



**DEPARTEMENT D'AGRONOMIE**

**Mémoire de fin d'études**

Présenté par

**HOCINE Roufaida & REBA Lilia**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

**Spécialité : CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES ALIMENTS**

Thème :

**Bactérie lactique, composition en polyphenols et appétite  
nutritionnelle du hamoum**

Devant le Jury :

<b>Président : Benakriche Benmehel</b>	<b>Professeur</b>	<b>Université de Mostaganem</b>
<b>Encadreur : BEN ABDELMOUMENE</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Université de Mostaganem</b>
<b>Examineur : Saci Elhachemi</b>	<b>M.C.B</b>	<b>Université de Mostaganem</b>

“ On ne peut appeler homme d'état quelqu'un qui ignore tout des problèmes du blé ”

**SOCRATE**

“ Le blé est la monnaie des monnaies ”

**LENINE**

“ Le blé peut être regardé comme une production du sol, et sous cette vue, il appartient au commerce et à la législation économique. Ensuite il peut et doit être regardé comme la matière première la plus consommée et le premier soin dans l'ordre civil des sociétés, et sous ce point de vue, il appartient à la politique et à la raison d'état ”

**Abbé GALIANI**

## *Table des matières*

Résumé	
Abstract	
ملخص	
Dédicaces	
Remerciements	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux et des figures	
Introduction .....	1

### ***PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE***

I. Blé .....	3
1. Généralité .....	3
2. Production algérienne du blé .....	3
3. Importation du blé en Algérie .....	4
4. Définition du blé .....	5
5. Systématique .....	5
6. Composition du blé .....	6
6.1. Composition morphologique .....	6
6.2. Composition biochimique du blé .....	7
7. Caractéristique du blé dur et tendre .....	9
8. Caractéristique génétique du blé .....	11
9. Culture du blé .....	11
10. Cycle du développement .....	12
10.1. Période végétative .....	12
10.2. Période reproductive .....	13
10.3. Période de formation et de maturation du grain .....	13
11. Fermentation du blé .....	15
11.1. Fermentation .....	15
11.2. Blé fermenté .....	15
11.3. Effet de la fermentation .....	17

II.	Polyphénols.....	21
1.	Généralité.....	21
1.1.	Définition .....	21
1.2.	Biosynthèse des composés phénolique .....	21
1.3.	Classification .....	24
2.	Rôle des polyphénols.....	28
3.	Sources alimentaires des polyphénols .....	29
4.	Mode d'action des polyphénols.....	31
4.1.	Activité anti-oxydante.....	31
4.2.	Activité antimicrobienne .....	32
III.	Bactéries lactiques.....	33
1.	Généralité.....	33
2.	Historique et taxonomie.....	34
3.	Caractéristique des principaux genres des bactéries lactiques .....	36
3.1.	Genre lactobacillus.....	36
3.2.	Genre lactococcus .....	36
3.3.	Genre streptococcus .....	37
3.4.	Genre enterococcus .....	37
3.5.	Genres leuconostoc oenococcus et weissella.....	37
3.6.	Genres pediococcus et tetragenococcus .....	38
3.7.	Genre carnobacterium .....	38
3.8.	Genre bifidobacterium .....	39
4.	Propriété technologique .....	40
4.1.	Capacité acidifiante.....	40
4.2.	Capacité texturante.....	42
4.3.	Capacité aromatique.....	43
4.4.	Effet sur la santé (caractère probiotique).....	43
5.	Microbiote intestinale .....	44
5.1.	Définition du microbiote intestinale.....	44
5.2.	Compsition du microbiote intestinale .....	45
5.3.	Fonction du microbiote intestinale.....	48

