

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

جامعة جيجل

Université de 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

Option : Technologie agroalimentaire et contrôle de qualité

Thème

*Effet de la fermentation sur la qualité physicochimique,
microbiologique et nutritionnelle du blé fermenté
traditionnellement*

Membres de Jury :

Présidente : Dr. Laggoune S.

Examineur : Dr. Laib S.

Encadreur : M^{me} Benhamada N.

Présenté par :

Berkache Faten

Zaimen Nadia

Année Universitaire : 2017-2018

Numéro d'ordre (bibliothèque):.....

Remerciements

Tout d'abord, louange à « ALLAH » qui, nous guidons sur le droit chemin tout au long de ce travail, nous inspire les bons pas et les justes réflexes et nous a donné la volonté et le Courage. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti. 'El Hamd

Wa Chokr Li ALLAH''

Nous tenons à exprimer nos profondes reconnaissances remerciements à, M^{me} Benhamada Nabila pour avoir accepté de nous encadrer et nous avoir accordé sa confiance tout au long de ce travail, mais surtout pour sa générosité dans le travail, qu'elle trouve en ces mots toute ma gratitude.

Nos reconnaissants remerciements à Dr. Laggoune Souhela le Président du Jury, pour avoir accepté de juger cette étude.

Nos remerciements s'adressent à Dr. Laib Saïd qui a accepté de juger ce travail en qualité d'examineur.

Nos reconnaissants remerciements tous les ingénieurs de labo 5, surtout Asma pour l'aide précieuse que nous apportons

Nous voulons remercions aussi tous nos proches et amis, qui nous toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Doivent être également remerciées, avec une même intensité, toutes les personnes ayant participées de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce travail en premier lieu,

A ma mère Massouda et mon père Rachid qui me sont très chers en témoignage à leur soutien pendant toute ma vie car aucun mot ne pourra exprimer ma haute gratitude et profonde affection.

A mes frères Fouad, Tahar, et à ma chère sœur Yousra,

A tout ma famille, surtout tonton Mohammed et tante Mari,

A tous mes amis Hoda, Faten, Zina, Amira, Halima, Fatiha, Ilham, Nabila,

Et à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

A l'aide de dieu tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie :

A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie ma mère qui ma apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité

A mon cher père qui ma appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour son sacrifice ses conseils et ses encouragements

Mon grand-père Farhat et ma grand-mère Safia

A mes très chère sœur Denia et Imane

A mes frères : Rabah, Amar, Nasar et Iyad

Ames tante Yasmina et Nadira

A toute la famille Berkache, Charmate et Zaimen

A mes amis : Fatima, Nihad, Nadjiba, Amira, Halima, Nabila, Ilham, liala Samira. Fatiha, Fahima et tous mes amis et camarades de promotion pour ces années passées ensemble, dans les meilleurs moments comme dans les pires.

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale..... 01

Partie 1: Synthèse Bibliographique

Chapitre I: Les céréales

I.1. Généralité sur les céréales..... 03

I.2. Principales céréales cultivées..... 03

I.2.1. L'avoine 03

I.2.2. L'orge..... 03

I.2.3. Le maïs..... 04

I.2.4. Le seigle 04

I.2.5. Le sorgho 04

I.2.6. Le riz 04

I.2.7. Le blé 04

I.2.7.1. Description et origine..... 04

I.2.7.2. Composition histologique et biochimique du grain de blé 05

I.2.7.3. L'utilisation du blé..... 09

Chapitre II. Méthodes de stockage de blé

II.1. Le stockage du blé 10

II.1.1. Stockage traditionnel de blé 10

II.1.1.1. Stockage traditionnel en Algérie (Le Matmour)..... 10

II.1.1.2. Stockage dans les greniers 11

II.1.1.3. Stockage en gerbes 11

II.1.2. Stockage moderne..... 11

II.1.2.1. Stockage en vrac 11

II.1.2.2. Stockage en sac.....	12
II.1.2.3. Stockage en silos	12
II.2. Les facteurs d’altérations des grains au cours de stockage	12
II.2.1. Les facteurs mécaniques et physiques	12
II.2.2. Les facteurs chimiques	13
II.2.3. Altérations d’origine biologique.....	13
II.2.3.1. Les insectes.....	13
II.2.3.2. Les rongeurs	13
II.2.3.3. Altérations d’origine microbienne.....	13

Chapitre III : Modification biochimique du blé par la fermentation

III.1. La fermentation des céréales	15
III.2. Impact de la fermentation sur les caractères biochimiques de blé	16
III.2.1. Action sur les principales substances.....	16
III.2.1.1. Dégradation des glucides	16
III.2.1.2. Dégradation des protéines.....	16
III.2.1.3. Dégradation des lipides	16

Partie 2: Etude expérimentale

I. Matériel et méthodes.....	18
I.1. Matériel	18
I.1.1. Matériel biologiques	18
I.1.2. Produits chimiques et réactifs	18
I.1.3. Milieux de culture	19
I.1.4. Appareillage.....	19
I.2. Méthodes.....	19
I.2.1. Evaluation de la qualité physicochimique des échantillons du blé fermenté et Témoin	20
I.2.1.1. Poids de 1000 grains	20

I.2.1.2. Masse à l'hectolitre	20
I.2.1.3. Taux d'impuretés	20
I.2.1.4. Détermination du pourcentage des grains brisés	20
I.2.1.5. Détermination de la teneur en eau et en matière sèche	21
I.2.1.6. Mesure du pH.....	21
I.2.1.7. Mesure de l'acidité grasse.....	21
I.2.1.8. Détermination des taux de la matière minérale et organique.....	22
I.2.2. Evaluation de la qualité nutritionnelle des échantillons du blé.....	22
I.2.2.1. Dosage de l'amidon, l'amylose et l'amylopectine.....	22
I.2.2.2. Dosage des éléments minéraux	23
I.2.3. Extraction et dosage des composés antioxydants	23
I.2.3.1. Préparation de l'extrait brut	23
I.2.3.2. Dosage des phénols totaux	23
I.2.3.3. Dosage des flavonoïdes.....	23
I.2.3.4. Activité anti-radicalaire du radical DPPH	24
I.2.3.5. Pouvoir réducteur du fer	24
I.2.3.6. Piégeage du peroxyde d'hydrogène	24
I.2.4. Evaluation de la qualité microbiologique du blé fermenté	25
I.2.4.1. Préparation de la solution mère et des dilutions	25
I.2.4.2. Dénombrement de la FTAM.....	25
I.2.4.3. Dénombrement de CT et CTT	25
I.2.4.4. Dénombrement des entérobactéries	25
I.2.4.5. Dénombrement de la flore lactique.....	25
I.2.4.6. Dénombrement des levures et moisissures	26
I.3. Analyse statistique	26

II. Résultats et discussions

II.1. Analyses physicochimiques des échantillons du blé	27
---	----

II.1.1. Poids de mille grains.....	27
II.1.2. Masse à l’hectolitre.....	27
II.1.3. Taux d’impuretés.....	28
II.1.4. Pourcentage de grains brisés.....	29
II.1.5. Détermination de la teneur en eau et en matières sèche.....	30
II.1.6. Mesure du pH et l’acidité grasse.....	31
II.1.7. Détermination de la teneur en matière minérale et organique.....	33
II.2. Détermination de la qualité nutritionnelle des échantillons du blé.....	33
II.2.1. Dosage de l’amidon.....	33
II.2.2. Dosage des éléments minéraux.....	34
II.2.3. Extraction et dosage des composés antioxydants.....	35
II.2.3.1. Détermination de la teneur en polyphénols totaux.....	35
II.2.3.2. Dosage des flavonoïdes.....	37
II.2.3.3. Activité anti-radicalaire du radical DPPH°.....	37
II.2.3.4. Pouvoir réducteur du fer.....	38
II.2.3.5. Piégeage du peroxyde d’hydrogène.....	39
II.3. Evaluation de la qualité microbiologique des échantillons du blé.....	40
II.3.1. Dénombrement de la flore totale aérobie mésophile (FTAM).....	40
II.3.2. Recherche entérobactéries.....	41
II.3.3. Dénombrement des coliformes totaux (CT) et coliformes thermotolérants (CTT).....	42
II.3.4. Dénombrement de la flore lactique.....	42
II.3.5. Dénombrement des levures et moisissures.....	43
Conclusion.....	45
Références.....	46
Annexes.....	53

AG : Acidité grasse

ANOVA : Analyse de variance à un facteur

BM3 : Blé de Milla codé par numéro 3

BM4 : Blé de Milla codé par numéro 4

BM7 : Blé de Milla codé par numéro 7

CT et CTT : Coliformes totaux et coliformes thermotolérants

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FAV : Fibres Alimentaires Végétales

FMAT : Flore Mésophile Aérobie Totale

GB : Grains Brisés

ISO : Organisation internationale de normalisation

mg EAG/g EB : milligrammes équivalent acide gallique par gramme d'extrait brut

mg EQ/g EB : milligrammes équivalent quercitrine par gramme d'extrait brut

MRS : Man-Rogosa-Sharpe

n : nombre des génomes

pH : Potentiel d'Hydrogène

SP : Poids spécifique

sp : Espèce

trs / min : Tourne par minute

UFC/ml : Unité Formant Colonie

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

PCA : Plate Count Agar.

PMG : poids de mille grains

Tableau 01 : Comparaison entre le blé dur et le blé tendre

Tableau 02 : Les différents enzymes de blé

Figure 01 : La composition histologie du grain de blé

Figure 02 : Photo d'un Matmour

Figure 03 : Un grenier

Figure 04 : Silos métalliques

Figure 05 : Aspect des échantillons du blé fermenté et non fermenté.

Figure 06 : Poids de 1000 grains

Figure 07 : La masse de l'hectolitre

Figure 08 : Taux des impuretés

Figure 09 : Pourcentage des grains brisés

Figure 10 : Teneur en eau et en matière sèche

Figure 11 : Les valeurs du pH et de l'acidité grasse

Figure 12 : Taux des cendres et matière organique

Figure 13 : Teneur en amidon, amylose et l'amylopectine

Figure 14 : Teneur en élément minéraux

Figure 15 : Teneur en polyphénols totaux

Figure 16 : Dosage des flavonoïdes

Figure 17 : Activité anti-radicalaire du radical DPPH° des extraits du blé fermenté et non fermenté

Figure 18 : Réduction de fer

Figure 19 : Pourcentage de piégeage du peroxyde d'hydrogène

Figure 20 : La flore aérobie mésophile

Figure 21 : Levures et moisissures

Figure 22 : La flore lactique

Introduction

A l'heure où les recommandations alimentaires se font de plus en plus nombreuses, il est bon de se tourner vers des aliments présents depuis des millénaires, comme les céréales qui regroupent le blé, le seigle, l'orge et le triticale, etc (**Doukani et al., 2013**).

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. Le blé est l'une des céréales les plus consommées dans le monde, elle demeure un aliment indispensable à l'équilibre alimentaire.

En Algérie, le blé était historiquement conservé dans des silos souterrains appelés "Matmour" ou "Matmora". En raison de l'infiltration accidentelle des eaux de pluie dans le "Matmour", les grains de blé humidifiés ou inondés subissent une fermentation spontanée à la périphérie et à la profondeur du silo, qui dépend également de la nature du sol. L'humidité, la température incontrôlées et l'absence d'air dans le Matmour provoquent une fermentation microbienne qui peuvent durer plusieurs années (**Kalbaza et al., 2018**). Le blé fermenté après mouture s'appellera "Lemzeyet" ou "Elhammoum" devenu une partie intégrante dans des habitudes alimentaires comme la préparation de couscous noir et des galettes (**Bekhouche et al., 2013**).

La fermentation des céréales conduit à une amélioration générale de la durée de conservation, de la texture, du goût et de l'arôme, de la valeur nutritionnelle et de la digestibilité, et abaisse significativement la teneur en antinutriments des produits céréaliers (**Kohajdova et Karovicova, 2007**).

Actuellement, et sur le plan scientifique, il existe peu des études concernant la fermentation spontanée du blé pendant le stockage traditionnel dans le Matmour. Notre travail vise alors à étudier l'effet de la fermentation naturelle sur la qualité physicochimique, microbiologique et nutritionnelle du blé fermenté.

Notre manuscrit comprend :

Une introduction générale qui va éclaircir la problématique et l'objectif de notre travail ;

Une synthèse bibliographique citant l'essentiel sur les céréales, les méthodes de stockage de blé et les modifications biochimiques du blé par la fermentation.

Une étude expérimentale commençant par le chapitre matériel et méthodes qui décrit les méthodes et techniques employées puis le chapitre résultats et discussions regroupant tous les résultats obtenus avec leur discussions.

Enfin, le manuscrit est achevé par une conclusion générale et les perspectives envisagées.

*Synthèse
bibliographique*

Chapitre I : Les céréales

I.1. Généralités sur les céréales

Les céréales sont des plantes monocotylédones définies comme des graines amylacées (riches en amidon) pouvant être transformées en farines et semoules à usage alimentaire. 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 (effets décalcifiants provoqués par l'acide phytique présent dans les enveloppes) (**Jeantet et al., 2007**).

En plus de fournir de la nourriture à l'homme, elles, ou des fractions dérivées de leur traitement, apportent une contribution importante à l'alimentation du bétail. Elles ont une longue durée de conservation dans des conditions favorables car elles sont récoltées à une teneur en humidité relativement faible et comprennent des composants stables (**Evers, 1999**). Le blé constitue l'une des cultures clés de l'agriculture mondiale.

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. La consommation des produits céréaliers se situe à un niveau d'environ 205kg/hab/an, elles fournissent plus de 60% de l'apport calorifique et 75 à 80% de l'apport protéique de la ration alimentaire (**Djermoun, 2009**).

I.2. Principales céréales cultivées

Les principales familles botaniques associées aux céréales et consommées dans le monde sont les *graminées* ou *poacée* (blés tendres, durs), seigle, triticale, riz, orge, avoine, maïs, sorgho et les *polygonacées* (sarrasin ou blé noir) (**Jeantet et al., 2007**).

I.2.1. L'avoine

Les graines d'avoine sont très longues et bien caractéristiques de cette graminée donnent un rendement de 40 à 55% de farine

Les gruaux d'avoine proviennent de la mouture d'une céréale particulière, l'*Avena sativa L.*, utilisée dans la préparation des bouilles et la confection des biscuits. La majorité de l'avoine produite au Canada est destinée à l'alimentation animale (**Boudreau et Ménard, 1992**).

I.2.2. L'orge

L'orge est une plante annuelle au cycle végétatif court. C'est la céréale qui s'adapte aux différents climats ; elle est très résistante au froid, au manque d'eau et à la pauvreté des sols. La hauteur de la

plante varie de 0,3m à 1,2m selon la variété et les conditions de culture. Les pays les plus producteurs d'orge sont la Russie, l'Allemagne, la France.

L'orge est utilisée pour l'alimentation, la brasserie et la production d'alcool avec seulement environ 2% pour la nourriture humaine (**Haard et al., 1999**).

I.2.3. Le maïs

Le grain de maïs provient d'une céréale, la *zea Mays L.*, qui appartient à la famille des graminées. Le maïs s'est répandu partout aux États-Unis et à la frontière canado-américaine. La plus grande partie du maïs produit au Canada sert à l'alimentation animale (*mays vulgare dente* ou maïs normal), tandis que le tiers environ de la production est utilisée pour l'alimentation humaine (**Boudreau et Ménard, 1992**).

I.2.4. Le seigle

Le seigle (*Secale cereale*), parmi les céréales les moins exigeantes, il était cultivé dans les régions aux sols pauvres et/ou au climat rude. Aujourd'hui, sa culture est limitée, mais l'Allemagne et l'Europe de l'Est ont conservé une forte tradition de pain de seigle (**Roudaut et Lefrancq, 2005**).

I.2.5. Le sorgho

Le sorgho (*Sorghom sp*) restera la culture vivrière dans plusieurs pays, surtout en Afrique. Le Nigéria et le Soudan sont les principaux pays producteurs de sorgho sur ce continent : leur production représente environ 63% du total pour l'Afrique. Cette céréale sera utilisée pour les aliments traditionnels ainsi que pour des aliments nouveaux (**FAO, 1995**).

I.2.6. Le riz

Le riz (*Oryza sativa L.*) est une graminée annuelle semi-aquatique. Appartenant à la famille des oryzées qui comporte une vingtaine d'espèces différentes. C'est la principale ressource alimentaire des régions les plus déshéritées du monde (Asie, Amérique latine et Madagascar) (**Fredot, 2005 et Bienvendio, 1994**).

I.2.7. Le blé

I.2.7.1. Description et origine

Le blé est une monocotylédone de la famille des Graminées appartenant au genre *Triticum*. C'est une plante annuelle mesurant de 0,6 à 1,2 m de hauteur, selon les variétés, le degré d'humidité, la fertilité du sol et le temps d'ensoleillement. Elle produit un fruit sec indéhiscant, le caryopse de forme ovale plus ou moins bombé, il est orné d'un profond sillon longitudinal. L'extrémité

supérieure porte une barbe de petits poils et l'extrémité inférieure, un germe minuscule, l'embryon (**Fortin, 1996**).

Il existe deux grandes espèces de blé : le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*), qui sont les plus cultivées dans le monde (**Feillet, 2000**).

Tableau 01. Comparaison entre le blé dur et le blé tendre (**Doumandji, 2003**)

Caractères	Blé tendre	Blé dur
Aspect génétique	3génomés A, B et D $2n=42=3 \cdot (2 \cdot 7)$	2 génomes A et B $2n=28=2 \cdot (2 \cdot 7)$
Prédominance	De l'amidon	Des protéines
Aspect de la plante	Feuillet très étroits, Maturation très rapide	Feuilles large, maturation très longue, moisson tardive, exigeante du point de vue sol et climat
Forme	Texture opaque, structure de l'amande farineuse	Texture vitreuse

I.2.7.2. Composition histologique et biochimique du grain de blé

A. Composition histologique

La constitution histologique d'un grain de céréales et la composition des différents tissus sont illustrées dans le cas du blé dans la figure 01.

Un grain de blé est formé de trois régions principales : l'enveloppe, l'albumen et le germe.

- ✓ **L'enveloppe (L'écorce)**, Elle représente environ 17% du poids du grain (**Fredot, 2005**)
Contient des quantités importantes de fibre non cellulosique (32.7%) et de cellulose (8%).
Elle est riche, en protéines, vitamine et en minéraux (**Fortin, 1996**). Elle est constituée de plusieurs couches :

- Le péricarpe : c'est une enveloppe avec des cellules dont la membrane est épaisse et dont l'utilisation digestive est médiocre (car elle contient de la cellulose et de la lignine).
- Tégument séminal (testa) : il contient les colorants du grain qui lui donnent sa couleur jaune marron.

