrition humaine. Paris : ESF, 1992. p1533.

-E-

**Ennadir J., Hassikou R., Ohmani F., Hammamouchi J., Bouazza F., Qasmaoui A., Mennane Z., OuazzaniTouhami A., Charof R., Khedid KH.** Qualité microbiologique des farines de blé consommées au Maroc. *Rev. can. Microbiol*, 2012, vol. 58, 148.

-F-

**Fardet A., Leenhardt F., LiogerD.,Scalbert A., Remesy C.** Parameters controlling the glycaemic response to breads. *Nutr.Res.Rev*, 2006, 18-25.

**Feillet P.** Le grain de blé (composition et utilisation). Paris: INR, 2000. p 18-137.

**Finney K.F., Yamazaki W.T., Young V.L., Rubenthaler G.L.** 10 quality of hard soft and durum wheats. 2e éd. USA: ACSESS, 1987. p 677.

**Fredot E.** Connaissance des aliments « Bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique ». 2e éd, Paris : Lavoisier, 2009. p 210-215.

-G-

**Gacem M. A., Ouold el hadj. KH. A. Gacemi B. Halla N. Djerbaoui A. N. Boudershem A. Hadeb S., Benreguieg M. Adli D. E. H.** Antimycotoxigenic and antifungal activities of *Citrullus colocynthis* seeds against *Aspergillus flavus* and *Aspergillus ochraceus* contaminating wheat stored. *African Journal of Biotechnology*, 2013, vol. 12, p 6222-6231.

**Gacem M.A., Ould El Hadj Khelil A., Gacemi B.** Etude de la qualité physico-chimique et mycologique du blé tendre local et importé stocké au niveau de l'office algérien interprofessionnel des céréales(OAIC) de la localité de Saida (Algérie). *Algerian journal of arid environment*, 2011, vol 1, n° 2, 68-69.

**Ghoshal G., Shivhare U.S., Banerjee U.C.** Thermo-mechanical and micro-structural properties of xylanase containing whole wheat bread. *Food science and humanwellness*, 2016, 9.

**Godon B., Loisel W.** Guide pratique d'analyses dans les industries des céréales. 2e éd. Paris: Lavoisier, 1997. p76-78-79.

**Gomes A.A.B., Ferreira M.E., Pimentel T.C.** Bread with flour obtained from green banana with its peel as partial substitute for wheat flour: Physical, chemical and microbiological characteristics and acceptance. *International Food Research Journal*, 2016, 2215.

**Gourchala F., Hobamahoro A.F., Mihoub F., Henchiri C.** Effect of natural fermentation on the nutritional quality of "el Hammoum" durum wheat (*triticum durum*) fermented product of the Algerian country. *International journal of bio-technologyand research (IJBTR)*, 2014, vol. 4, 9.

**Guiraud J-p., Rosec J-Ph.** Pratique des normes en microbiologie alimentaire. 1e éd. France : AFNOR, 2004. p 102-103-117.

**Guiraud J-P,** Microbiologie alimentaire. Edition : Dunod. 2003, Paris. p 615

### -H-

**Hidalgo A., Fongaro L., Brandolini A.** Wheat flour granulometry determines colour perception. *Food Research International*, 2014, 363.

### -I-

**Ijah U.J.J., Auta H.S., Aduloju M.O.W., Aransiola S.A.** Microbiological, nutritional, and sensory quality of bread produced from wheat and potato flour blends, Hindawi Publishing Corporation. *International Journal of Food Science*, 2014, 1.

**ITCF.** Guide pratique - Stockage et conservation des grains à la ferme. Paris : FAO, 1989.p 60.

### -J-

**Jeatet R., Croguennec T., Schuck P., Brulé G.** Science des aliments : Biochimie Microbiologie- Procédés- Produits. Paris : Lavoisier, 2007. p 140.

**JORAN.** Méthodes officielles d'analyses physico-chimiques et microbiologiques relatives aux céréales et produits dérivés. 2013. p 15-35.

**Justice M.C., Bury R., Justice J.C.** Détermination conductimétrie des coefficients d'activité : sels alcalins a anions oxygènes dans l'eau à 25°C. *Electrochimica Acta*, 1971, vol. 16, 687-700.