## ***PARTIE II : ETUDE EXPERIMENTALE***

I.	Objectif général.....	49
II.	Matériels et méthodes.....	50

1. Article I : Qualité microbiologique du blé dur fermenté de Matmor « Hamoum » : indispositions digestives, microflore avantageusement technologique et potentiels pathogènes. ....	50
1.1. Objectif.....	50
1.2. Zone d'enquête .....	50
1.3. Matériels.....	50
1.4. Méthodes .....	50
2. Article II : Diversité des bactéries lactiques dans le blé fermenté hamoum dans l'ouest d'Algérie.....	52
2.1. Objectif.....	52
2.2. Lieu d'échantillonnage.....	52
2.3. Matériels.....	52
2.4. Méthodes .....	52
3. Article III : Blé fermenté traditionnel : Qualité nutritionnelle et évaluation sensorielle du pain produit à partir des composés de farine de blé fermentées. ....	56
3.1. Objectif.....	56
3.2. Lieu d'échantillonnage.....	56
3.3. Matériels.....	56
3.4. Méthodes .....	56
III. Résultat et discussion.....	58
1. Article I : Qualité microbiologique du blé dur fermenté de Matmor « Hamoum » : indispositions digestives, microflore avantageusement technologique et potentiels pathogènes. ....	58
1.1. Modalités de consommation et appréciation du hamoum .....	58
1.2. Qualité microbiologique du hamoum.....	60
1.3. Caractéristiques technologiques des isolats : capacité de production du biofilm et activité protéolytique .....	63
2. Article II : Diversité des bactéries lactiques dans le blé fermenté hamoum dans l'ouest d'Algérie.....	65
2.1. Aspect macroscopique et microscopique .....	65
2.2. Critères physiologiques et biochimiques.....	67
2.2. Critères physiologiques.....	67
3. Article III : Blé fermenté traditionnel : Qualité nutritionnelle et évaluation sensorielle du pain produit à partir des composés de farine de blé fermentées. ....	75
3.1. Analyse biochimique du blé fermenté traditionnel.....	75
3.2. Activité anti-oxydante de l'extrait de blé.....	77
IV. Interprétation des résultats des 3 articles.....	80
<b>CONCLUSION</b> .....	82

## Résumé

Le "Hamoum" est un aliment aux effets nutritionnels, obtenu après un long séjour du blé dans un silo souterrain appelé « Matmor », dans ce dernier les grains de blé subissent une fermentation spontanée.

Notre travail s'inscrit dans le cadre d'une comparaison entre trois articles sélectionnés afin d'évaluer la qualité microbiologique en termes de microorganismes bénéfiques et de potentiel pathogènes du blé fermenté et d'étudier ses propriétés physico-chimiques.

L'enquête réalisée dans le premier article a évalué le niveau d'appréciation du blé fermenté dans une population locale, l'échantillon était riche en microorganismes avantageusement technologiques et probiotiques (Bactéries lactiques, *Actinomyces* et *Bacillus*), mais il contenait aussi des microorganismes pathogènes et toxigènes (*Candida Krusei*, *Staphylococcus spp.*, *Micrococcus kristinae*, *Enterococcus durans*, et *Clostridium spp.*).

L'étude microbiologique du deuxième article a identifié 42 souches de bactéries lactiques à différents taux avec une prédominance de *Lactobacillus sp* avec un taux de (62%), suivi de (14%) de *Pediococcus sp*, (10%) *Streptococcus sp*, (10%) *Lactococcus sp* et 2 % d'*enterococcus sp*, la plupart des souches bactériennes d'acide lactique ont montré une activité amylolytique et protéolytique efficace.

Les résultats du troisième article ont montré que les échantillons sont plus ou moins riche en protéines (4,59%), fibres brutes (1%), matières grasses (11,29%), polyphénols (10,48 mg AGE / g) et flavonoïdes (7,99 mg QE / g). Ils montrent également une activité antioxydante intéressante.

**Mots clefs** : hamoum- matmor- bactéries lactiques- polyphenols- activité antioxydante.

## Astract

"Hamoum" is a food with nutritional effects, obtained after a long stay of the wheat in an underground silo called "Matmor", in the latter the wheat grains undergo spontaneous fermentation.

Our work is part of a comparison between three articles selected in order to assess the microbiological quality in terms of beneficial microorganisms and pathogenic potential of fermented wheat and to study its physicochemical properties.

The survey carried out in the first article assessed the level of appreciation of fermented wheat in a local population, the sample was rich in advantageously technological and probiotic microorganisms (lactic bacteria, Actinomyces and Bacillus), but it also contained pathogenic microorganisms and toxinogens (*Candida Krusei*, *Staphylococcus spp.*, *Micrococcus kristinae*, *Enterococcus durans*, and *Clostridium spp.*).