- L'assise protéique ou couche à aleurone qui est riche en protéines, vitamines, minéraux, lipides, cellulose et lignine (**Fredot, 2005**).

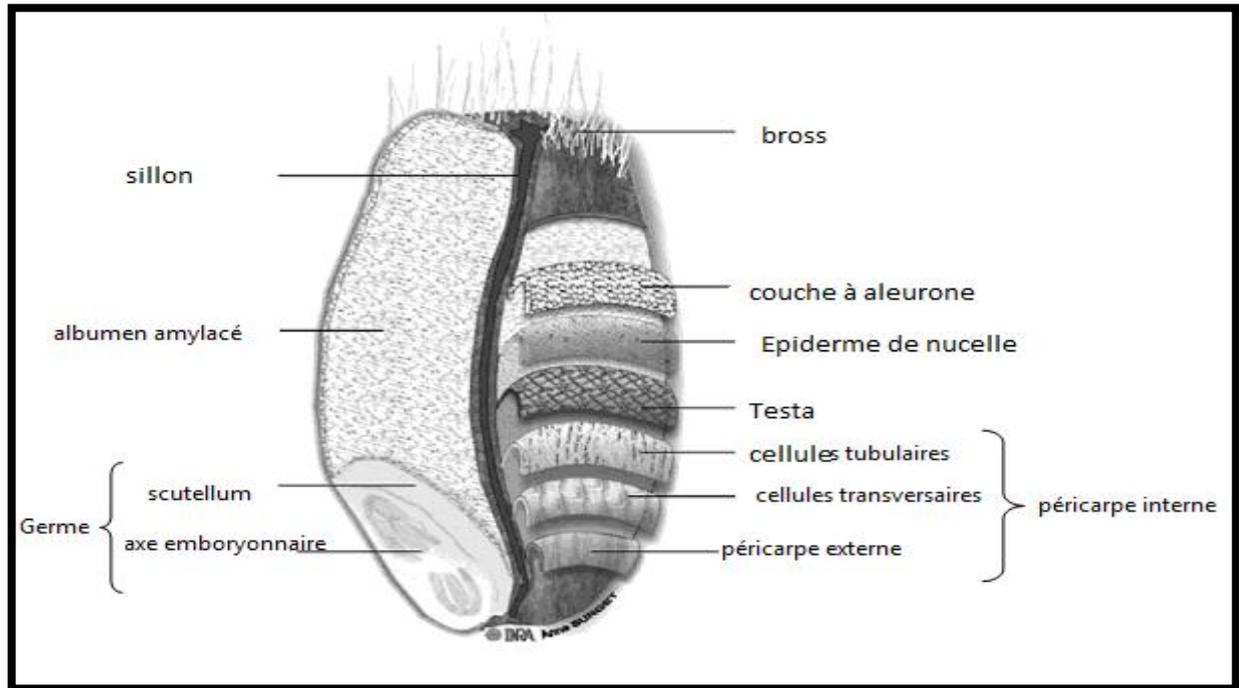


Figure 01. La composition histologie du grain de blé (**Watson et al., 2014**)

- ✓ **L'albumen**, constitué de l'albumen amylicé (au sein duquel subsistent des cellules remplies de granules d'amidon dispersées au milieu d'une matrice protéique et dont les parois celluloses sont peu visibles) et de la couche à aleurone (80-85% du grain) (**Feillet, 2000**).
- ✓ **Le germe** (3%), composé d'un embryon et du scutellum (**Feillet, 2000**), il est situé dans la partie inférieure du grain, c'est le germe de vie (**Fortin, 1996**), il est riche en protéines (25%) et en lipides (8-13%). Le germe de blé est disponible en tant qu'entité distincte car c'est une source importante de vitamine E, il ne contient que la moitié de la glutamine et de la proline de la farine (**Cauvain, 2003**).

B. Composition biochimique

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

1. Les protéines

Le grain de blé contient entre 10 et 15% des protéines selon la variété les protéines du blé sont divisées en deux types: les protéines de structure et de fonction (environ 20% des protéines totales) constituées par l'albumines et globulines, et les protéines de réserve (80%) appelées prolamines ou gluten (**Battais et al., 2007**).

2. Les lipides

Les composés lipidiques de grain de blé sont répartis inégalement dans les différentes parties de grain. Le tiers de la fraction lipidique total est situé dans le germe. Plus de 20 classes de lipides existent dans le grain de blé et peuvent être divisées en deux groupes, les lipides polaires et non polaires. Les triglycérides sont les principaux lipides non polaires qui représentent la majeure partie des lipides liés. Les glycolipides et les phospholipides constituent l'essentiel des lipides libres et qui représentent la plus grande part des lipides polaires de l'albumen amylicé (82%). Les restes sont principalement des mono et des diglycérides, des esters, de stérols et des acides gras libres (**Feillet, 2000**).

3. Les glucides

Un grain de blé est dominé par les glucides, qui constituent approximativement 70% de la masse totale du grain. Presque tous ces glucides sont présents sous forme d'amidon, avec le reste (moins de 3%) comprenant du saccharose, du fructose et d'autres sucres moins abondants.

L'amidon de blé est constitué de deux fractions principales, l'amylose et l'amylopectine, qui représentent respectivement environ 25 et 75% de la masse totale de l'amidon. L'amylose est un polymère essentiellement linéaire d' α -D glucose 1-4 lié. L'amylopectine est beaucoup plus grande et plus branchée, avec des molécules individuelles qui composent des dizaines de milliers de glucose (**Emilio et Gustavo, 1999**).

4. Les fibres (Glucides non assimilables)

Le grain de blé contient 9.5% des fibres alimentaires végétales (FAV). Elles se trouvent principalement dans l'enveloppe qui est riche en fibres insolubles : lignine, cellulose et hémicellulose d'où l'intérêt diététique des pains complets, du son et des pains dans la régulation du transit intestinal ainsi que dans la prévention du cancer du côlon (**Fredot, 2005**).

5. La matière minérale

Le grain de blé comprend également 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 possèdent les teneurs les plus élevées parmi les matières minérales contenues dans le blé. Le soufre a une certaine importance du fait qu'il entre dans la composition de certains acides aminés comme la méthionine et la cystéine (**Doumandji et al., 2003**).

6. Les enzymes

Les enzymes de toute plante sont vitales pour la synthèse de nourriture pour la plante et sa croissance. Dans le cas du blé, la plante mature fournit des aliments nourrissants pour les humains et les animaux et constitue une source d'énergie renouvelable. Les enzymes dans le blé sont d'une certaine importance pour la performance de la farine dans la fabrication du pain, en particulier les amylases (Cauvain, 2003).

Tableau01. Les différents enzymes de blé (Feillet, 2000).

Enzyme	Localisation	Réaction catalysée	Fonction
α amylase (endo-enzyme)	Son	Hydrolyse les liaisons glucosidiques α -(1-4)	Liquéfaction de l'amidon gélatinisé
B amylase (exo-enzyme)	Son	Hydrolyse les liaisons glycosidiques α -(1-4)	Saccharification
Pentosane	Albumen	Hydrolyse les pentosanes solubles et insolubles	Modification de la capacité d'absorption d'eau des pâtes
Lipase	Couche à aleurone	Hydrolyse les triglycérides	Libération d'AG et augmentation de l'acidité grasse des farines
Lipoxygénase	Germe	Oxyde les AG libres et dégrade les caroténoïdes	Le blanchiment de la mie et la formation de composés volatiles
Protéases	Couche à aleurone	Hydrolyse la liaison peptidique	Affaiblissement du réseau protéique par interaction avec les pentosanes.
Polyphénoloxydase	Son	Oxydation des phénols	Affaiblissement du réseau protéique par interaction avec les pentosanes.

7. Les vitamines

Les céréales sont considérées comme de bonnes sources de la plupart des vitamines de la famille B (sauf B12) et de vitamine E (**Saulnier, 2012**).

Les vitamines B (B1, B2, B3, B6, B9) sont essentiellement des vitamines hydrosolubles et qui sont inégalement réparties dans le grain. La vitamine E est la seule vitamine liposoluble dans le grain de blé avec 2,5mg/g. Elle se trouve essentiellement dans le germe car c'est à cet endroit que l'on trouve le plus de lipides (**Fredot, 2005**).

8. L'eau

Le grain de blé est constitué de 13,5% d'eau, cette faible teneur lui permet d'être stocké longtemps en évitant ainsi le développement des micro-organismes en particulier de moisissures (**Fredot, 2005**).

I.2.7.3. L'utilisation du blé

La majorité des utilisations du blé concerne l'alimentation humaine et animale. Dans l'alimentation humaine, le blé dur est destiné à la biscuiterie, la fabrication de semoule, ou de pâtes. Le blé tendre quant à lui est utilisé principalement en meunerie pour obtenir de la farine nécessaire à la production de pain et de pâtisseries (**Doumandji et al., 2003**).

Dans l'alimentation animales l'utilisation de blé est prédominante dans les pays industrialisés, son utilisation permet la valorisation des sous-produit tels que le son et remoulages consommé sous formes de poudre ou de granules (**Delphine, 2006**).

L'utilisation de blé ne se limite pas pour la production alimentaire, depuis quelques années ils apparaissent des nouvelles utilisations à l'échelle industrielle telles que la fabrication de bioplastiques à base de gluten ou d'amidon (**Planchot et Rossignol, 2010**).

Chapitre II : Méthodes de stockage de blé

II.1. Le stockage du blé

Le stockage constitue la phase essentielle du système après récolte qui sépare la récolte des produits de leur utilisation pour la consommation directe ou la première transformation. Le stockage des grains joue un rôle important notamment dans les pays en développement (**Cruz et Diop, 1989**).

II.1.1. Stockage traditionnel de blé

II.1.1.1. Stockage traditionnel en Algérie (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 un endroit surélevé ou proche de la ferme. C'est ce qu'on appelle « Le matmour » (Figure 01) (**Djermoun, 2009**).

L'utilisation des entrepôts souterrains pour le stockage des grains est une pratique traditionnelle, très ancienne qui nécessite des matériaux peu coûteux pour la construction et protège le grain stocké contre les fluctuations de la température extérieure. Le stockage souterrain est particulièrement utilisé pour son herméticité, qui permet dans certaines mesures, le contrôle des insectes grâce à la réduction du niveau d'oxygène dans l'entrepôt.

Plusieurs facteurs entrent en interaction pour déterminer l'état de conservation des grains stockés. Les principaux facteurs sont l'humidité du grain, sa température et la composition des gaz dans l'entrepôt. Un bon entreposage consistera donc à maintenir un ou plusieurs de ces facteurs à un niveau qui empêche ou tout au moins ralentit le processus de détérioration de la matière stockée (**Bartali et al., 1989**).

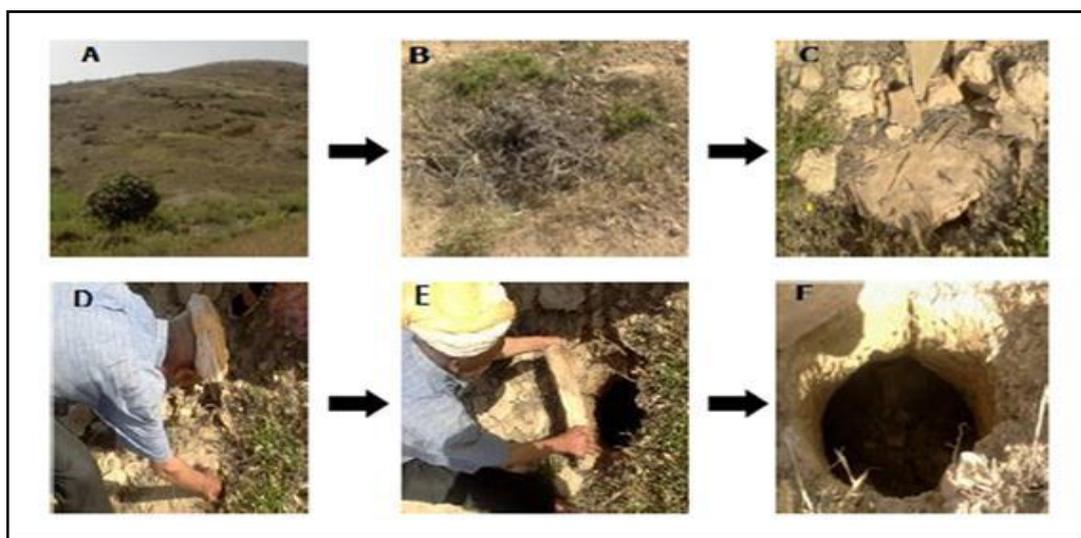


Figure 02. Photo d'un Matmour (**Mokhtari, 2016**)

II.1.1.2. Stockage dans les greniers

Les greniers traditionnels en tige de bambou où les grains sont conservés en épis ou en vrac. Ils sont généralement surélevés pour éviter l'attaque des rongeurs. L'infestation par les insectes est fréquente. Ces greniers ont généralement une forme cylindrique avec un chapeau au-dessus. On les retrouvait très souvent au milieu des champs. Maintenant ils sont situés soit à côté ou dans les concessions mêmes. Dans tous les cas on peut dire que ces greniers n'assurent pas une bonne protection phytosanitaire (Hoogland et Holen, 2005).

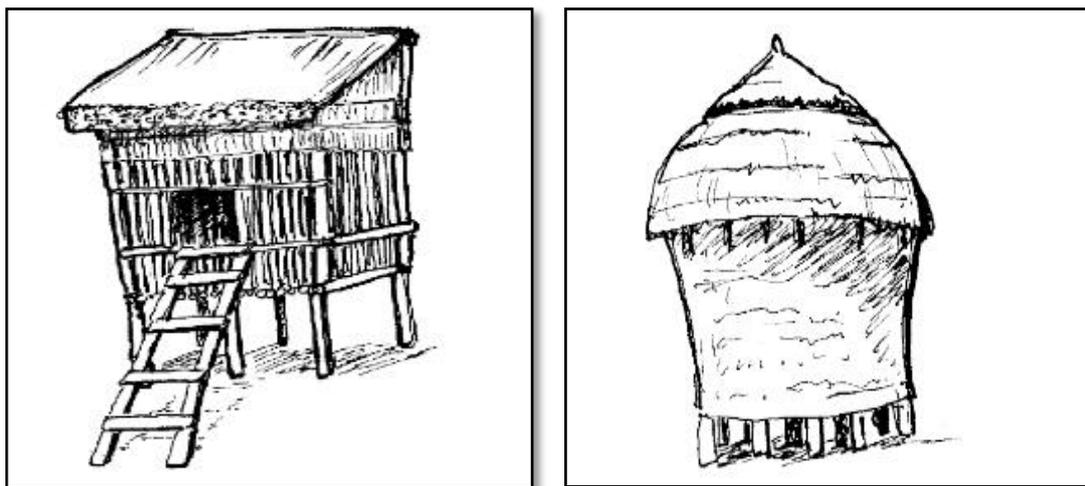


Figure 03. Un grenier (Hoogland et Holen, 2005)

II.1.1.3. Stockage en gerbes

C'est la méthode traditionnelle appliquée depuis le haut Moyen Age au moins dans presque toute l'Europe non méditerranéenne. On peut entasser les gerbes en plein air (gerbiers, meules), mais cette variante semble plutôt récente du 18ème siècle, l'usage le plus courant étant le stockage en grange, laquelle abrite aussi l'aire à battre au fléau. En gerbes, le grain est à l'abri de l'échauffement et du charançon (Multon, 1982).

II.1.2. Stockage moderne

II.1.2.1. Stockage en vrac

Dans ce cas, les grains en tas sont laissés à l'aire libre dans des hangars ouverts à charpente métallique. 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 le libre passage des souris, des rats, des moineaux, des tourterelles, des pigeons et des insectes 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.2.2. Stockage en sac

Le stockage en sac est presque disparu dans les pays développés et très largement utilisé dans les pays en développement. Au niveau des structures, elle exige un investissement plus faible que le stockage en vrac et elle peut s'adapter à l'utilisation de bâtiments existant. Les structures de stockage en sacs permettent la protection des grains contre les différents facteurs de détérioration telle que la température, l'humidité et l'entrée des différents déprédateurs des stocks (**Cruz et Diop, 1989**).

II.1.2.3. Stockage en silos

Les silos sont des enceintes cylindriques en béton armé ou en métal. 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 (**Doumandji et al., 2003**).

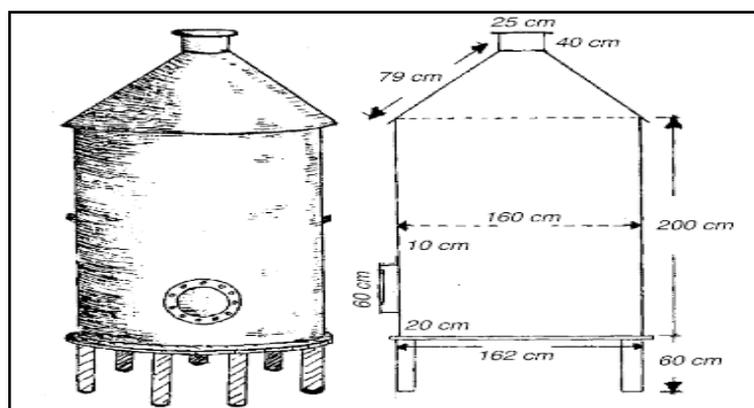


Figure 04. Silos métalliques (Hayma, 2004)

II.2. Les facteurs d'altérations des grains au cours de stockage

Au cour de stockage, les altérations des grains peuvent être d'origine physique, chimique et biologique. Des précautions doivent être prises pendant la manutention des grains pour éviter des chocs susceptibles de provoquer des fissures et des brisures (**Feillet, 2000**).

II.2.1. Les facteurs mécaniques et physicochimiques

Les altérations d'origine mécanique sont dues à des chocs entraînant la fissure, voir la cassure des grains (**Boudreau et Ménard, 1992**). Les grains brisés sont plus facilement attaqués par les moisissures et les insectes et constituent pour les stocks des foyers d'infestation privilégiés (**Cruz et Diop, 1989**).

La température et l'humidité contribuent de façon déterminante à accélérer ou à retarder les phénomènes complexes de transformation, elles sont les facteurs de dégradation les plus importants

car elles favorisent le phénomène de respiration des grains ce qui provoque la détérioration de la matière première (Lucia et Assennato, 1992).