### -K-

**kohajdová Z., karovičová J.** Fermentation of cereals for specific purpose. *Journal of Food and Nutrition Research*, 2007, vol. 46, n°2, 51-57.

### -L-

**Larpent J.P.** Microbiologie alimentaire : Technique de laboratoire. Paris : Lavoisier, 1977. p 1073.

**Ladraa N.** Aptitude à la pacification de quelques variété de blé dur Algérien. *Ecole Nationale Supérieur d'agronomie El-Harrache*. Alger, 2012. p39-43.

**Lecoq R.** Manuel d'analyse alimentaire et expertise usuelles. Tome I, Ed Doin, 1965.

**Levacher D.** Centre française du littoral.(Ed). Génie civil-génie côtier. France : centre française du littoral, 2000. p417.

**Lindon G.** Techniqued'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaires. 2e éd. Paris : Lavoisier, 1991. p 216-221.

**Lioger D., Fardet A., Rémésy C.** Quels types de produits céréaliers pour le petit déjeuner. France : INRA, 2007. p311-315.

### -M-

**Massaux C., Bodson B., Lenartz J., Sindic M., Sinnaeve G., Dardenne P, Falisse A., Deroanne C.** L'amidon natif du grain de blé : un composé naturel à valoriser par la connaissance de ses propriétés techno-fonctionnelles. *Livre blanc « Céréales »*, 2006, 1-7.



**Mousia Z , Edherly S, Severino S. Pandiella, Webb C.** Effect of wheat pearling on flour quality. *Food Research International*, 2004, 449–459.

**Mauze C., Richard M., Scatti G.** Contrôle de la qualité des blés. Guide pratique de l'industrie technique des céréales et des fourrages. Paris, 1972. p170-188.

**Mansouri A., Embarek G., Kokkalou E., Kefalas P.** Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food Chemistry*, 2005, 411–420.

**Moreau C.** Les moisissures. Science et technique agroalimentaires. In : Microbiologie alimentaire : Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Paris : Lavoisier, 1996. p 241.

**Mokhtari S,** Effet protecteur de certaines bactéries lactiques isolées à partir de blé fermenté type Hamoum. Thèse : Université d'Oran. Oran, 2012. p 109.

**Mokhtari S, Kheroua O, Saidi D.** Isolation and Identification of Lactic Acid Bacteria from Algerian Durum Wheat (*Triticum Durum*) Natural Fermented in Underground Silos Matmora “ El-Hammoum” and their Antimicrobial Activity Against Pathogenic Germs. *Journal of Nutrition and Health Sciences*, 2016, vol. 3, p 1-12.

**Morris P.C, Bryce J.H.** Céréales biotechnologie. England : CRC Press LLC, 2000. p 3.4.

**Mosiniak M., Prat R., Roland J.C.** Du blé au pain. 2018.

-O-

**Olaoye, O. A., Ouilude, A., & Idowu, O. A.** Quality characteristics of bread produced from composite flours of wheat, plantain and soy beans. *African Journal of Biotechnology*, 2006, 5: 1102-1106.

**Oloyede O.O., Ocheme O.B., Nurudeen L.M.** Physical, Sensory and microbiological properties of Wheat-Fermented Unripe Plantain Flour. *Nigerian Food Journal*, 2013, vol.31, n°2,125.

**Othman A., Ismail A., Abdul Ghani N., Adenan I.** Antioxidant capacity and phenolic content of cocoa beans. *Food Chemistry*, 2007, 1523–1530.

-R-

**Rémésy C., Leenhardt F., Fardet A.** Donner un nouvel avenir au pain dans le cadre d'une alimentation durable et préventive. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 2014, 3.

**Roudaut H., Lefrancq E.** Alimentation théorique. France :Doin, 2005. p153- 154.

-S-

**Saulnier L.** Les grains de céréales : diversité et compositions nutritionnelles. *Cahiers de nutrition et diététique*, 2012,4-15.

**Shewry R.** Do ancient types of wheat have health benefits compared with modern bread wheat. *Journal of Cereal Science*, 2018, 469-476.

**Siboukeur O., Mati A.** Evolution de la flore microbienne d'origine exogène dans le lait de chamelle (*Camelus dromedarius*) lors de sa transformation artisanale en lait fermenté, 2007, 1-14.