The microbiological study of the second article identified 42 strains of lactic acid bacteria at different levels with a predominance of *Lactobacillus sp* with a rate of (62%), followed by (14%) of *Pediococcus sp*, (10%) *Streptococcus sp*, ( 10%) *Lactococcus sp* and (2%) *enterococcus sp*, most bacterial strains of lactic acid showed effective amylolytic and proteolytic activity.

The results of the third article showed that the samples are more or less rich in protein (4.59%), crude fiber (1%), fat (11.29%), polyphenols (10.48 mg AGE / g) and flavonoids (7.99 mg QE / g). They also show interesting antioxidant activity.

**Keywords:** antioxidant activity- hamoum- lactic bacteria- matmor- polyphenols.

## ملخص

"الحموم" غذاء ذو تأثيرات غذائية، يتم الحصول عليه بعد مكوث طويل للقمح في صومعة تحت الأرض تسمى "مطمور"، وفي الأخير تخضع حبوب القمح للتخمير التلقائي.

عملنا هو جزء من مقارنة بين ثلاثة مقالات تم اختيارها من أجل تقييم الجودة الميكروبيولوجية من حيث الكائنات الحية الدقيقة المفيدة والقدرات المرضية للقمح المخمر ودراسة خصائصه الفيزيائية والكيميائية.

قيم المسح الذي تم إجراؤه في المقالة الأولى مستوى تقدير القمح المخمر في السكان المحليين، وكانت العينة غنية بالكائنات الحية الدقيقة التكنولوجية المفيدة والبروبيوتيك (البكتيريا اللبنية والشعيات والبكتيريا العصوية)، ولكنها احتوت أيضاً على الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض. والمواد السامة (*Staphylococcus spp. Micrococcus Candida Krusei* و *Enterococcus durans* و *kristinae* و *Clostridium spp.*)

حددت الدراسة الميكروبيولوجية للمقالة الثانية 42 سلالة من بكتيريا حمض اللاكتيك بمستويات مختلفة مع غلبة *Lactobacillus sp* بنسبة (62٪)، تليها (14٪) من *Pediococcus sp*، (10٪) *Streptococcus sp*، (10٪) *Lactococcus sp* و (2٪) *enterococcus sp*، أظهرت معظم السلالات البكتيرية من حمض اللاكتيك نشاطاً فعالاً لتحلل النشواني وتحلل البروتين.

أظهرت نتائج المقالة الثالثة أن العينات غنية بالبروتين (4.59٪) والألياف الخام (1٪) والدهون (11.29٪) والبوليفينول (10.48 مجم AGE / جم). وفلافونيدات (7.99 مجم QE / جم). كما أنها تظهر نشاطاً مثيراً للاهتمام كمضاد للأكسدة.

**الكلمات المفتاحية** الحموم- مطمور- بكتيريا حمض اللاكتيك- بوليفينول- نشاط مضادات الأكسدة.

## Dédicaces

Tout d'abord louange à dieu le tout puissant, qui m'a donné la force et la bonne volonté pour achever ce modeste travail, que je dédie :

À mes très chers parents, Pour leurs amours, leurs soutiens, et leurs efforts qui m'ont tant aidé durant toutes mes années d'études et dans tous les moments qui accompagnent ma vie.

À mon très cher mari Hamid pour ses encouragements et ses sacrifices.

À mes chères enfants, Mohamed Anas et Mohamed Zakaria qui m'ont porté bonheur, à mes chères sœur Hind et Batoul, mon cher frère Mohamed Cherif, ma nièce Anahid et mon neveux Mohamed Moncef

À toute ma famille et mes amis surtout Mama

À ma très chère amie, copine, et binôme « Lilia » pour ses encouragements, son soutien moral, et sa compréhension durant toute l'année universitaire.

*Roufaïda*

## Dédicaces

À celui qui a toujours été mon support dans cette vie, celui qui donne sens à mon existence mon très cher mari ISMAIL.

À mes très chers enfants qui me donne le courage de continuer à chaque fois que j'ai l'impression de reculer AYMAN, RAJAA, SADJIDA et RODAINA.

À mes chers parents qui ont tout donné pour que je sois meilleure.

À mes chers frères MOHAMED, HABIB et ISLAM.

À mes chers sœurs DJAOUIDA et DOUAA.

À mon beau-frère EL HACHEMI qui m'a toujours soutenu et encouragé.