Les altérations chimiques des grains sont peut fréquentes, liées à des conditions de stockage particulièrement agressives (élévation très importante de la température des grains). La réaction de Maillard (le brunissement non enzymatique) est l'un de celles-ci, aboutit à une dénaturation de certaines protéines et la destruction des vitamines (vitamine B1), et dans le cas ultime à une atteinte de l'intégrité des granules d'amidon. En général, les activités enzymatiques ne commencent se manifester que pour les activités de l'eau supérieure à 0.75 (Feillet, 2000).

II.2.2. Altérations d'origine biologique

II.2.2.1. Les insectes

Pour rester en vie, les insectes ont besoin de nourriture, d'air et d'eau. Les céréales stockées fournissent très souvent un endroit idéal pour le séjour et le développement des insectes car la nourriture, l'air et l'eau trouvent en quantités suffisantes. C'est pourquoi certaines espèces d'insectes infestent les céréales stockées (Groot, 2004).

II.2.2.2. Les rongeurs

Les rongeurs prédateurs des stocks des céréales sont le rat gris ou surmulot (*Rattus norvegicus*), le rat noir (*Rattus rattus*) et la souris (*Mus musculus*). Ces rongeurs, qui vivent pratiquement sous tous les climats, se nourrissent aux dépens des hommes et sont à l'origine de pertes importantes dans les greniers et les magasins de stockage (Cruz et al., 2016).

II.2.2.3. Altérations d'origine microbienne

A. Bactéries

La contamination de blé par les bactéries provient essentiellement des flores du sol, elles appartiennent à la famille des *Pseudomonadaceae* (*Pseudomonas*), *Xanthomonadaceae* (*Xanthomonas*), *Enterobacteriaceae*, *Lactobacillaceae*, *Bacillaceae*, etc. Les grains ne constituent pas un milieu favorable pour les germes pathogènes ou toxigènes comme *Salmonella*, *Clostridium* ou *Staphylococcus*. À la récolte, les produits céréaliers sont toujours faiblement contaminés par les *Streptomycetaceae*, microorganismes que l'on connaît surtout pour leur aptitude à produire des antibiotiques, et dont les principaux représentants sur grains semblent être : *Streptomyces albus* (Cahagnier, 1996).

B. Moisissures

Il existe de nombreuses espèces de moisissures et les spécialistes distinguent généralement entre la parcelle cultivée et le silo, une flore du champ, une flore intermédiaire et enfin une flore de stockage dont les espèces les plus caractéristiques sont les *Aspergillus sp.* Et les *Penicilliums sp.* Les espèces de moisissures xérotolérantes se développent dès que l'humidité relative de l'air dépasse 65% mais la plupart des espèces préfèrent une humidité supérieure à 85%. Enfin les moisissures sont réputées aérobies mêmes si certaines espèces se contentent de traces d'oxygène et si d'autres résistent à l'anaérobiose. Par leur respiration, elles sont les principales responsables de l'échauffement des stocks de grains insuffisamment séchés (**Champion, 1997**).

Chapitre III : Modification biochimique du blé par la fermentation

III.1. La fermentation des céréales

La fermentation des aliments est l'un des processus biotechnologiques les plus anciens qui jouent un rôle important dans l'enrichissement et l'amélioration des aliments. Différents types d'aliments fermentés ont été préparés et consommés pendant des milliers d'années et ces aliments sont meilleurs que les aliments cuits normaux en termes de nutrition et de digestibilité (**Kumari et al., 2015**).

Parmi les fermentations alimentaires (par exemple le lait, la viande, le poisson, le soja ou le vin) la fermentation des céréales atteint le volume le plus élevé. Elles proviennent essentiellement de maïs, de sorgho, de mil, de riz ou de blé (**Kumari et al., 2015**). Ces aliments, sont soumis à l'action des microorganismes et/ou des enzymes pour donner des changements biochimiques désirables et des modifications significatives de la qualité des aliments (**Osungbaro, 2009**). En termes de texture, les céréales fermentées sont soit des liquides (bouillies) ou solides. Les bouillies de céréales fermentées sont l'ogi et le mawé qui sont préparées à partir du maïs, du mil ou du sorgho. Les céréales fermentées solides sont le kenkey et le banku (**Osungbaro, 2009**). Des bactéries lactiques, des levures et des moisissures ont été identifiées comme les principaux micro-organismes se développant au cours de la fermentation (**Yao et al., 2009**).

Les bactéries lactiques du genre : *Lactobacillus*, *Streptococcus* et *Pediococcus* sont des bactéries courantes associées aux fermentations céréalières. Les souches natives de *Saccharomyces cerevisiae* sont la principale levure de la plupart des fermentations de pain, mais d'autres levures non *Saccharomyces* sont également significatives dans de nombreuses fermentations de céréales incluant *Candida*, *Debaryomyces*, *Hansenula*, *Pichia*, *Trichosporon*, etc (**Tamang et al., 2016**).

Les champignons filamenteux dans les aliments fermentés à base de céréales sont relativement limités et ne semblent pas avoir un rôle important dans le processus de fermentation. Ils sont surtout présents dans les aliments et les boissons fermentés asiatiques traditionnels. Les espèces rapportées appartiennent aux genres *Aspergillus*, *Mucor* et *Rhizopus* (**Tamang, 2010**).

La composition et la diversité du microbiote des céréales fermentées dépendent principalement de l'environnement (végétaux, animaux et ustensiles de fabrication, entres autres) et de l'adaptation des microorganismes aux conditions de fermentation (Substrats, températures, pH, activité de l'eau) (**Jesperse, 2003 et Tamang, 2010**).

III.2. Impact de la fermentation sur les caractères biochimiques de blé

Pendant le stockage de blé, de nombreux changements biochimiques peuvent modifier ou abaisser la valeur nutritionnelle du produit stocké en changeant les glucides, les protéines, les lipides et les vitamines (Udayakumar, 2009).

III.2.1. Action sur les principales substances

III.2.1.1. Dégradation des glucides

Les microorganismes fermenteurs sont capables de dégrader les polymères glucidiques digestibles, y compris l'amidon et différents types de fibres, en mono et oligosaccharides (Mehta et al., 2012).

La dégradation de la cellulose est assez rare et se limite à quelques moisissures et bactéries. L'amidon est hydrolysé par l'action d'amylases présentes dans les grains et l'amylase fongique et quelques bactéries et levures, cette dégradation fait intervenir des types d'enzymes selon l'espèce : L'alpha-amylase a une action endomoléculaire conduisant à la formation de maltose et d'une petite quantité de maltodextrine (*Bacillus*, nombreuses moisissures, quelques Levures), gluco-amylase qui libère des unités glucose à partir des extrémités non réductrices des polymères (moisissures, levures et des bactéries) et la β -amylase qui a une action de type exomoléculaire donnant du maltose et des dextrines (*Bacillus*, levures et bactéries) (Guiraud, 2003).

III.2.1.2. Dégradation des protéines

Les levures et bactéries fermentatives utilisent leurs activités enzymatiques en plus des enzymes endogènes disponibles pour induire plusieurs changements dans les matières premières céréalières fermentées. Le changement dans la fermentation du levain induit par le pH peut catalyser l'action de certaines enzymes comme les protéases céréalières dégradant la prolamine endogène et améliorer l'hydrolyse des gliadines, gluténines, glutamines, globulines.

Les diverses activités protéolytiques par fermentation hydrolysent les protéines pour produire des acides aminés libres, qui agissent comme précurseurs de saveur, tandis que la fermentation bactérienne augmente les teneurs en acides aminés libres dans la pâte, les levures consomment des acides aminés libres pour leur propre métabolisme (Mehta et al., 2012). Les espèces protéolytiques les plus connues sont les *Bacillus*, les *Proteus*, les *Streptomyces*, etc (Guiraud, 2003).

III.2.1.3. Dégradation des lipides

Les lipides des grains et notamment les triglycérides sont hydrolysés en glycérol et acides gras, grâce à des enzymes exo ou endocellulaires appelées lipases, que l'on rencontre chez les moisissures (*Rhizopus*, *Aspergillus*, *Geotrichum*, *Penicillium*), des levures (*Candida*, *Pichia*) et certaines bactéries (*Bacillus*). Les acides gras sont dégradés chez les microorganismes aérobies et

aéro-anaérobies par la β - oxydation (**Guiraud, 2003**). L'évolution de l'acidité grasse est l'une des manifestations les plus sensibles des modifications biochimiques que subissent le blé au cours du stockage (**Feillet, 2000**).

Etude expérimentale

I. Matériel et méthodes

Notre travail a été réalisé au niveau des laboratoires du département de Microbiologie Appliquée et des Sciences Alimentaires de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, de l'université de Jijel, pendant la période **Avril-Mai-juin** de l'année **2017/2018**.

I.1. Matériel

I.1.1. Matériel biologique

Un échantillon de blé dur non fermenté (témoin) et trois échantillons fermentés traditionnellement dans le Matmour prélevés de la région de Mila (BM3, BM4 et BM7) ont fait l'objet de la présente étude.



Figure 05. Aspect des échantillons du blé fermenté et non fermenté

I.1.2. Produits chimiques et réactifs

Les produits chimiques et les réactifs utilisés au cours de notre travail sont les suivants:

- ✓ **Acides** : Acide gallique, acide chlorhydrique (1N), acide nitrique.
- ✓ **Alcools** : Méthanol, éthanol.
- ✓ **Sels et autres** : Iodure de potassium, Chlorure d'aluminium, solution de NaOH (hydroxyde de sodium), hydroxyde de potassium, bicarbonate de sodium (Na_2CO_3), tampon phosphate, Ferricyanure de potassium, acide trichloracétique, chlorure-ferrique.
- ✓ **Colorants et autres** : Folin-Ciocalteu, phénol-phtaléine.

I.1.3. 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 flore aérobie mésophile (FTAM).
- ✓ Gélose VRBG (Gélose Glucosée Biliée au Cristal Violet et au Rouge Neutre) pour le dénombrement des entérobactéries.
- ✓ Gélose VRBL pour le dénombrement des Coliformes Totaux (CT) et Coliformes Thermo-Tolérants (CTT).
- ✓ Gélose MRS (Man-Rogosa-Sharpe) pour le dénombrement des bactéries lactiques.
- ✓ Gélose Sabouraud pour le dénombrement des levures et moisissures.

I.1.4. Appareillages

Les appareillages utilisés lors de ce travail sont les suivants :

- ✓ Balance (Denver), balance analytique (Kernals 220.4N).
- ✓ Bain Marie (Mettler).
- ✓ Agitateur électrique menu d'un barreau magnétique, agitateur vortex.
- ✓ Micropipettes (Microlit)
- ✓ pH-mètre.
- ✓ Mortier et pilon.
- ✓ Autoclave (Shiavax Electronic), plaque chauffante, four moufle, four Pasteur (Control).
- ✓ Etuves (Mettler).
- ✓ Absorption atomique avec flamme.
- ✓ Réfrigérateur.

I.2. Méthodes

Les trois échantillons de blé fermenté, BM3, BM4, BM7, et le blé non fermenté (témoin) ont fait l'objet :

- D'une analyse physico-chimique des grains.
- D'une analyse nutritionnelle.
- Enfin, une analyse microbiologique.

I.2.1. Evaluation de la qualité physicochimique des échantillons du blé fermenté et témoin

I.2.1.1. Poids de 1000 grains.

C'est un critère ayant un grand intérêt dans les expérimentations agronomiques. 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:

$$\text{Poids de 1000 grains (g)} : [10.p (100 -H)] /N$$

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 à l'hectolitre, appelée aussi poids à l'hectolitre ou poids spécifique (PS), est la masse d'un hectolitre de grain exprimée en Kilogrammes. Le volume de l'hectolitre est égale 100 litres, donc pour déterminer la masse de 1 hectolitre il s'agit de peser la masse de 100 litres (**Godon et Loisel, 1997**).

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**).

Pour la détermination du taux d'impuretés, 30g de chaque échantillon ont été pesées, les impuretés sont éliminées puis pesées (**Mauze et al., 1972**)

Le taux d'impuretés est déterminé par la formule suivante :

$$M (\%) = (m1/m) \times 100$$

Où :

m : poids de blé fermenté

m1 : poids des impuretés

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 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 échantillon 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. Détermination de la teneur en eau et en 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 ± 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**).

$$\text{La teneur en eau (\%)} = (M_0 - M_1 / M_0) \times 100$$

M_0 : Masse en g de la prise d'essai avant séchage

M_1 : Masse en g 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 :

$$\text{MS (\%)} = 100 - (\text{H\%})$$

Où :

H% est la teneur en eau

I.2.1.6. 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 broyé. Après une heure de repos avec une agitation continue, la mesure du pH est réalisée à l'aide du pH-mètre (**Gacem et al., 2011**).

I.2.1.7. 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 liquide ont été titrés en présence de 5 gouttes de phénol phtaléine avec une solution de NaOH à 0.05 N jusqu'au virage au rose pâle persistant quelques secondes. En parallèle, un essai à blanc a été effectué dans les mêmes conditions (**JORA, 2013**). L'acidité grasse a été déterminée selon la formule suivante :

$$\text{AG} = 7.35 \times (V_1 - V_0) / m \times 100 / 100 - H$$

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.2.1.8. Détermination des taux de la matière minérale et organique

Le dosage des cendres est basé sur la destruction de toute matière organique sous l'effet de la température élevée. Les cendres sont exprimées en pourcentage en masse. Ils sont le résidu de composés minéraux qui restent après incinération de 5g d'un échantillon contenant des substances organiques à 500°C pendant 5heurs (JORA, 2013).

$$\text{MM (\%)} : \text{Ri} \times 100 \text{ P} \times 100 / (100 - \text{H})$$

Où :

Ri : résidu après incinération

P : prise d'essai en g

H : humidité (%)

La différence entre la matière sèche et la masse de cendres (matière minérale) correspond à la masse de la matière organique (MO). Le taux de la matière organique dans un échantillon peut donc être donné par la différence :

$$\text{MO (\%)} = \text{MS (\%)} - \text{MM (\%)}$$

I.2.2. Evaluation de la qualité nutritionnelle des échantillons du blé

I.2.2.1. Dosage de l'amidon, l'amylose et l'amylopectine

L'extraction et le dosage de l'amidon a été réalisée selon la méthode de **Lecoq (1965)**. A environ 0.1 g de blé bien broyée, 5 ml de KOH 1N ont été ajoutés. Le mélange a été neutralisé avec 5 ml de HCl 1N, puis mis à l'ébullition dans un bain- Marie (100°C) pendant 15 min et réajusté à 10 ml. Après centrifugation, 0.05 ml du surnageant ont été prélevés et mélangés avec 4.85 ml H₂O et 0.1 ml de réactif I₂KI, après incubation pendant 10 min, les absorbances ont été lues à 720 nm pour l'amidon et 580 nm pour l'amylose. La courbe d'étalonnage a été réalisée en utilisant l'amidon.

I.2.2.2. Dosage des éléments minéraux

Des cendres claires de blé fermenté broyé ont été humectées par 2 ml d'eau distillé 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 distillé 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 et Zn par spectrophotométrie d'absorption atomique à flamme (AFNOR NFV 05-113,1972).

II.2.3. Extraction et dosage des composés antioxydants

I.2.3.1. Préparation de l'extrait brut

Une quantité de 1g de la poudre des graines de blé est mise à macérer dans 20 ml d'eau distillée à un rapport de 1/2 (P/V), pendant 10 min à température ambiante. L'extrait aqueux est récupéré dans un premier temps après filtration du mélange à l'aide d'un papier filtre, permettant ainsi d'obtenir un extrait caractérisé par une couleur jaune, qui est considéré comme étant l'extrait brut (Talbi et al., 2015).

I.2.3.2. Dosage des phénols totaux

La teneur totale en composés phénoliques a été déterminée par la méthode d'Othman et al. (2007). Après l'extraction de l'échantillon dans l'eau distillée, 0,2 ml de surnageant ont été mélangés avec 1,5 ml de réactif Folin-Ciocalteu, et laissés reposer à température ambiante pendant 5 minutes; puis 1,5 ml de solution de bicarbonate de sodium Na_2CO_3 ont été ajoutés au mélange. Après 90 min, l'absorbance a été lue à 725 nm en se référant à une courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique dans les mêmes conditions. La teneur moyenne en polyphénols a été exprimée, en milligrammes équivalent acide gallique par gramme d'extrait brut (mg EAG/g EB).

I.2.3.3. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes dans les extraits a été déterminée par spectrophotométrie, en utilisant une méthode basée sur la formation d'un complexe flavonoïde-aluminium, ayant le maximum d'absorbance à 430 nm. 1.5 ml de chaque extrais ont été additionnés de 1.5 ml de solution méthanolique de chlorure d'aluminium (2%). Après incubation à température ambiante pendant 30 min, l'absorbance du mélange réactionnel a été mesurée à 430 nm.

Une courbe d'étalonnage a été réalisée en utilisant la quercétine comme standard. La teneur moyenne en flavonoïdes est exprimée en milligrammes équivalent quercétine par gramme d'extrait brut (mg EQ/g EB) (**Djeridane et al., 2006**).

I.2.3.4. Activité anti-radicalaire du radical DPPH

Selon **Mansouri et al. (2005)** : 100 µl de concentration différente de chaque extrait sont additionnés de 3ml de la solution méthanolique du DPPH (0.004%). Après agitation par un vortex, les tubes sont placés à l'obscurité à température ambiante pendant 30 minutes. La lecture est effectuée par la mesure de l'absorbance à 517 nm. L'activité anti-radicalaire est donnée par la relation suivante :

$$\text{Activité anti-radicalaire (\%)} = (A-B) / A.100$$

Où:

A : densité optique lue pour le blanc

B : densité optique lue pour l'extrait

I.2.3.5. Pouvoir réducteur du fer

Un volume de 1 ml de l'extrait, est ajouté à 2,5 ml de tampon phosphate (pH 6.6, 0.2 M), suivi de 2,5 ml de ferricyanure de potassium $[K_3Fe(CN)_6]$ à 1%. Après agitation, le mélange est soumis à l'incubation dans un bain marie à 50°C pendant 20 min. 2,5 ml d'acide trichloracétique à 10% sont additionnés au mélange réactionnel. Par la suite, un volume de 2,5 ml est ajouté à 2,5 ml d'eau distillée, puis 0,5 ml de chlorure ferrique à 0,1% ont été ajoutés au mélange. Les absorbances sont mesurées à 700 nm (**Bourgou et al., 2008**).

I.2.3.6. Piégeage du peroxyde d'hydrogène:

Une des méthodes les plus communes pour évaluer la capacité du piégeage du peroxyde d'hydrogène est fondée sur l'absorption de cette molécule dans le domaine de l'UV.