**Singh N., Singh H., Singh M-B.** Determining the distribution of ash in wheat using de branning and conductivity. *Food Chemistry*, 1998, vol. 62, n°2, 169- 172.

**St-Pierre N., Bélanger V., Brégarde A.** Ventilation et conservation des grains à la ferme. Canada : CRAAQ, 2014,p 3-9.

### -T-

**Talbi H., Boumaza A., El-mostafa K., Talbi J., Hilali A.** Evaluation of antioxidant activity and physico-chemical composition of methanolic and aqueous extracts of *Nigellasativa L.* *Journal of Materials and Environmental Science*, 2015,1112-1113

**Tao Z., Chang X., Wang D., Wang Y., Shaokang Ma., Yang Y., Zhao G.** Effects of sulfur fertilization and short-term high temperature on wheat grain production and wheat flour proteins. *Ann. Méd. Vét*, 2009, vol. 153, 54-65

**Triki T., Guasmi F., Boussora F., Ben Mohamed M., Ben Ali S., Guasmi A., Yahia H., Nagaz K.** Etude de la composition phénolique et des propriétés antioxydants d'extraits desfeuilles de cinq 9variétés d'orge (*Hordeum vulgare L.*) soumis à un stress hydrique (PEG 6000). *Institut des Régions Arides*, 2018, n°43, 658.

### -V-

**Velioglu, Y.S., G. Mazza, L. Gao and B.D. Oomah. 1998.** Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 4113-4117.

### -Y-

**Yi J., Johnson J.W, Kerr W.L.** Properties of bread made from frozen dough containing waxy wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 2009, 364-366.

### -Z-

**Zairi M., Bouchentouf S.N., Hadjam N., Benali M., Hamou Met Labdi M.** La qualité technologique de quelques lignées d'orge issue de la sélection participative en zones semi-arides. *Revue Agriculture*, 2016, 163.

**Zita B, Doudjo S, Sadat A, Akaki Koffi D, Assidjo Nogbou E.** Evaluation des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques d'un beignet traditionnel à base de mil fermenté (gnomy) commercialisé dans la ville de Yamoussoukro. *European Scientific Journal*, Vol 13, n° 9, 2017.

**Annexe I : Composition des milieux de culture.****Milieu PCA**

Tryptone.....	5g
Peptone de levure.....	2.5g
Glucose.....	4g
Agar.....	9g
L'eau distillée.....	1dm <sup>3</sup>
pH.....	7

**Milieu MRS**

Peptone .....	
Extrait de viande .....	10g
Extrait de levure .....	10g
Glucose .....	5g
Tween 80.....	20g
Phosphate bipotassique .....	1ml
Acétate de sodium .....	2g
Citrate d'ammonium .....	5g
Sulfate de magnésium, 7 H <sub>2</sub> O .....	2g
Sulfate de manganèse, 4 H <sub>2</sub> O .....	0.2g
Agar .....	0.5g
Eau distillée qsp .....	15g
PH.....	1000ml

**Milieu Sabouraud**

6.5

Formule en g. L-1 d'eau distillée :

Peptone pepsique de viande .....	
Glucose.....	10g
Chloramphénicol.....	20g
Agar .....	0.5g
pH = .....	15g