2,5 ml de l'extrait brut (extrait aqueux) préparés dans une solution tampon phosphate à 0,1 M (pH 7,4) sont mélangés avec 1.5ml d'une solution de peroxyde d'hydrogène à 40 µM (préparée dans le même tampon phosphate). La réaction des échantillons avec le peroxyde d'hydrogène est suivie à l'aide d'un spectrophotomètre à 230 nm pendant 40 minutes, à 10 minutes d'intervalle (**Ruch et al., 1989**).

Les résultats sont exprimés en pourcentage d'inhibition selon la formule suivante :

$$\text{Pourcentage du piégeage du } H_2O_2 = [(AC - AT) / AC] \times 100$$

AC : absorbance du contrôle.

AT : absorbance du test.

I.2.4. Evaluation de la qualité microbiologique du blé fermenté

I.2.4.1. Préparation de la solution mère et des dilutions

10 g de blé fermenté ont été homogénéisés dans 90 ml d'eau physiologique stérile, la solution a été laissée en contact et au repos pendant 30 min, des dilutions décimales jusqu'à 10^{-6} ont été préparées (**Joffine et Joffine, 1999**).

I.2.4.2. Dénombrement de la FTAM

Le dénombrement de la flore totale mésophile est effectué sur le milieu PCA. Les encensements ont été réalisés en étalant en masse 1ml de la dilution 10^{-6} de la gélose PCA préalablement coulé et solidifié. L'incubation est effectuée à 37°C pendant 24h. On dénombre toute les colonies lenticulaires (**Guiraud et Rosec, 2004**).

I.2.4.3. Recherche des entérobactéries.

Le dénombrement s'est effectué sur le milieu VRBG. L'ensemencement a été fait en profondeur en déposant au fond de chaque boîte de Pétri 1 ml de la dilution 10^{-6} , puis la gélose VRBG fondue et refroidie à 45°C a été coulée. Après solidification, une deuxième couche de milieu VRBG a été coulée au dessus. L'incubation a été faite à 37°C pendant 24h. Les entérobactéries donnent des colonies pigmentées, lisses ou rugueuses de 1 à 3 mm de diamètre (**Guiraud, 2003**).

I.2.4.4. Dénombrement de CT et CTT

Le dénombrement s'est effectué sur le milieu VRBL. L'ensemencement a été fait en profondeur en déposant au fond de chaque boîte de Pétri 0.1 ml de la dilution 10^{-3} , puis la gélose VRBL fondue et refroidie à 45°C a été coulée, après solidification de la première couche une couche superficielle du même milieu a été ajoutée dans chaque boîte. L'incubation a été faite à 37°C pendant 24h (**Larpen, 1997**).

Pour les coliformes thermotolérants (CTT), l'ensemencement a été fait en profondeur de la gélose VRBL en utilisant la dilution 10^{-2} , l'incubation a été faite à 44°C pendant 24 heures.

I.2.4.5. Dénombrement de la flore lactique

On a étalé 0.1 ml de la solution mère 10^{-1} à la surface du milieu gélosé MRS, coulé et solidifié. Les boîtes sont incubées à 37 °C pendant 3 jours. Les colonies de petites tailles, de couleur blanchâtre et brillantes, à pourtour régulier, de forme circulaire ou lenticulaire ont été dénombrées (**Larpen, 1997**).

I.2.4.6. Dénombrement des levures et moisissures

La recherche et le dénombrement de cette flore ont été effectués sur le milieu Sabouraud. Deux boîtes pour chaque dilution sontensemencées avec 0.1 ml d'inoculum étalé en surface.

L'incubation se fait à 25°C pendant 3 jours. Après incubation, nous avons dénombré toutes les colonies blanches sphérique et filamenteuses (**Guiraud, 2003**)

I.3. Analyse statistique

Chaque expérience est répétée au moins en trois fois, les valeurs sont représentées par la moyenne \pm écart type. Les résultats ont été analysés par le test ANOVA en utilisant le logiciel Origin version 6.0, et la valeur et le degré de signification de données est pris à la probabilité $P < 0,05$. La corrélation entre certains paramètres a été réalisée en utilisant Microsoft Excel 2007.

Résultats et discussions

II. Résultats et discussions

II.1. Analyses physicochimiques des échantillons de blé

II.1.1. Poids de mille grains

Le poids de mille grains est un critère de grand intérêt dans les expérimentations agronomiques (Godon et Loisel, 1997), il permet de distinguer la qualité du blé d'une manière générale. Lors le développement des grains, le poids de 1000 grains augmente et plus ils sont riches en amidon, par conséquent, on obtient un meilleur rendement en farine. Le poids de mille grains est influencé par certains facteurs principalement les conditions de culture et climatiques (Halilat, 2004), cependant ce paramètre permet aussi de vérifier si un grain a été conservé dans des bonnes conditions.

Les résultats de la figure ci-dessus (figure 06) présentent un poids de mille grains de $(38,14 \text{ g} \pm 0,9)$ pour le blé non fermenté (témoin) et pour le blé fermenté des valeurs allant de $(32,26 \text{ g} \pm 0,96)$ jusqu'à $(36,27 \text{ g} \pm 0,21)$. Ces résultats sont significativement différents ($p < 0,05$, $p = 0,02$).

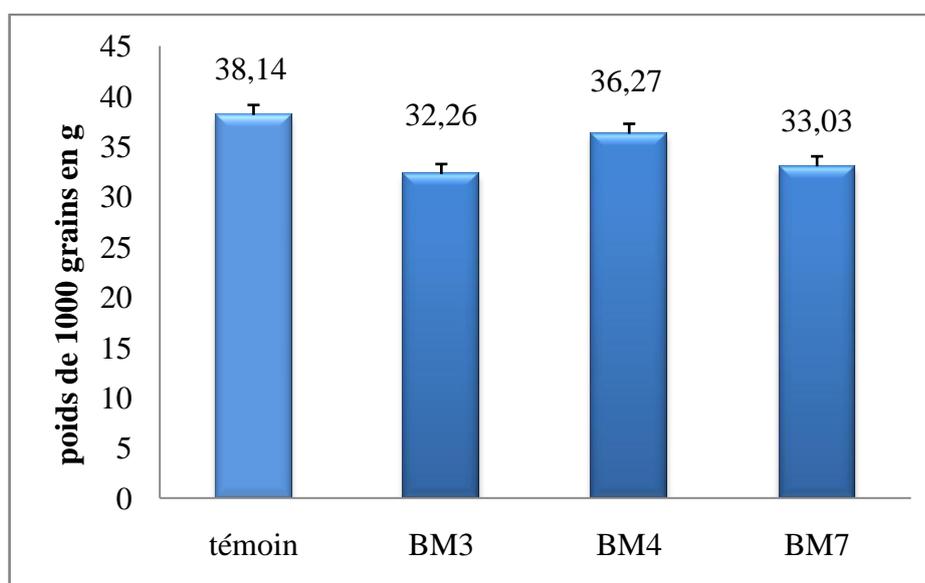


Figure 06. Résultats de poids de mille grains des échantillons de blé fermenté et témoin

D'après nos résultats on constate que le poids de mille grains de témoin et BM4 sont inclus dans l'intervalle 35-45g donnée par Chasseray et al., (1991), ce poids est aussi inférieur à celui trouvé par Gourchala et al. (2014) qui ont enregistré une valeur de $44 \pm 1,55 \text{ g}$ pour le blé fermenté. Le poids de 1000 grains des échantillons BM3 et BM7 est légèrement inférieure par rapport à cette dernière valeur. Cette diminution est due probablement d'une part à la perte de la matière sèche et d'autre part à l'augmentation de la teneur en eau.

II.1.2. Masse à l'hectolitre

Il s'agit d'une mesure de la densité du grain, il indique le rendement possible en semoule. Les résultats de la masse à l'hectolitre sont illustrés dans la figure (07).

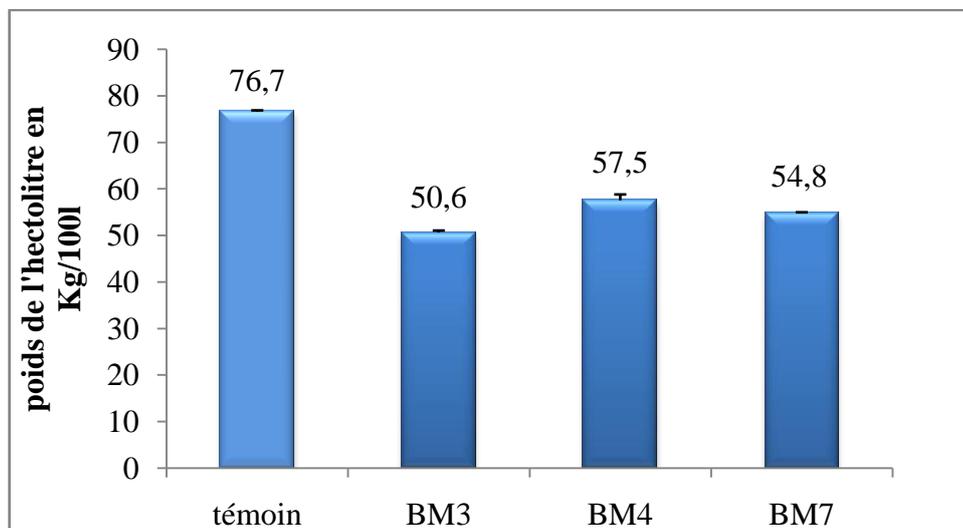


Figure 07. Résultats de la masse à l'hectolitre des échantillons du blé

Selon **Chasseray, (1991)** un blé qui a une masse à l'hectolitre entre 77-80 kg/hl, est un blé d'une masse élevée, lourd et de bonne valeur meunière. En effet, selon **Soltner (2005)**, la masse à l'hectolitre est un paramètre de qualité qui dépend :

- ✓ De l'humidité (plus le grain est sec plus sa masse à l'hectolitre augmente).
- ✓ De la bonne nutrition durant la maturation (les grains échaudés sont moins présents).
- ✓ De la propreté de la récolte (les déchets plus légers diminuent la densité).

Nous avons enregistré un poids de (76,7 kg \pm 0,14) pour le témoin. Ce résultat est compris dans l'intervalle proposé par **Calvel (1984)** qui est 72-82 kg/hl, par contre les résultats qui concernent le blé fermenté sont plus loin de cet intervalle : (50,6Kg \pm 0,42), (57,5 Kg \pm 1,27) et (54,8Kg \pm 0,14) respectivement pour l'échantillon BM4, BM7 et BM7 ($p=0.035$, $p<0.05$). La masse à l'hectolitre des échantillons du blé fermenté est inférieure à celle du blé témoin (non fermenté), cela peut être expliqué par une perte de la matière sèche durant le stockage dans le Matmour.

II.1.3. Taux d'impuretés

Les impuretés sont l'ensemble des éléments considérés conventionnellement comme indésirables dans l'échantillon. Elles sont constituées de grains cassés, altérés ou attaqués par des prédateurs, de grains étrangères à l'espèce analysée, d'éléments d'origine organique et non organique. Les grains attaqués de blé stocké sont en corrélation avec les impuretés, les insectes vivants et morts en présence d'humidité, qui influent sur la conservation des grains de blé (**Bouslah et al., 2016**).

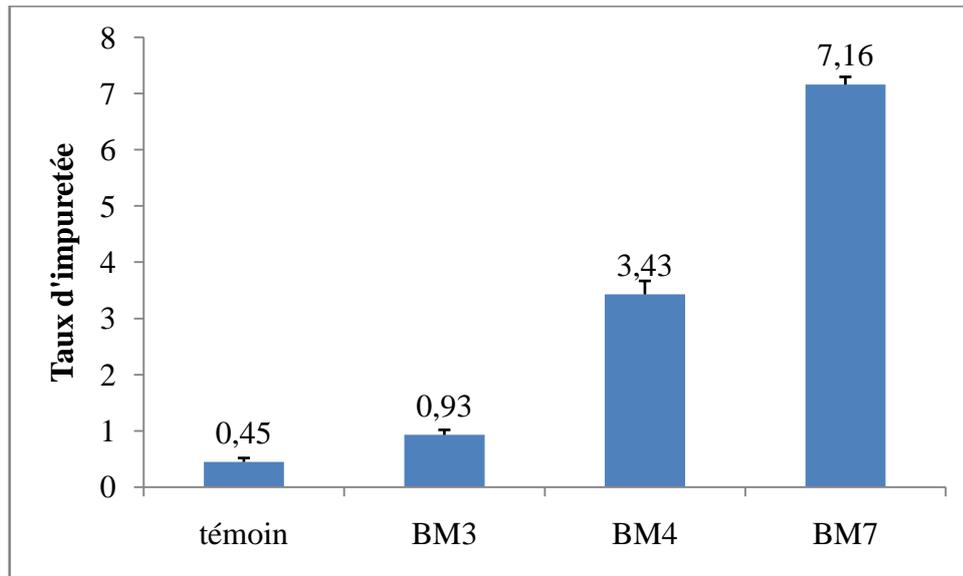


Figure 08. Taux d'impuretés des échantillons du blé

Les taux des impuretés des échantillons du blé fermenté varient très significativement ($p=0.007$, $p<0.01$) ils sont respectivement $0.93\% \pm 0.09$, $3.43\% \pm 0.24$ et $7.16\% \pm 0.14$ pour les échantillons BM3, BM4 et BM7 (figure 08). Le témoin présente une valeur de $0,45\% \pm 0,07$. Nous avons noté que l'échantillon codé BM7 est le plus contaminé suivi par l'échantillon BM4 et cela comparativement avec le témoin, alors que l'échantillon BM3 présente la valeur la plus basse. Donc il semble être que l'échantillon BM7 était stocké dans des conditions défavorables provoquant ainsi des altérations et des cassures de grains (Bousslah et al., 2016).

II.1.4. Pourcentage de grains brisés

Sur les 100 grains prélevés, une constatation de l'état physique a été effectuée. Le blé non fermenté ou le témoin présente un taux des grains brisés inférieur ($11,5\% \pm 0,7$) aux blés fermentés BM3, BM4 et BM7 ($19,5\% \pm 0,7$, $15,5\% \pm 0,7$ et $22\% \pm 1,4$ respectivement). Les résultats du test ANOVA ont montré qu'il y a une différence très significative entre les échantillons ($p=0.01$, $p<0.01$).

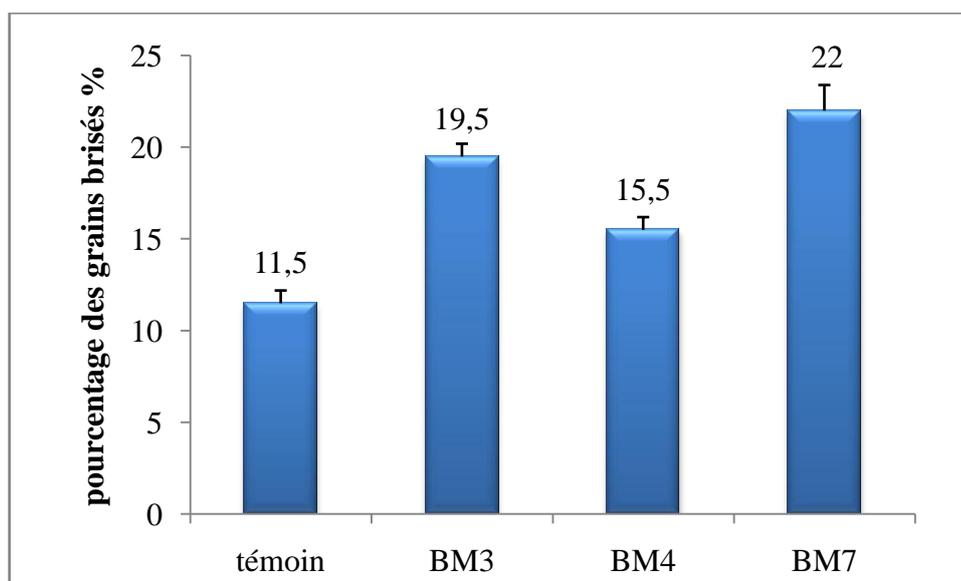


Figure 09. Pourcentage des grains brisés des échantillons du blé

Les résultats concernant le pourcentage de grains cassés sont supérieurs à celle fixée par les normes commerciales qui imposent qu'un blé de qualité ne doit pas dépasser un pourcentage de 3% de grains cassés.

Cependant, 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 mécanique aux silos. En plus, son stockage souterrain dans le Matmour provoque des dommages et des cassures au niveau des grains liés principalement à des facteurs biologiques, physiques et mécaniques. (Éventuellement, les insectes et les rongeurs qui sont placés dans un environnement physicochimique caractérisé par sa température, son humidité et sa teneur en oxygène) (**Boudreau et Ménard, 1992**). La présence des 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**).

II.1.5. Détermination de la teneur en eau et en matières sèches

Les résultats obtenus après détermination de l'humidité et de la matière sèche des quatre échantillons sont exprimés dans la figure (10).

Les valeurs moyennes de la teneur en eau des trois échantillons de blé fermenté et du témoin sont plus ou moins proches et indiquent qu'il n'existe pas une différence significative ($p > 0.05$, $p = 0.06$), en particulier pour les échantillons codés BM3, BM7 ($13 \pm 0.7\%$, $13.5 \pm 0.7\%$ respectivement), ainsi que pour le témoin et BM4 qui présentent les valeurs d'ordre $11 \pm 0.00\%$ et $11.25 \pm 1.06\%$

respectivement. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Doukani et al. (2013)** et **Gourchala et al. (2014)** qui ont enregistré les valeurs 11.89% et 12.25% respectivement. En effet, l'humidité est liée directement avec l'intégrité des grains. Dans des conditions défavorables des eaux d'infiltration, les grains absorbent plus de l'eau en particulier les grains localisés proche des murs du Matmour (**Gourchala et al., 2014**), donc, ils auront une teneur en humidité plus élevée (**Bartali et al., 1989**). Dans ces variations, le témoin et l'échantillon code BM4 montrent la valeur la plus basse de la teneur en eau, donc ils pourront être plus stables lors d'une longue durée de conservation.

D'autre part, la teneur en eau des échantillons du blé en moyenne (12.58%) se situe dans l'intervalle (9-13%) cité par **Boudreau et Ménard (1992)**. Les échantillons de blé fermentés récupérés directement des entrepôts sont très humides. Après le séchage, le taux d'humidité a diminué considérablement dans les trois échantillons, la variation de la valeur est due au stockage du blé dans l'entrepôt : le Matmour.

En ce qui concerne la teneur en matière sèche, le témoin représente la valeur la plus élevée 89%, pour les trois autres échantillons nous avons enregistré les résultats suivants $87\% \pm 0,70$, $88,75\% \pm 1,06$ et $86,5\% \pm 0,70$ et cela respectivement pour BM3, BM4, et BM7. Les résultats sont aussi non significativement différents ($p > 0.05$, $p = 0.06$).

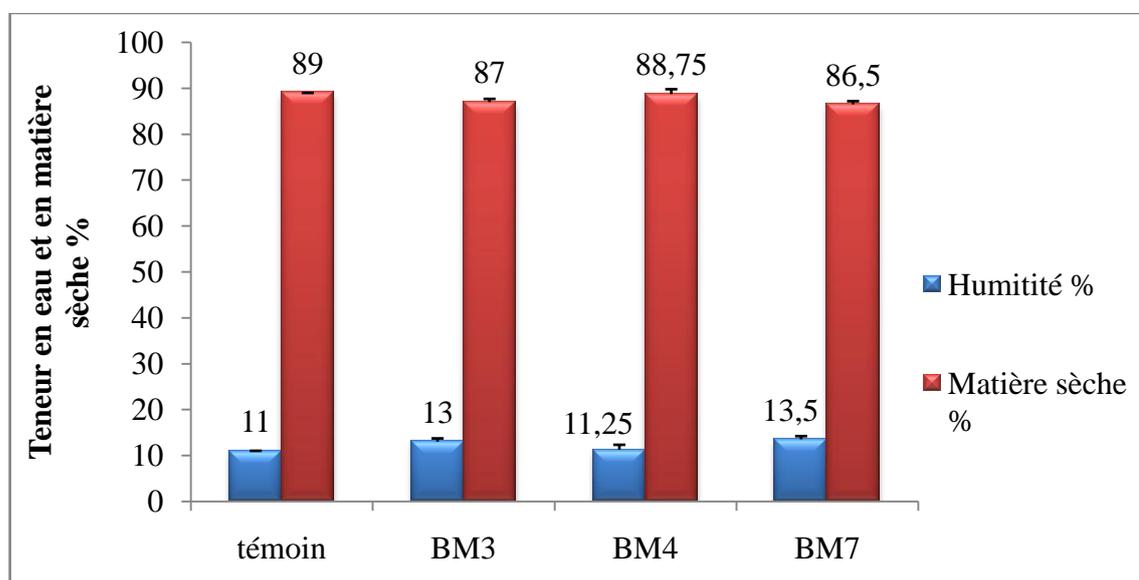


Figure 10. Teneur en eau et en matière sèche des échantillons du blé

II.1.6. Mesure du pH et l'acidité grasse

D'après les résultats obtenus de nos échantillons ; on constate que la mesure du pH du blé non fermenté révèle un pH neutre de 7.1, ce résultat est proche à celui trouvé par **Gourchala et al. (2014)** qui est proche de la neutralité (6.28 ± 0.021), contrairement à celui du blé fermenté qui est

de l'ordre de 4.8, 4.05, 4.52 pour BM3, BM4 et BM7 respectivement. Ces résultats sont significativement différents ($p = 0.027$, $p < 0.05$).

La mesure du taux d'acidité des échantillons étudiés montre que le blé non fermenté a un taux moyen d'acidité de 0,82%. Cette valeur ne correspond pas au résultat trouvé par **Feillet, (2000)** qui est inférieur à 0,05%. En ce qui concerne les échantillons de blé fermenté, leur valeur est beaucoup plus supérieure à celle du blé non fermenté, qui est de $3.37 \pm 0.02\%$, $4.96 \pm 0.55\%$ et $4.24 \pm 0.03\%$ pour BM3, BM4 et BM7 respectivement. Ces résultats sont très significativement différents ($p = 0.001$, $p < 0.01$).

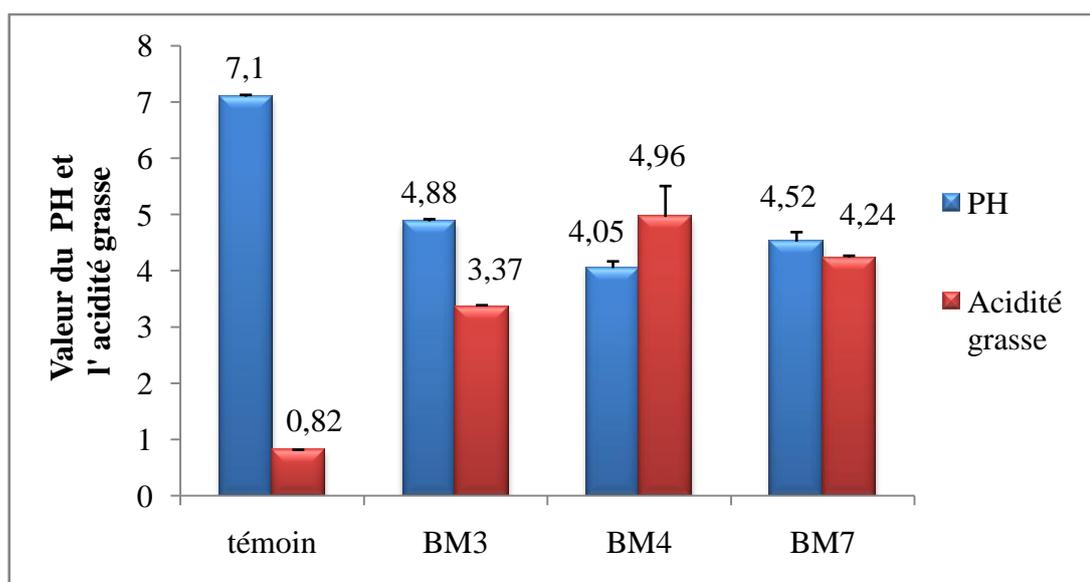


Figure 11. Les valeurs du pH et d'acidité grasse

Donc, le blé fermenté a un pH faible et une acidité élevée par rapport au blé non fermenté. D'après **Doukani et al. (2013)**, pendant la fermentation, le pH diminue avec une augmentation simultanée de l'acidité. 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 tels que les acides lactique, acétique, butyrique, formique et propionique. Le pH de ces aliments est réduit au moins à des valeurs de 4. Selon **Boudreau et Ménard (1992)** : les moisissures ont une activité lipolytique souvent important et entraînent une augmentation de l'acidité. En effet, les échantillons de la présente étude constituent un milieu favorable pour le développement des champignons pouvant se à des pH compris entre 3 et 8 avec un optimum de croissance compris entre 5 et 6 (**Gacem et al., 2011**).

II.1.7. Détermination de la teneur en matière minérale et organique

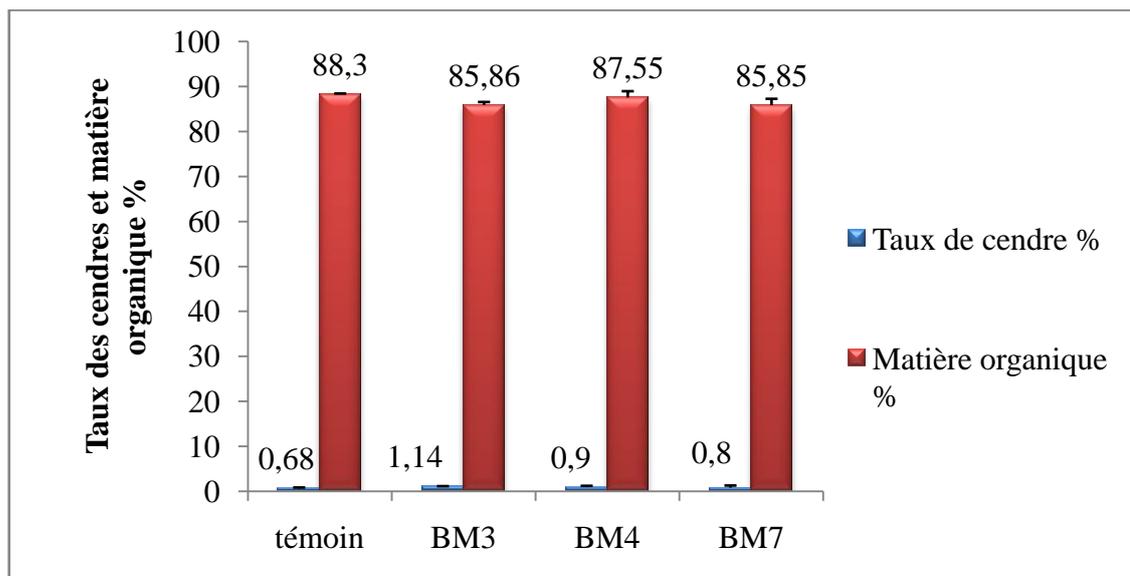


Figure 12. Taux des cendres et matière organique

D'après le diagramme ci-dessus, le taux en cendre de blé non fermenté est de 0,68% Cette valeur est largement inférieure à l'intervalle 1.5-2.5% cité par **Feillet (2000)**, pour le blé fermenté le taux de cendre est plus que le blé non fermenté (1.14%, 0.9% \pm 0.31, 0.8% \pm 0.48 dans l'ordre de BM3, BM4 et BM7), alors que la teneur en matière organique est de 85,86 % pour BM3, 87,55% pour BM4, 85,85% pour le BM7 et 88,3% pour le témoin. Notre résultat concernant les cendres est plus loin à celle trouvé par **Gourchala et al (2014)** qui est de 1,71% pour le blé fermenté et 1,72% pour le blé non fermenté.

Les résultats du test ANOVA ont montré qu'il n'y a pas une différence significative entre la matière minérale et la matière organique ($p=0.09$, $p>0.05$)

L'augmentation de la teneur en cendres du blé fermenté peut également avoir lieu suite au contact du sol lors de l'extraction du blé fermenté de l'entrepôt. Au cours de la fermentation, la disponibilité des micronutriments tels que le fer, zinc, calcium, magnésium est également amélioré en raison de la réduction important des phytates sous l'effet de certaines conditions tel que le PH (**Nout et Ngoddy, 1997**).

II.2. Détermination de la qualité nutritionnelle des échantillons du blé

II.2.1. Dosage de l'amidon

L'amidon est le glucide de réserve de végétaux supérieurs tels que les céréales, c'est une macromolécule constituée presque entièrement d'unités de D-glucose. L'amidon se trouve dans les

plantes sous forme de grains constitués de deux composants principaux, l'amylose et l'amylopectine. Parmi les nombreuses enzymes réparties dans les différentes régions histologiques du grain de froment, les enzymes amylolytiques qui sont capables d'hydrolyser l'amidon en amylose et l'amylopectine (**Sindic et al., 2009**).

Les résultats de dosage spectro-photométrique de l'amidon, l'amylose et l'amylopectine dans les échantillons de blé illustrés par la figure (13).

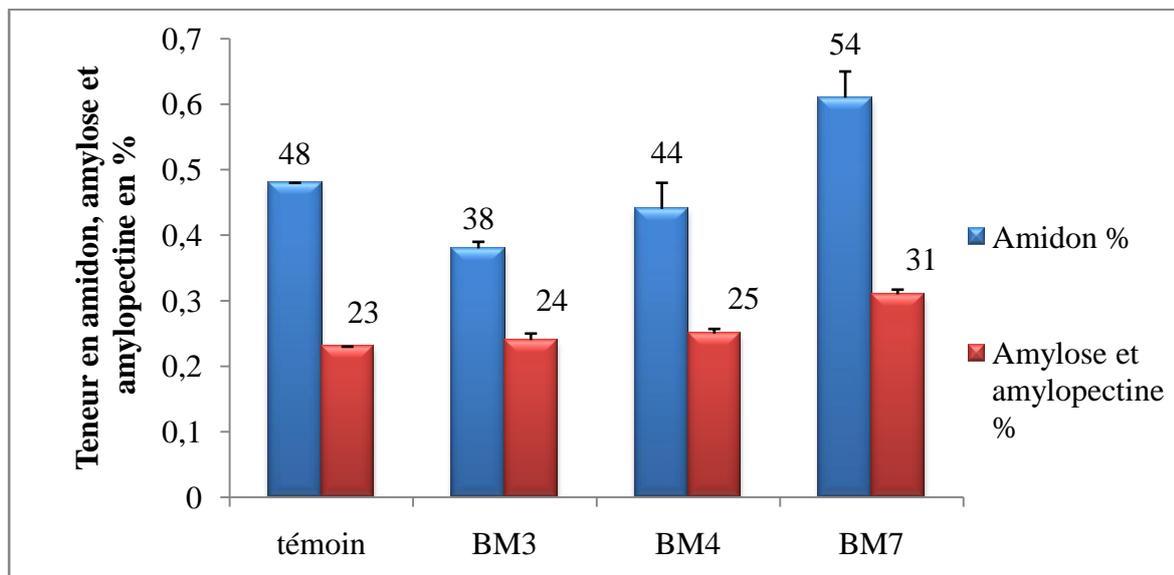


Figure 13. Teneur en amidon, amylose et amylopectine dans les échantillons du blé

L'échantillon BM7 semble avoir la teneur la plus élevée en amidon, amylose et amylopectine, suivi par BM4 et BM3. En effet, la faible teneur enregistrée pour ces deux échantillons, en comparant au témoin, peut être due à la dégradation de l'amidon par les enzymes amylolytiques des microorganismes pendant la fermentation, car il représente la molécule la plus dégradée au cours du stockage (**Bekhouche et al., 2013**)

II.2.2. Dosage des éléments minéraux

Les céréales contiennent des minéraux ; les plus importants sont le fer, le phosphore, le magnésium et le zinc (**Fortin, 1999**). La figure suivante résume les teneurs en éléments minéraux pour les trois échantillons du blé fermenté BM3, BM4 et BM7 ainsi que pour le témoin.

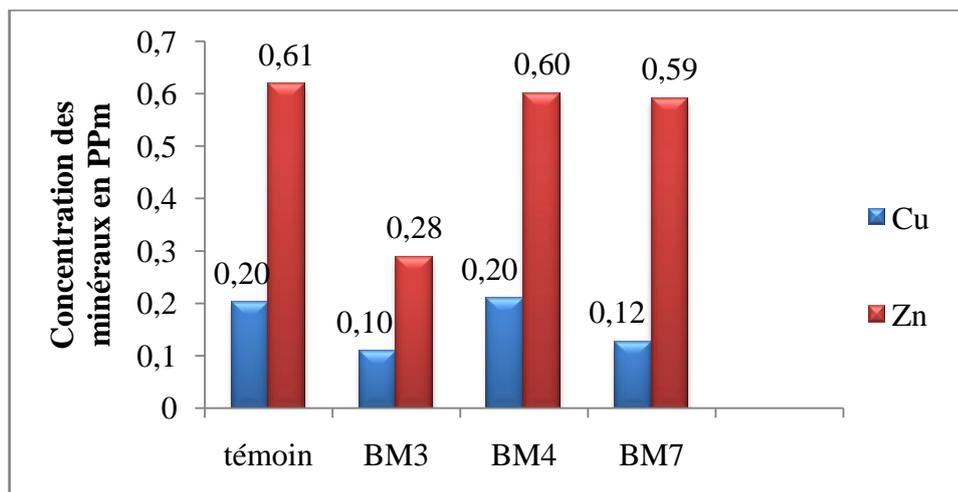


Figure 14. Teneur en éléments minéraux des échantillons du blé

Les éléments dosés sont le cuivre, le zinc. Le Zinc est un métal essentiel nécessaire à la vie d'un grand nombre d'organismes, il participe à la synthèse des protéines, à l'immunité cellulaire, à la transcription génétique et à la structure des hormones (**Chibane et al., 2007**).

Nos échantillons présentent des teneurs variées en zinc. Concernant les échantillons BM4 et BM7, leur contenu en zinc est presque le même que le témoin. Mais pour l'échantillon BM3, on note que sa teneur en zinc est environ la moitié de celle des autres échantillons. Ces résultats ne sont pas en accord avec la littérature, en effet, **Miller (1996)** a enregistré une valeur de 0.35 ppm seulement, une valeur qui est proche que celle de l'échantillon BM3.

D'autre part, le cuivre était présent dans nos échantillons avec les valeurs suivantes : 0.10 ppm, 0.20 ppm et 0.12 ppm respectivement pour BM3, BM4 et BM7. L'échantillon BM4 présente la même teneur que le témoin, alors les deux autres échantillons contiennent des teneurs basses. En effet, cet élément accomplit plusieurs fonctions : il intervient dans la défense anti-oxydante et immunitaire (**Jaccot et Campillo, 2003**). **Hassan et al. (2008)** ont rapporté que la présence de minéraux en petites quantités peut être due à leur association avec les facteurs antinutritionnels. Cela explique les résultats obtenus pour les échantillons BM3 et BM7.

II.2.3. Extraction et dosage des composés antioxydants

II.2.3.1. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

Les composés phénoliques ou polyphénols sont des métabolites secondaires caractérisés par la présence d'un cycle aromatique portant des groupements hydroxyles libres ou engagés avec un glucide. Ils sont présents dans toutes les parties des végétaux supérieurs (racines, tiges, feuilles, fleurs, pollens, fruits, graines et bois). Les plus représentés sont les anthocyanes, les flavonoïdes et les tannins (**Biozot et Charpentier, 2006**).

La détermination de la teneur en phénols totaux dans les échantillons de blé fermenté et témoin est estimée par la méthode de Folin- Ciocalteu qui est basée sur la réduction en milieu alcalin de la mixture phosphotungstique, phosphomolybdique du réactif de Folin par les groupements oxydables des composés phénoliques, conduisant à la formation de produits de réduction de couleur bleue (Talbi *et al.*, 2015), les résultats sont montrés dans la figure (15).

Les céréales et y compris le blé sont considérés comme des produits particulièrement riches en polyphénols notamment en acides phénoliques, et sont principalement localisée dans les couches périphériques du grain (Zagorec et Christieans, 2013).