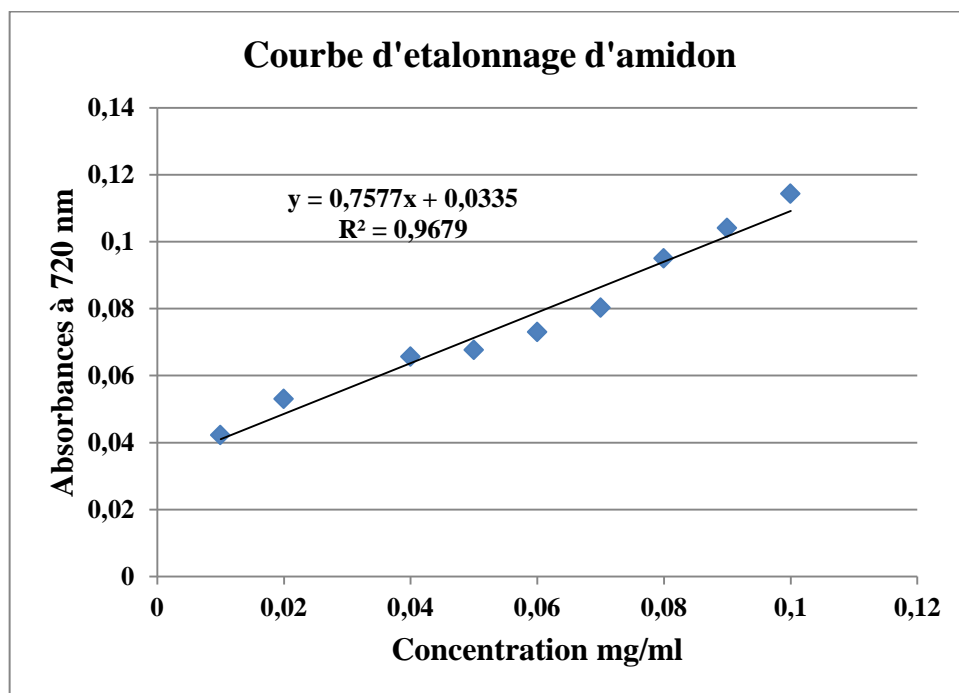
**Milieu VRBG**

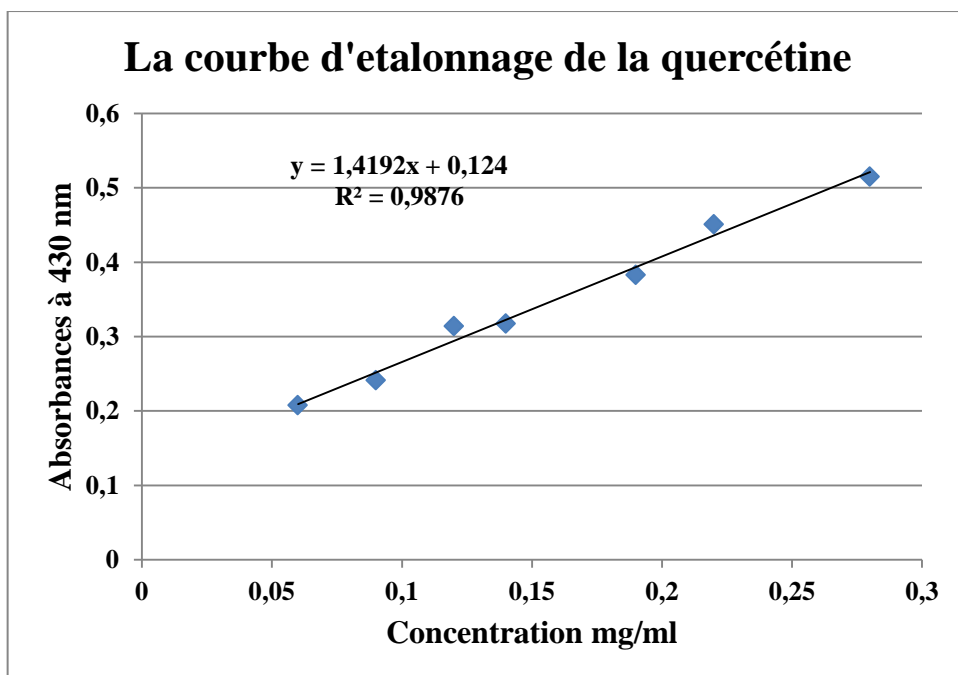
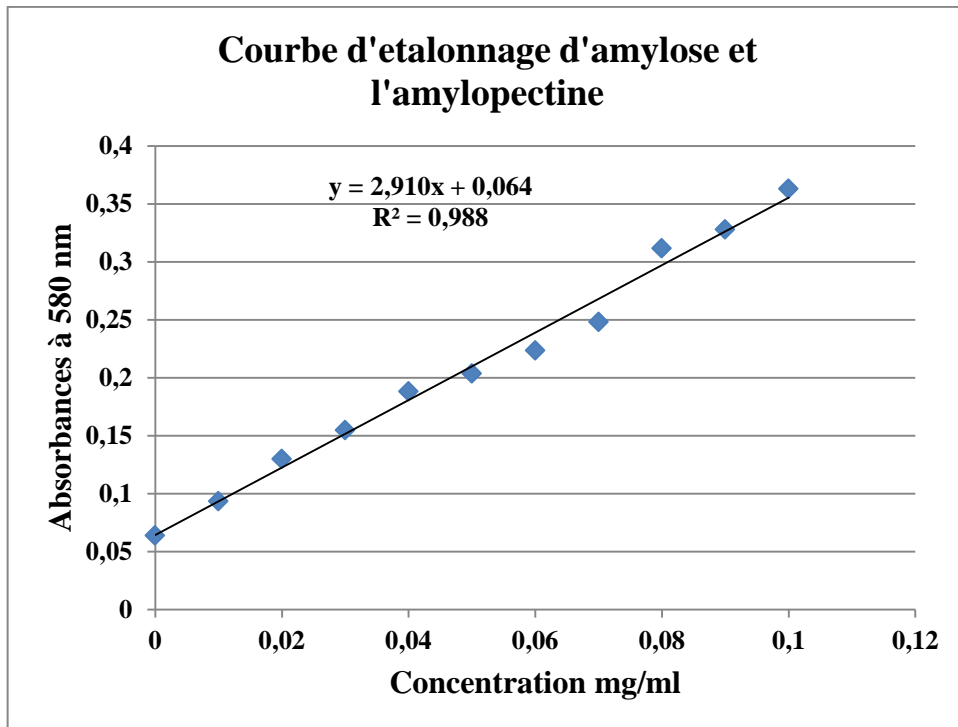
7.0