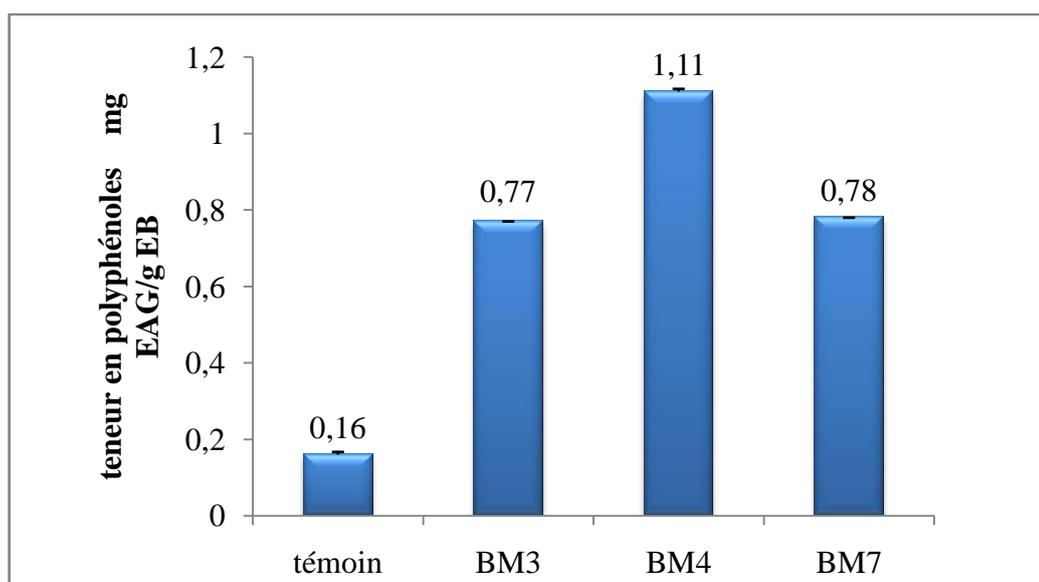


Figure 15. Teneurs en polyphénols totaux des échantillons du blé fermenté et témoin

En fonction de solvant utilisé pour l'extraction (l'eau distillé), les résultats de la teneur en polyphénols de blé fermenté sont de 0.77 mgEAG/gEB, 1.11 mgEAG/gEB et 0.78 mgEAG/gEB pour l'échantillon BM3, BM4 et BM7 respectivement. La différence entre ces résultats est hautement significative ($p= 0.0007$, $p<0.001$).

En comparant ces résultats avec celui du témoin (0.16 mgEAG/gEB) on remarque qu'il y a une amélioration dans la teneur des polyphénols dans les grains de blé fermenté.

Les résultats trouvés dans cette présente étude sont proches de ceux enregistrés par **Doukani et al. (2013)** (1.49 mgEAG/gEB pour le blé fermenté et 1.3 mgEAG/gEB pour le blé non fermenté) mais sont très loin de ceux trouvés par **Gourchala et al. (2014)** (23.75 mgEAG/g pour le blé fermenté et 18.32 mgEAG/g pour le blé non fermenté). D'une manière générale, nos résultats sont en ligne avec ces deux dernières études concernant l'amélioration de la teneur en polyphénols par la fermentation spontanée du blé stocké dans le Matmour.

II.2.3.2. Dosage des flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des constituants caractéristiques du règne végétal chlorophyllien, à l'exception des algues. Ils sont responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles. Les flavonoïdes représentent la plus grande classe des polyphénols. On estime que 2% de l'ensemble du carbone photo-synthétisé par les plantes est transformé en flavonoïdes (Juansn et Chou, 2010).

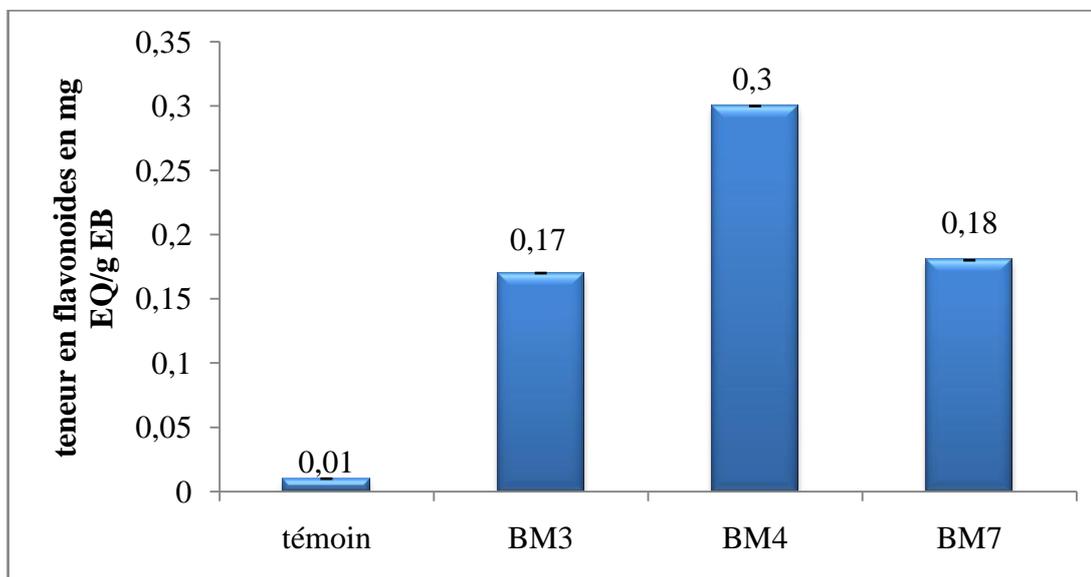


Figure 16. Résultats du dosage des flavonoïdes dans les échantillons du blé

Les résultats de dosage des flavonoïdes sont présentés dans la figure (16) ils révèlent pour l'extrait aqueux les valeurs suivantes (0,17 mg EQ/g EB), (0,3mg EQ/g EB) et (0,18mg EQ/g EB) pour BM3, BM4 et BM7 respectivement, on enregistre aussi une valeur de 0,01mg EQ/g EB pour le témoin ($p=0.007$, $p<0.01$). A partir de ces données, on peut déduire aussi une amélioration très importante de la teneur en flavonoïdes grâce à la fermentation spontanée du blé, ce qui confère au blé fermenté une bonne qualité nutritionnelle, par le fait que ces flavonoïdes sont responsables de l'inhibition des microbes résistants et sont responsables du processus de piégeage ou des chélateurs et peuvent perturber les membranes microbiennes (Gacem et al., 2013).

D'après les résultats, l'échantillon BM4 semble avoir la teneur la plus élevée en polyphénols et en flavonoïdes aussi, on constate qu'il existe une corrélation positive entre les teneurs en ces deux éléments ($r=0.99$).

II.2.3.3. Activité anti-radicalaire du radical DPPH°

L'activité anti-radicalaire est estimée selon la méthode décrite par Triki et al. (2017). 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. La figure (17) présente l'activité anti radicalaire des différents extraits.

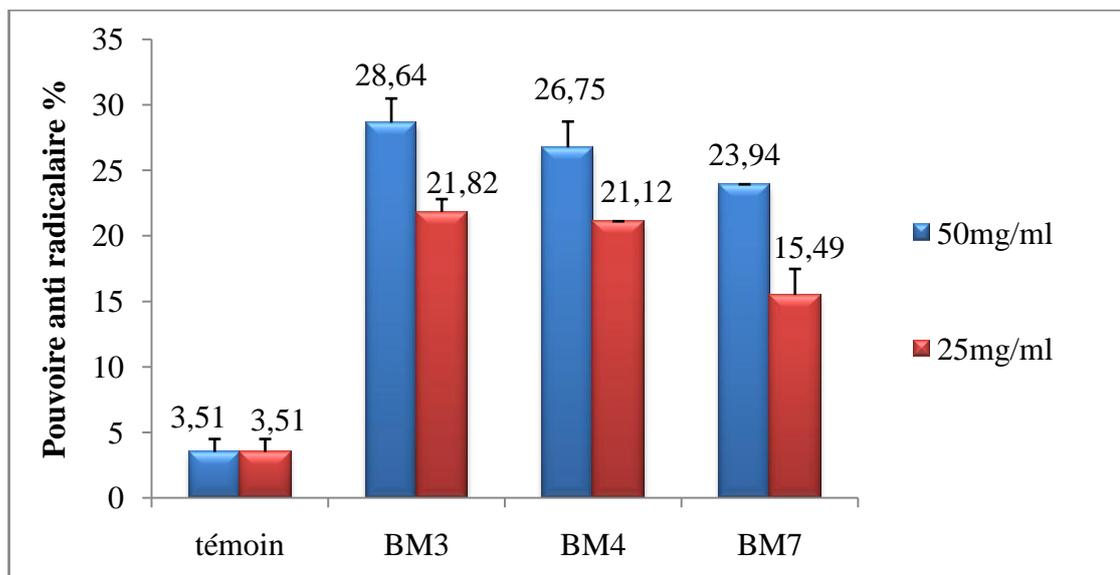


Figure 17. Activité anti-radicalaire du radical DPPH° des extraits du blé fermenté et témoin

Les extraits des quatre échantillons de blé ont montré des valeurs significativement différentes de l'activité de piégeage des radicaux DPPH ($p=0,03$ pour la concentration 50mg/ml) et ($p=0,02$ pour 25mg/ml).

A partir des résultats obtenus, On constate que BM3 présente l'activité la plus élevée que les autres échantillons (21.82% et 28.64% pour les concentrations 25 mg/ml et 50 mg/ml respectivement).

De plus, on remarque que l'activité antioxydante des extraits aqueux des échantillons de blé augmente avec l'augmentation des concentrations des extraits et par la suite avec le contenu en polyphénols et flavonoïdes, ces derniers semblent être des donateurs efficaces d'hydrogène au radical DPPH, en raison de leur chimie structurale idéale **Athamena et al. (2010)**.

II.2.3.4. Pouvoir réducteur du fer

Le pouvoir réducteur du fer se base sur les réactions d'oxydoréduction. C'est l'aptitude des antioxydants présents dans l'échantillon à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) de complexe ferricyanure [$FeCl_3/K_3Fe(CN)_6$] en fer ferreux (Fe^{2+}) en présence d'un agent chromogène (KCN). La forme réduite donne une couleur bleue intense qui est proportionnelle au pouvoir de l'extrait (**Ribeiro et al., 2008 et Guimarães et al., 2010**). La formation de ce complexe indiquera un pouvoir réducteur qui détermine la capacité d'un composé à se comporter comme un antioxydant.

D'après les résultats illustrés par la figure (18), on peut noter qu'il existe une augmentation de la réduction du fer par les extraits de blé fermenté comparativement avec le témoin, l'activité la plus importante est attribuée à l'échantillon BM4. En comparant ces résultats avec ceux des teneurs en polyphénols et flavonoïdes, on peut conclure que : plus la teneur en polyphénols et flavonoïdes

augmente plus l'activité de réduction du fer augmente, c'est une corrélation positive ($r=0.98$ et $r=0.96$ respectivement).

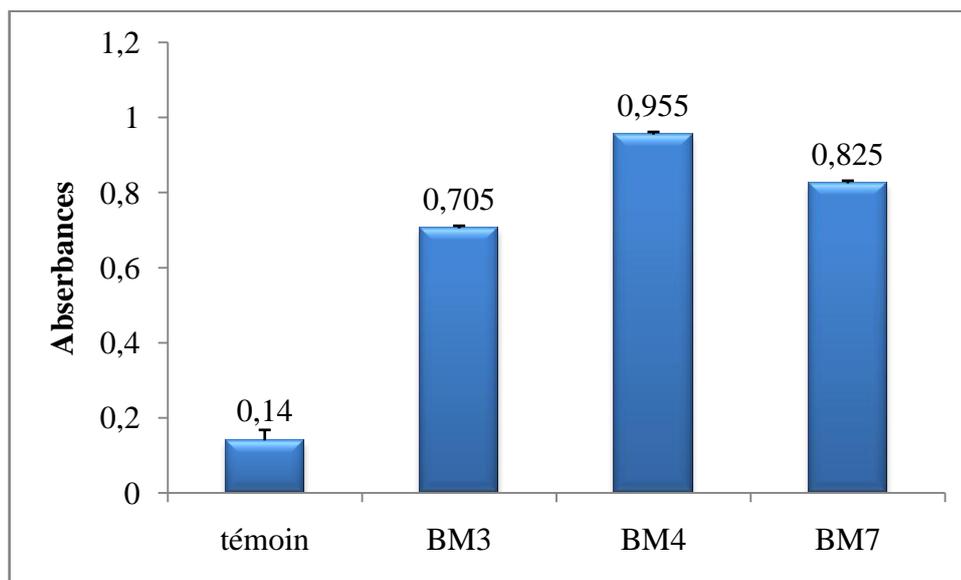


Figure 18. Résultats de la réduction du fer par les extraits du blé fermenté et témoin

II.2.3.5. Piégeage du peroxyde d'hydrogène

Une des méthodes les plus communes pour évaluer la capacité du piégeage du peroxyde d'hydrogène est basée sur l'absorption de cette molécule dans le domaine de l'UV. Quand la concentration de H_2O_2 diminue par les composés piégeurs la valeur d'absorbance de ce dernier à 230 nm diminue également (**Malgalhae et al., 2008**).

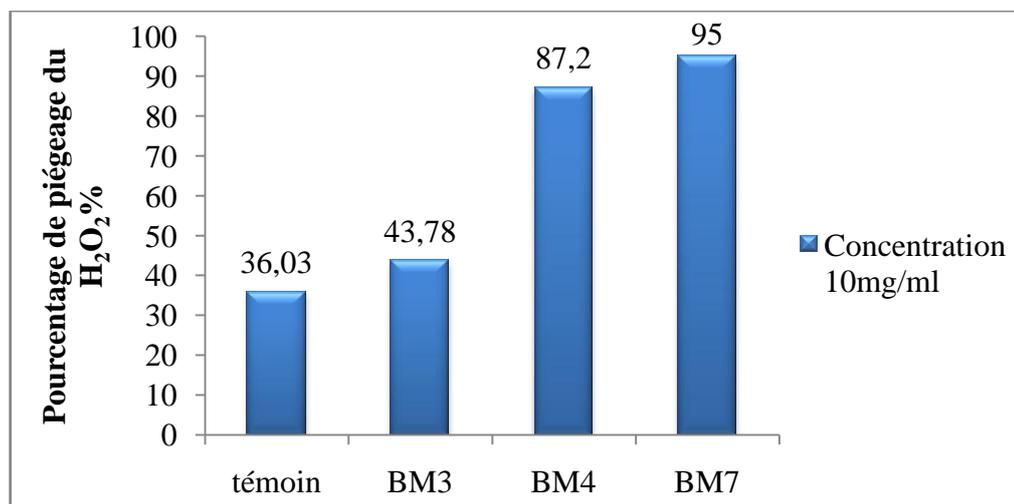


Figure 19. Pourcentage de piégeage du peroxyde d'hydrogène des extraits du blé.

Nous avons étudié l'activité du piégeage du peroxyde d'hydrogène des extraits bruts aqueux de blé fermenté et témoin suivant la méthode décrite par (**Ruch et al., 1989**). Les résultats obtenus sont rapportés dans la figure (19).

A partir des résultats obtenus, on constate que le témoin présenté l'activité la plus basse que les autres échantillons de blé fermenté (36.03mg/ml).

En ce qui concerne les trois extraits de blé fermenté testés, les extraits bruts de BM3, BM4 et BM7 ont montré une activité de piégeage du peroxyde d'hydrogène de l'ordre de 43,78%, 87.2%, 95.6% respectivement. L'extrait provenant de l'échantillon codé BM7 présente l'effet le plus puissant.

Cette capacité de piégeage du peroxyde d'hydrogène des extraits du blé fermenté est liée à leur teneur en composés phénoliques. En effet, il a été démontré que les polyphénols ont une action protectrice chez les mammifères et les cellules bactériennes contre la cytotoxicité induite par le peroxyde d'hydrogène, avec notamment des composés phénoliques de type flavonoïde (**El-Haci et al., 2010**).

On peut conclure ici, après le dosage des composés antioxydants (polyphénols et flavonoïdes) et de l'activité antioxydante, que les échantillons du blé fermenté présentent toujours les teneurs et les activités les plus élevés et cela en comparant avec le témoin, ce qui indique l'importance de l'utilisation de ce produit traditionnel et son incorporation dans l'alimentation d'une manière à l'utiliser comme ingrédient dans la technologie alimentaire.

II.3. Evaluation de la qualité microbiologique des échantillons du blé

II.3.1. Dénombrement de la flore totale aérobie mésophile (FTAM)

La flore totale aérobie mésophile est constituée d'un ensemble de microorganismes variés correspondant aux germes banals de contamination. Le dénombrement de la FTAM reflète la qualité microbiologique générale d'un produit naturel et permet d'en suivre l'évolution (**Guiraud et Rosec, 2004**). Le but de dénombrement de cette flore est de pouvoir comparer la charge microbienne de l'échantillon fermenté avec l'échantillon non fermenté.

L'analyse microbiologique de nos échantillons de blé fermenté et témoin est montrée dans la figure ci-dessous.

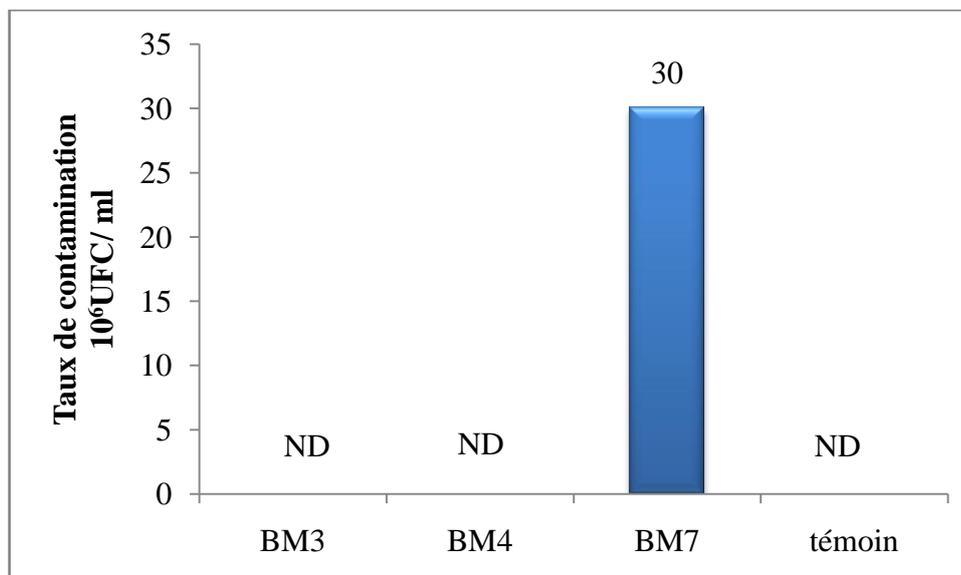


Figure 20. Dénombrement de la flore aérobie mésophile

Selon les résultats obtenus on constate que BM3, BM4 et le témoin ont montrés une flore indénombrable, par contre le BM7 présente une charge d'environ $30 \cdot 10^6$ UFC/ml.

En effet, l'excès de ces germes témoigne du non-respect des règles d'hygiène lors de la récolte (**Ennadir et al., 2012**), des mauvaises conditions d'entreposage surtout dans le cas du Matmour qui est un sujet d'une contamination par une toute communauté de micro-organismes, ces derniers assurent des interactions entre les différents genres et espèces, jouant ainsi un rôle dans la modification des caractères physico-chimiques du produit (**Guiraud, 2003**).

II.3.2. Recherche des entérobactéries

Les entérobactéries sont un indicateur lié principalement à une contamination fécale humaine ou animale mais aussi à une contamination environnementale non maîtrisée par un traitement technologique (**Branger et al., 2007**), elles peuvent signifier un défaut d'hygiène du matériel et des équipement utilisés (**Zagorec et Christeans, 2013**). Les entérobactéries sont très répandues dans la nature et contaminant facilement les aliments. Ces bactéries ne sont pas dangereuses au point de vue sanitaire dans le cadre de l'alimentation (ne dépasse pas la norme). Elles sont proches écologiquement du groupe des bactéries Gram- saprophytes (**Guiraud et Rosec, 2004**).

Les résultats de notre analyse microbiologique montrent en absence totale de ces germes dans les trois échantillons de blé fermenté (BM3, BM4 et BM7) et dans le témoin. Cela indique une bonne qualité hygiénique des échantillons.

II.3.3. Dénombrement des coliformes totaux (CT) et coliformes thermotolérants (CTT)

Les coliformes sont un indice de contamination fécale. Un nombre élevé est un indicateur de contamination fécale, de conditions et de pratiques inappropriées d'hygiène au cours du stockage et du transport de blé (Ennadir *et al.*, 2012).

Nous avons noté une absence totale de ces germes dans les échantillons du blé. Les conditions sévères de stockage dans les Matmours, notamment la forte pression peut être la cause de l'absence de ces germes.

II.3.4. Dénombrement de la flore lactique

Les résultats obtenus après l'analyse de la flore lactique des échantillons du blé sont présentés dans la figure (22).

D'après cette figure, l'analyse microbiologique de blé fermenté et témoin a révélé que la flore lactique est présente dans les échantillons étudiés avec une charge moyenne égale à 1×10^3 UFC/ml, 2×10^3 UFC/mg et 1×10^3 UFC respectivement pour le témoin, BM3 et BM4. Dont la charge maximale atteint 26×10^3 UFC/mg et cela pour l'échantillon BM7.

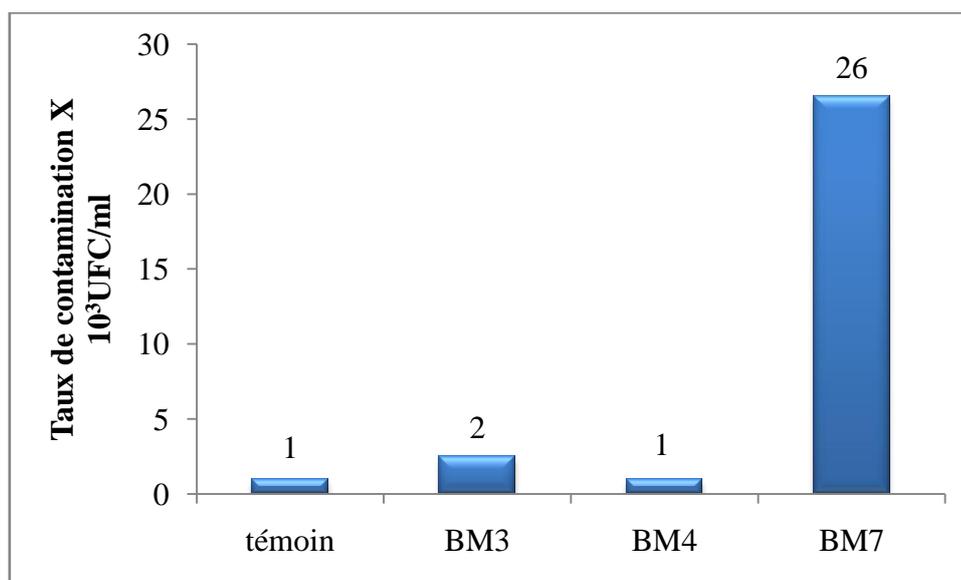


Figure 22. Résultats du dénombrement de la flore lactique

Les bactéries lactiques sont des micro-organismes dominants généralement rencontrés dans la plupart des produits fermentés à base de céréales. Le développement des bactéries lactiques pourrait être stimulé par la présence de composés azotés solubles et de facteurs (vitamines B, CO_2 , pyruvate, propionate, succinate, acétate) produits par les levures (Louembé *et al.*, 2003). De plus, l'environnement acide créé par les bactéries lactiques favoriserait la croissance des levures. Ainsi l'alcool produit par la levure, les acides produits par les bactéries et l'anaérobiose induite par la

fermentation, permettraient de supprimer les champignons filamenteux et les bactéries associées à la détérioration des aliments.

D'après les résultats trouvés, on constate que les échantillons du blé fermenté sont plus chargés en bactéries lactiques que le témoin, c'est une flore de fermentation. Ces résultats sont en accord avec ceux enregistrés par **Gourchala et al. (2014)** qui ont noté que la fermentation des grains du blé dans le Matmour et de type lactique.

L'action des bactéries lactiques au cours de la fermentation a aussi un impact sur la valeur nutritionnelle des produits fermentés, à travers la réduction de facteurs antinutritionnels qui affectent la biodisponibilité des minéraux tels que les phytates (**Yao et al., 2009**).

II.3.5. Dénombrement des levures et moisissures

Les résultats du dénombrement de ces flores sont représentés dans la figure (21). Le dénombrement de ces microorganismes nous permet d'enregistrer les valeurs 10.5×10^6 UFC/ml, 13×10^6 UFC/ml et 24×10^6 UFC/ml pour le témoin, BM3 et BM7 respectivement. L'échantillon de blé fermenté codé BM4 présente la charge la plus élevée en ces microorganismes (indénombrables).

On peut noter que les échantillons du blé fermenté sont plus chargés en levures et moisissures que le témoin, cela peut être expliqué par leur développement important dans le Matmour suite aux conditions de stockage favorables telles que : la température et les eaux d'infiltration. Ces microorganismes sont impliqués dans la fermentation spontanée des céréales (**Kumari et al., 2015**).

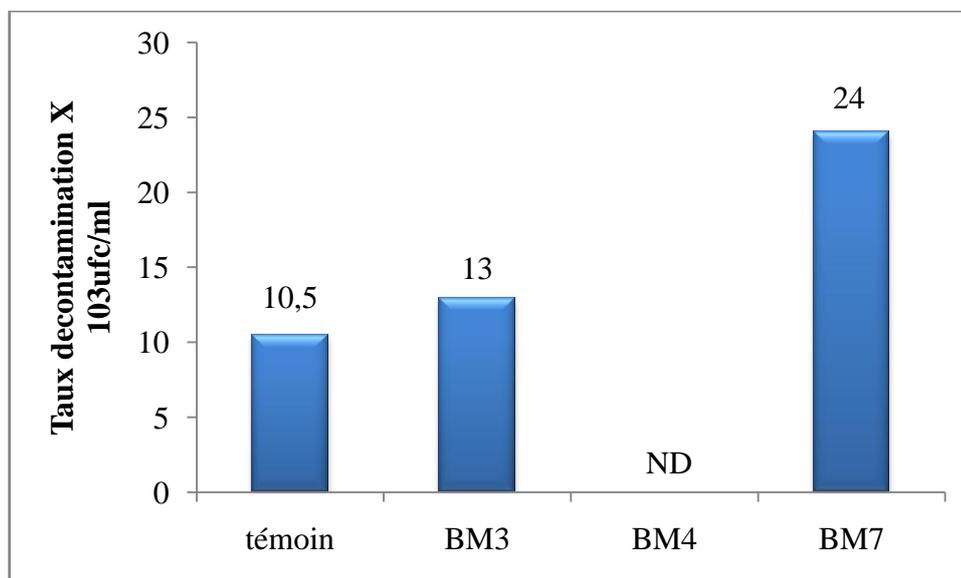


Figure 21. Résultats du dénombrement des levures et moisissures dans les échantillons du blé

Les genres de moisissures rencontrés dans les échantillons sont des contaminants de denrées alimentaires maltraitées mais surtout mal conservées. Ils sont considérés comme contaminants de stockage des céréales et leurs dérivés (**Gacem et al., 2011**). Il existe une grande variété de genres

fongiques causant des problèmes de qualité liés à l'aspect, à la valeur nutritive, aux caractéristiques organoleptiques et à la durée de conservation limitée. En outre, les champignons sont responsables de troubles allergiques ou toxiques chez les consommateurs en raison de la production de spores ou de mycotoxines (**Gacem et al., 2013**).

Conclusion

Ce travail a été conduit dans le but d'étudier l'effet de la fermentation naturelle spontanée sur les caractères physicochimiques, microbiologiques et nutritionnels de trois échantillons du blé dur de la région du Mila, après stockage traditionnel souterrain (Matmour).

L'étude de la qualité physico-chimique concernant : le poids de mille grains, la masse à l'hectolitre, le taux de cendre et la matière organique, indique que les trois échantillons présentent des valeurs plus ou moins différentes. Dans ce cas le blé non fermenté avait les valeurs les plus élevées. De plus, les échantillons du blé fermenté sont acides en comparant avec le témoin, ils présentent des pH bas avec des valeurs élevées d'acidité grasse.

Sur le plan microbiologique, les échantillons du blé fermenté semblaient avoir une bonne qualité hygiénique, le fait qu'il y avait absence totale des entérobactéries et des coliformes. D'autre part, nous avons noté une charge importante de la flore de fermentation (levures, moisissures et bactéries lactiques) en comparant avec le témoin.

S'agissant des substances antioxydantes, nous avons notés une augmentation de la teneur en polyphénols et flavonoïdes (0.88 mg EAG/g 0.21 mgEQ/g en moyenne respectivement) contre seulement 0.16 mg EAG/g et 0.01 mgEQ/g respectivement pour le témoin. Les échantillons présentent aussi une activité antioxydante intéressante : activité antiradicalaire du radical DPPH 26.50% contre seulement 3.51%, réduction du fer 0.82 contre 0.14 et piègeage du peroxyde d'hydrogène 75.32% contre 36.03%.

Nous concluons en rappelant que les opérations fermentaires permettent d'améliorer la valeur nutritionnelle; en effet la fermentation naturelle de blé dur par les levures et les bactéries lactiques dans le Matmour assure une augmentation de la valeur nutritionnelle et une amélioration de la digestibilité et de la qualité microbienne.

*Références
bibliographiques*

-A-

AFNOR NFV 05-113,1972.

Athamena S., Chalghem I., Kassah-Laouar A., Laroui S., Khebri S. (2010). Activité antioxydante et antimicrobienne d'extrait de *Cuminum cyminum* L.S. *Lebanese Science Journal*, 1 : 69-81.

-B-

Bartali E. H., Afie S., Persoon E. (1989). Stockage des céréales dans des entrepôts souterrains. In « Céréales en régions chaudes ». John Libbey Eurotext, Paris. P 27-38.

Battais F., Richard C., Leduc V. (2007). Les allergènes du grain de blé. *Revue Française d'Allergologie et d'Immunologie*, 47 : 171-174.

Bekhouche F., Merabti R., Bailly J. D. (2013). 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*, 4 (8) :167-175.

Boizot N., Charpentier J. P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. Le Cahier des Techniques de l'INRA. P 79-82.

Boudreau A., Ménard G. (1992). Le blé : Eléments fondamentaux et transformation. Presses de l'Université LAVAL. Paris, P 406.

Bougandora N., Bendimerad N. (2012). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp.Nepeta (L.) Briq. *Revue Nature et Technologie*, 9 :14-19.

Bourgou S., Ksouri R., Bellila A., Skandrani I., Falleh H., Marzouk B. (2008). Phenolic composition and biological activities of Tunisian *Nigella sativa* L. *Shoots and Roots Biologies*, 331 : 48-55.

Bouslah F., El mouebbeb K., Hamza M. E. (2016). Les problèmes de qualité du blé dur après stockage en Tunisie. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 21 : 190-200.

Branger A., Richer M. M., Roustel S. (2007). Microbiochimie et alimentation. Educagri, France. P 279.

-C-

Cahagnier B. (1996). Céréales et produit dérivé In: microbiologie alimentaire. Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments. Technique et Documentation Lavoisier, Paris. P 392-414.

Calvel R. (1984). La boulangerie moderne. Eyrolles, Paris. P11-459.

Cauvain S. P. (2003). Bread making: improving quality. Wood head Publishing in Food Science and Technology. New York. P 589.

Champion R. (1997). Identifier les champignons transmis par les semences. INRA. P 389.

Chassery P. (1991). Caractéristique physique des grains et de leur dérivée In les industries de première transformation des. Technique et Documentation Lavoisier, Paris. P 108.

Chibane H., Benamara S., Noui Y., Djouab A. (2007). Some physicochemical and morphological characterizations of céréales three varieties of Algerian common dates. *European Journal of Scientific Research*, 18 : 134-140.

Cruz J. F., Diop A. (1989). Génie agricole et développement : techniques d'entreposages. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et Agricultures. Rome. P 126.

Cruz J. F., Hounhouigan J., Lessard F. F. (2016). La conservation des grains après récolte. Presses Agronomiques de Gembloux, France. P 140.

-D-

Delphine C. (2006). Evaluation du procédé oxygène pour son potentiel de contamination en ochratoxines A du blé. Canada. P 25.

Djeridane A., yousfi M., Najemi B., Boutassouma D., Stocher pand vidal N. (2006). Antioxydant activity of some algrien medicinal plants extracts containing phenolic compound. *Journal Food Chemistry*, 97 : 654-660.

Djermoun A. (2009). La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Revue Nature et Technologie*, 1: 45-53.

Doukani K., Tabak S., Gourchala F., Mihob F., Ounes M., Benbaguara M. (2013). Caractérisation physico-chimique du blé fermenté par stockage souterrain (Matmora). *Revue Ecologie Environnement*, 1 : 9.

Doumandjl A., Doumandjl S. B., Doumandjl M. B. (2003). Technologie de transformations des blés et problèmes dus aux insectes au stock. Algje Office des Publications Universitaires. P126.

-E-

El-Haci I. A., Didi A., Atik-Bekkara F., Didi M.A. (2010). Teneurs en polyphénols et pouvoir antioxydant d'une plante médicinale endémique du Sahara algérien. *Natural products*, 10 : 280-285.

Emilio H., Gustavo A. (1999). Wheat: Ecology and Physiology of Yield. Haworth Press, London. P 462.

Ennadir J., Hassikou R., Ohmani F., Hammamouchi J., Bouazza F., Qasmaoui A., Mennane Z., Ouazzani Touhami t., Charof R., Khedid K. (2012). Qualité microbiologique des farines de blé consommées au Maroc. *Revue Canadian Microbiologie*, 58 : 145-150.

Evers A. D., Blakeney A. B., Obrien L. (1999). Cereal structure and composition. *Australia Journal of Agricultural Research*, 50 (5) : 625-650.

-F-

- FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations). (1995).** Le sorgho et le mil dans la nutrition humaine. Rome. P 142-194.
- Feillet P. (2000).** Le grain de blé : Composition et utilisation. INRA, Paris. P 308.
- Fredot E. (2005).** Connaissance des aliments, bases alimentaires et nutritionnelles de la diététique. 2^{ème} éd, Paris. P 397.
- Fortin F. (1996).** L'encyclopédie visuelle des aliments. Québec Amérique Internationales, London. P 689.
- Fortin J. (1999).** Le guide des aliments. Québec Amérique. P 203.

-G-

- Gacem M. A., Ould el hadj khelil A., Gacemi B. (2011).** Etude de la qualité physico-chimique et mycologique du blé tendre local et importe stocke au niveau de l'office algérien interprofessionnel des céréales de la localité de Saida. *African Journal of Biotechnology*, 1 : 67-76.
- Gacem M. A., Ouold el hadj KH. A. Gacemi B., Halla N., Djerbaoui A. N., Boudershem A., Hadeif S., Benreguiég M., Adli D. E. H. (2013).** Antimycotoxigenic and antifungal activities of *Citrullus colocynthis* seeds against *Aspergillus flavus* and *Aspergillus ochraceus* contaminating wheat stored. *African Journal of Biotechnology*, 12 (43) : 6222-6231.
- Groot I. (2004).** Protection des céréales et des légumineuses stockées. Fondation Agromisa. P 43.
- Godon B., Loisel w. (1997).** Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. 2^{ème} éd. Technique et documentation Lavoisier, Paris. P 819.
- Gourchala F., Hobamahoro A. F., Mihoub F., Henchiri C. (2014).** Effect of natural fermentation on the Nutritional quality of "El Hammoum" durum wheat (*Triticum Durum*) fermented product of the algerian country. *International Journal of Biology Technology and Research*, 4: 10-17.
- Guimarães R., Barros L., Barreira J. C., Sousa M. J., Carvalho A. M., Ferreira I. C. (2010).** Targeting excessive free radicals with peels and juices of citrus fruits: grapefruit, lemon, lime and orange. *Food and Chemical Toxicology*, 48(1), 99-106.
- Guirand J. P. (2003).** Microbiologie alimentaire. Série Agro-alimentaire. P 696.
- Guiraud J.P., Rosec J. P. (2004).** Pratique des normes en microbiologie alimentaire. Dunod, Paris. P 615.

-H-

- Hassan, E. G., Awad Alkareem, A. M., Mustafa, A. M. I. (2008).** Effect of fermentation and particle size of wheat bran on the antinutritional factors and bread quality. *Pakistan Journal of Nutrition*. 7: 521-526.

Haard N., Odunfa S. A., Lee C. (1999). Fermented cereals: A global perspective. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. P 116.

Halilat M. T. (2004). Effect of potash and nitrogen fertilization on wheat under saharan conditions. Laboratory of Saharan Bioressources : Safeguarding and Valorization. P 16.

Hayma J. (2004). Le stockage de produit agricole tropicaux. Fondation Agromisa. P 78.

Hoogland M., Holen P. (2005). Les greniers. Fondation Agromis, France. P 84.

-J-

Jaccot B., Campillo B. (2003). Nutrition humaine. Masson, Paris. P 311.

Jeantet R., Croguennec T., Schuck P., Brulé G. (2007). Science des aliments Lavoisier.Paris. P 456.

Jesperse L. (2003). Occurrence and taxonomic characteristics of strains of predominant in African indigenous fermented foods and beverages. FEMS Yeast Research. P 191–200.

Joffine J. N., Joffine C. (1999). Microbiologie alimentaire. Canopé-CRDP de Bordeaux. P 341.

JORA. (2013). Méthodes officielles analyses physico-chimiques relatives aux céréales relatives aux céréales et produits dérive. Journal Officiel de la République Algérienne N°35, 7 juillet 2000. Alger. P 19.