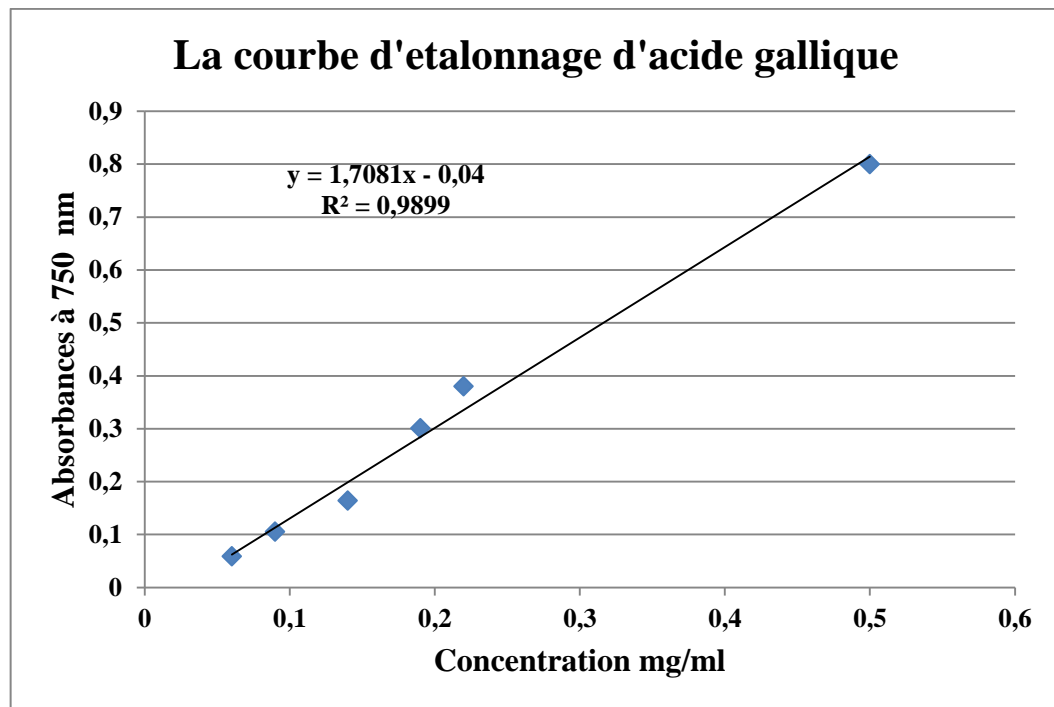
Peptone de levure.....	3g
Glucose.....	10g
Cristal violet.....	2mg

Rouge neutre.....	30mg
NaCl.....	5g
Peptone animal .....	7g
Sels Biliaires n°3 .....	1.5g
Agar.....	9-18g
L'eau distillée.....	1dm <sup>3</sup>
pH .....	7.4

## Annexe II : Courbes d'Étalonnage.







**Annexe III : Questionnaire pour l'appréciation de la qualité organoleptique du pain**

Sexe :

L'âge :

		Couleur	Croute	Texture de mie	Arôme	Goût	Acceptabilité générale
	A						
BM <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>						
	C <sub>3</sub>						
	D <sub>3</sub>						
BM <sub>7</sub>	B <sub>7</sub>						
	C <sub>7</sub>						
	D <sub>7</sub>						
BJ <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>						
	C <sub>2</sub>						
	D <sub>2</sub>						

NB : Les notes varient de 1 à 9.

Annexe IV : Photo d'un moulin traditionnel



<p><b>Présenté par: Ansel Rofia</b></p> <p><b>Boukedjouta Asmaa</b></p>	<p><b>Encadreur : Benhamada N</b></p> <p><b>Date de soutenance : 04/07/2018</b></p>
<p><b>Etude de la qualité microbiologique, nutritionnelle et sensorielle du pain produit à partir du mélange de farine de blé tendre et du blé dur fermenté par la méthode traditionnelle</b></p>	
<p><b>Option : Agroalimentaire et contrôle de qualité</b></p>	
<p><b>Résumé</b></p> <p>Notre travail a pour but d'étudier la qualité microbiologique, nutritionnelle et sensorielle d'un pain fabriqué d'un mélange de la farine du blé tendre et du blé dur fermenté par la méthode traditionnelle. Les mélanges des farines ont été préparés à partir de trois échantillons du blé fermenté. Les résultats microbiologiques ont montré l'abondance de la flore de fermentation dans les pains du blé fermenté, avec qualité microbiologique satisfaisante. Pour la qualité nutritionnelle, les pains produits avec des taux d'incorporations différentes présentaient des taux élevés en antioxydants et possèdent une activité antioxydant intéressante en comparant avec le pain témoin. De plus, nous avons démontré que le pain produit avec taux d'incorporation 10% était globalement accepté avec une note proche du témoin, ce qui favorise son utilisation ultérieure comme ingrédient et améliorant sain dans la technologie du pain</p>	
<p><b>Mots clé :</b> Pain, blé dur fermenté, farine, qualité.</p>	
<p><b>Abstract</b></p> <p>Our work aims to study the microbiological, nutritional and sensory quality of bread produced from a mixture of soft flour and fermented durum wheat flour. Flour mixtures were prepared from three samples of traditionally fermented wheat. Microbiological results showed the abundance of fermentation flora in fermented wheat breads, with satisfactory microbiological quality. For nutritional quality, the breads produced had high levels of antioxidants and have interesting antioxidant activity when compared to the control bread. In addition, we demonstrated that bread produced with 10% incorporation rate was generally accepted with a note close to the control, which favors its subsequent use as a ingredient and healthy improver in bread technology.</p>	
<p><b>Key words :</b> Bread, fermented durum wheat, flour, quality.</p>	
<p style="text-align: right;"><b>ملخص</b></p> <p>يهدف عملنا إلى دراسة الجودة الميكروبيولوجية و التغذية والحسية للخبز المصنوع من خليط دقيق القمح اللين والقمح القاسي المخمر بالطريقة التقليدية. تم تحضير خلانط الدقيق من ثلاث عينات من القمح المخمر. أظهرت النتائج الميكروبيولوجية وفرة الخمائر في خبز القمح المخمر، مع جودة ميكروبيولوجية مقبولة. بالنسبة للجودة الغذائية، كان الخبز المنتج يحتوي على مستويات عالية من مضادات الأكسدة ولديه نشاط مثيل للأكسدة عند مقارنته بالخبز الشاهد. بالإضافة إلى ذلك، أظهرنا أن الخبز المنتج بنسبة 10٪ من معدل الاندماج تم قبوله عمومًا مع ملاحظة قريبة من الخبز الشاهد، والتي تحفز استخدامه لاحقًا كمكون ومحسن صحي في تكنولوجيا الخبز.</p>	
<p><b>الكلمات المفتاحية :</b> الخبز، القمح الصلب المخمر، الدقيق، الجودة.</p>	