Juansn M.Y., Chou C. C. (2010). Enhancement of antioxidant activity, total phénolic and flavonoïd content of blacke soybeans by solide state fermentation with *Bacillus subtilis* BCRC 1475. *Food Microbiology*, 27 : 586-591.

-K-

Kalbaza K., Zadi-karam H., Karam N. E. (2018). Identification and major technological characteristics of *Lactococcus* and *Lactobacillus* strains isolated from "hamoum", an Algerian fermented wheat. *African Journal of Biotechnology*, 17(5) : P 108-117.

Kohajdova Z., Karovicova J. (2007). Fermentation of cereals for specific purpose. *Journal of Food and Nutrition Research*, 46: 51-57.

Kumari S., Guleria P., Dangi N. (2015). Cereal Based Beverages and Fermented Food : A Review. *International Journal of Enhanced Research in Science, Technology and Engineering*, 4 : 2319-7463.

-L-

Lecoq R. (1965). Manuel d'analyse alimentaire et d'expertise usuelles. Tome I. Doin.

Louembé D., Kéléké S., Kobawila S. C., Nzouz J. P. (2003). Bactéries lactiques de la pâte fermentée de maïs au Congo. *Tropicutura*, 21 : 3-9.

Lucia N., Assemato D. (1992). Après récoles des grains organisation et technologiques. organisation des nations unies pour l'alimentation et agricultures, Rome. p 129.

Lupien J. R. (1995). Le sorgho et le mil dans la nutrition humaine, Rome. P 200.

-M-

- Malgalhae L. M., Segundo M.A., Reis S., Lima J. (2008).** Methodological aspects about vitro evaluation of antioxidant properties. *Analytical Chemical Acta*, 613 : 1-19.
- Mansouri A., Emberk G., kokkalou E., Kefalas P. (2005).** Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food Chemistry*, 89 : 411-420
- Mehta B. M., Kamal-Eldin A., Iwansk R. Z. (2012).** Fermentation : effects on food properties. CRC prees. P 363.
- Miller D. D. (1996).** *Minerals* In: *Food Chemistry*. New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Mokhtari S., Kheroua O., Saidi D. (2016).** 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 again pathogenic germs. *Journal of Nutrition and Health Sciences*, 3 : 4.
- Multon J.L. (1982).** Conservation et stockage des grains et graines et produit dérivé. Technique et documentation Lavoisier, Paris. P 656.

-N-

- Nout M. J. R., Ngoddy P. O. (1997).** Technological aspects of preparing affordable fermented complementary foods. *Food Control*, 8 : 279-287.

-O-

- Osungbaro T. O. (2009).** Physical and nutritive properties of fermented cereal foods. *African Journal of Food Science*. Vol. 3, P 23-27.
- Othman A., Ismail A., Abdul Ghani N., Adenan I. (2007).** Antioxidant capacity and phenolic content of cocoa beans. *Food Chemistry*, 100 : 1523–1530

-P-

- Planchot V., Rossignol M. (2010).** Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. L'Université Blaise Pascal. P 275.

-R-

- Ribeiro S. M. R., Barbosa L. C. A., Queiroz, J. H., Knödler M., Schieber A. (2008).** Phenolic compounds and antioxidant capacity of Brazilian mango (*Mangifera indica* L.) varieties. *Food Chemistry*, 110(3) : 620-626.
- Roudaut H., Lefrancq E. (2005).** Alimentation théorique : Sciences des aliments. Doin, France. P 154- 160.

Ruch R. J., Cheng S. J., Klaunig J. E. (1989). Prevention of cytotoxicity and inhibition of intercellular communication by antioxidant catechins isolated from Chinese green tea. *Carcinogenesis*, 10(6) : 1003-1008

-S-

Saulnier L. (2012). Les grains de céréales : diversité et compositions nutritionnelles. *Cahiers de nutrition et diététique*, 47 : 4-15.

Sindic, M., Massaux C., Paridaens A. M., Lenartz J., Vancutsem F., Bodson B., Sinnaeve. (2009). Valorisation de l'amidon de blé. Presses Agronomiques de Gembloux. P 41.

Soltner D. (2005). Les grandes productions végétales. Sciences et Techniques Agricoles. 20^{ème} édi. P 3

-T-

Talbi H., Boumaza A., El-mostafa K., Talbi J., Hilali A. (2015). Evaluation de l'activité antioxydante et la composition physico-chimique des extraits méthanolique et aqueux de la *Nigella sativa* L. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6 (4) : 1111-1117.

Tamang J. P. (2010) a. Diversity of Fermented Foods. In Fermented foods and beverages of the world. CRC Press, USA. P 448.

Tamang J. P., Watanabe K., Holzapfel W. H. (2016) b. Diversity of Microorganisms in Global Fermented Foods and Beverages. *Frontier in microbiologie*, 7 : 28.

Triki T., Guasmi F., Boussora F., Ben Mohamed M., Ben Ali S., Guasmi A., Yahia H., Nagaz K. (2017). Etude de la composition phénolique et des propriétés antioxydantes d'extraits des feuilles de cinq variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) soumis à un stress hydrique (PEG 6000). *Revue des Régions Arides*, 653-659.

-U-

Udayakumar N. (2008). Safe storage guidelines for durum wheat. Master of science. P 104.

-W-

Watson R. R., Preedy V. R., Zibadi S. (2014). Wheat and rice in disease prevention and health. Academic Press is Amprint of Elsevier, London. P 559.

-Y-

Yao A.A., Egounlety M., Kouame L.P., Thonart P. (2009). Les bactéries lactiques dans les aliments ou Boissons amylacés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest : leur utilisation actuelle. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 153 : 54-65.

-Z-

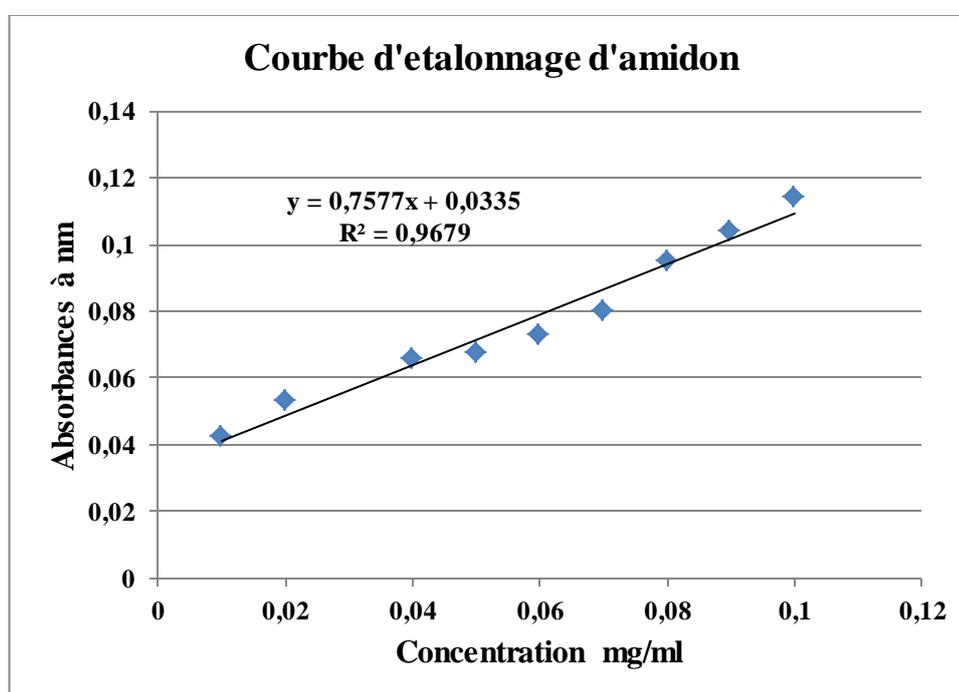
Zagorec M., Christieans S. (2013). Flores protectrices pour la conservation des aliments. *Quea*. P 142.

Annexes

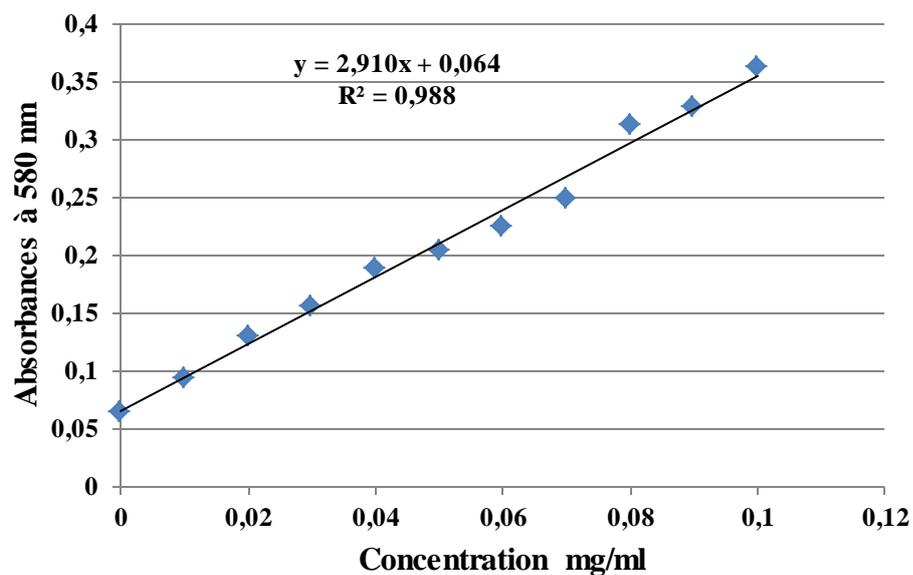
Annexe I : Composition des milieux de culture.

Milieu PCA	
Tryptone.....	5g
Peptone de levure.....	2.5g
Glucose.....	4g
Agar.....	9g
L'eau distillée.....	1dm ³
pH.....	7
Milieu MRS	
Peptone	10g
Extrait de viande	10g
Extrait de levure	5g
Glucose	20g
Tween 80.....	1ml
Phosphate bipotassique	2g
Acétate de sodium	5g
Citrate d'ammonium	2g
Sulfate de magnésium, 7 H ₂ O	0.2g
Sulfate de manganèse, 4 H ₂ O	0.5g
Agar	15g
Eau distillée qsp	1000ml
PH.....	6.5
Milieu Sabouraud	
Formule en g. L-1 d'eau distillée :	
Peptone pepsique de viande	10g
Glucose.....	20g
Chloramphénicol.....	0.5g
Agar	15g
pH =	7.0
Milieu VRBG	
Peptone de levure.....	3g
Glucose.....	10g
Cristal violet.....	2mg
Rouge neutre.....	30mg

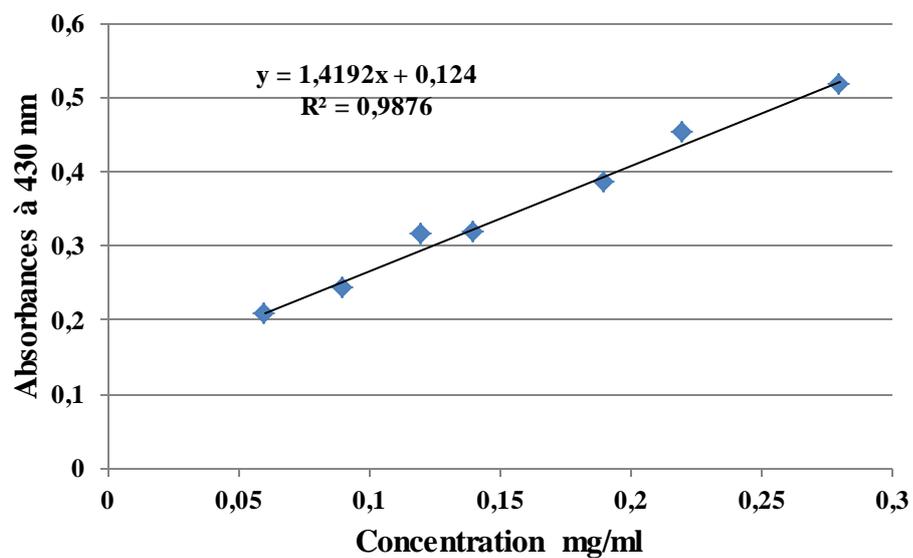
NaCl.....	5g
Peptone animal	7g
Sels Biliaires n°3.....	1.5g
Agar.....	9-18g
L'eau distillée.....	1dm ³
pH	7.4

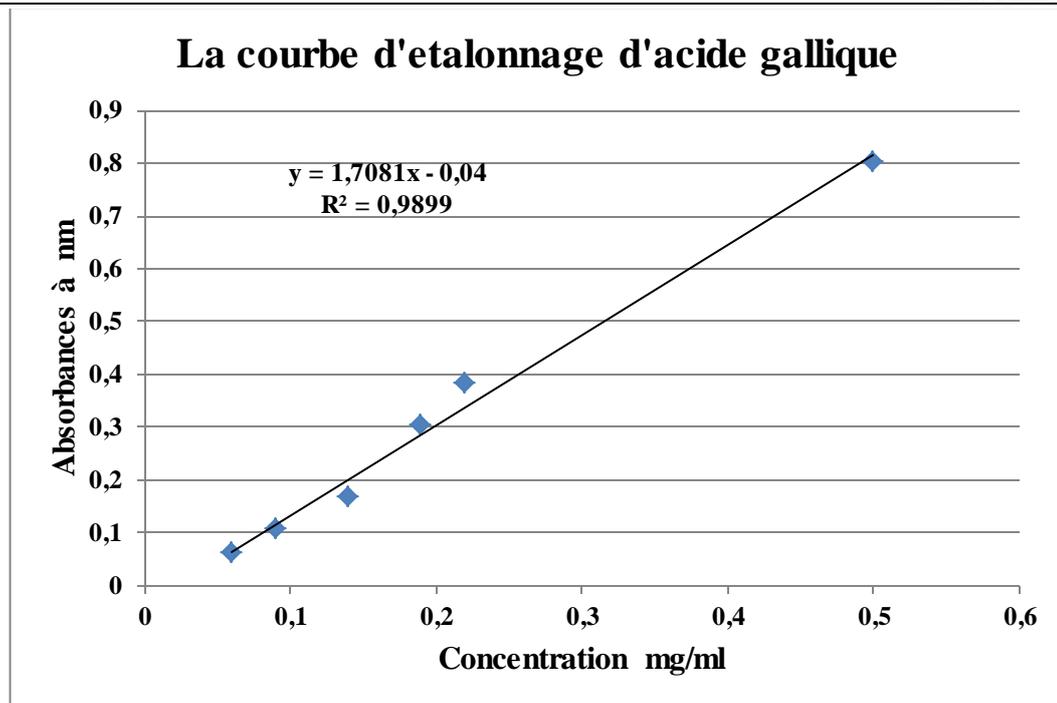
Annexe II : Courbes d'Étalonnage.

Courbe d'etalonnage d'amylose et l'amylopectine



La courbe d'etalonnage de la quercétine





❖ **Intervalle de signification**

$P < 0,05$ —→ différence significative.

$P < 0,01$ —→ différence très significative.

$P < 0,001$ —→ différence hautement significative.

Résumé

En l'Algérie, la conservation de blé se fait par différentes méthodes parmi ces méthodes, la conservation traditionnelle dans des entrepôts sous terrain appelé « Matmour ».

Notre travail a pour but de comparer la qualité physico-chimique, microbiologique et la valeur nutritionnelle du blé avant et après la fermentation naturelle, en vue d'évaluer l'effet de la fermentation sur ses qualités. D'après cette étude, les résultats ont montré que la fermentation naturelle du blé dans le Matmour a amélioré d'une manière générale la qualité du blé. En effet, nous avons noté une charge importante de microorganismes responsables de la fermentation naturelle avec absence totale des entérobactéries et des coliformes. La teneur en antioxydants (polyphénols 0.88 mg EAG/g et flavonoïdes 0.21 mgEQ/g en moyenne) était élevée en comparant avec le témoin. En plus, les échantillons du blé fermenté ont présenté des activités antioxydantes intéressantes (activité antiradicalaire du radical DPPH 26.50% contre 3.51%, réduction du fer 0.82 contre 0.14 et piègeage du peroxyde d'hydrogène 75.32% contre 36.03%).

Mots clé : blé fermenté, qualité microbiologique, qualité nutritionnelle, activité antioxydante.

Summary

In Algeria, the conservation of wheat is done by various methods among these methods, the traditional conservation in under ground silos called "Matmour".

Our work aims to compare the physicochemical, microbiological and nutritional value of wheat before and after natural fermentation, in order to evaluate the effect of fermentation on its qualities. According to this study, the results showed that the natural fermentation of wheat in Matmour has generally improved the quality of wheat. Indeed, we noted a significant load of microorganisms responsible for the natural fermentation with complete absence of enterobacteria and coliforms. The antioxidant content (polyphenols 0.88 mg EAG / g and flavonoid 0.21 mgEg / g in average) was high when compared with the control. In addition, the samples of fermented wheat showed interesting antioxidant activities (free radical scavenging activity of DPPH 26.50% against 3.51%, reduction of iron 0.82 against 0.14 and hydrogen peroxide scavenging activity 75.32% against 36.03%).

Key words: fermented wheat, microbiological quality, nutritional quality, antioxidant activity.

ملخص

في الجزائر، يتم الحفاظ على القمح بطرق مختلفة من بين هذه الطرق، التخزين التقليدي في مستودعات تحت الأرض المسماة "مطمور".

يهدف عملنا إلى مقارنة النوعية الفيزيائية والميكروبيولوجية والقيمة الغذائية للقمح قبل وبعد التخمير الطبيعي، من أجل تقييم تأثير التخمير على صفاته. وفقا لهذه الدراسة، أظهرت النتائج أن التخمير الطبيعي للقمح في المطمور قد أدى بشكل عام إلى تحسين جودة القمح. في الواقع، لاحظنا عدد كبيرة من الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن التخمير الطبيعي مع عدم وجود البكتيريا المعوية والكوليفورم تماما كما كان محتوى مضادات الأكسدة (المركبات الفينولية 0.88 mg EAG / g و الفلافونويدات 0.21 mgEg / g في المتوسط) مرتفعا بالمقارنة مع الشاهد بالإضافة إلى ذلك، أظهرت عينات من القمح المخمر أنشطة مضادات للأكسدة بنسب معتبرة (نشاط مضاد للجذر الحرّ 26.50% مقابل 3.51%، وخفض الحديد 0.82 مقابل 0.14 وحبس بيروكسيد الهيدروجين 75.32% مقابل 36.03%).

الكلمات المفتاحية: القمح المخمر، الجودة الميكروبيولوجية، الجودة الغذائية، النشاط المضاد للأكسدة.