À ma très chère amie ROUFAIDA à qui je porte beaucoup d'estimes.

## REMERCIEMENTS

Nos remerciements à toutes personnes ayant contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Nos plus vifs remerciements à notre directeur de thèse Mr. **Bennabdelmoumen Djilali** (maître de conférences A) à l'université de Mostaganem pour le sujet proposé, ses orientations subtiles et ses conseils.

Nous remercions tous les membres du jury pour avoir accepté de juger ce modeste travail, à Mr. **Benakriche Benmehel** professeur à l'université de Mostaganem qui a accepté de présider ce jury et à Mr. **Saci Elhachemi** (maître de conférences B) à l'université de Mostaganem qui nous a fait l'honneur d'évaluer notre modeste travail .

Nos profonds remerciements vont également à notre professeur Mme **Henni Nassiba** qui nous a encouragé et orienté.

Un grand merci à Mlle **Kiniouar Rania** pour son aide, sa collaboration et ses précieux conseils.

## Liste des abréviations

**ADH** : Arginine dihydrolase

**ADN**: Acide désoxy-ribonucléique

**AFNOR** : Association française de normalisation

**AOAC** : Official Methods of Analysis.

**ARN**: Acide ribo-nucleique

**CHS** : chalcone synthase

**DO** : Densité optique

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

**EAG** : Equivalent en acide gallique

**EBFT** : Extrait de blé fermenté traditionnel

**EOR** : Espèces oxygénées réactives.

**EQ** : Equivalent en Quercétine

**g** : gramme

**H<sub>2</sub>S**: sulfure d'hydrogène

**IGA** : immunoglobuline

**M17** : gélose de Terzaghi

**mg** : milligramme

**MRS** : De Man, Rogosa et Sharpe

**MS-MALDI-TOF** : Matrix-assisted laser desorption/ionization–time of flight mass

**Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>** : Carbonate de sodium

**O<sub>2</sub><sup>-</sup>** : Ion radicalaire super oxyde

**OAIC** : Office algérien interprofessionnel des céréales

**TCP** : teneur en composés phénoliques

**TSI**: Lactose Sucrose-H<sub>2</sub>S

**YMK** : gélose au lait de levure

## Liste des figures

**Figure 1 :** Structure du grain de blé (Surget et Barron, 2005)

**Figure 2 :** Les stades repères de la vie du blé ( Hadria, 2006)

**Figure 3 :** Formes typiques de « matmora ». (Bartali, 1987)

**Figure 4 :** Aspect de blé fermenté (Bekhouché *et al* ; 2013).

**Figure 5 :** Structure du noyau phénol (Kubow, 1990)

**Figure 6 :** Représentation des voies de biosynthèse des polyphénols (Akroum, 2005)

**Figure 7 :** Structures chimiques des acides hydroxybenzoïques (Farag *et al.*, 2003).

**Figure 8 :** Structures chimiques des acides hydroxycinnamiques (Pétrier *et al.*, 2008).

**Figure 9 :** Squelette de base des flavonoïdes (Mouffok, 2011).

**Figure 10:** Structure chimique (a) d'un tanin condensé (proanthocyanidine) et (b) d'un gallotanin (1,2,3-tri-O-galloyl- $\beta$ -D-glucose) (Peters, 1995).

**Figure 11:** Flavonoïdes et leurs sites proposés pour l'activité antioxydant comme la chélation des ions métalliques (Chabil, 2006).

**Figure 12 :** Arbre phylogénétique consensus, basé sur la comparaison de séquence d'ARNr 16S, montrant les principaux groupes de bactéries lactiques, ayant un faible contenu mol % de G+C de l'ADN ainsi que les bactéries Gram positives non reliées des genres *Bifidobacterium* et *propionibacterium* (Holzapfel *et al.*, 2001).

**Figure 13 :** Voies homofermentaire, hétérofermentaire et bifide de la dégradation du glucose (Drider et Prevost, 2009).

**Figure 14 :** Le microbiote du tractus digestif (Coudeyras et Forestier, 2010).

**Figure 15 :** phylums principaux. Représentation des 04 phylums principaux du microbiote intestinal dans les proportions décrite par Peris-Bondia, 2011.

**Figure16 :** Fonctions du microbiote intestinal (O'Hara et Shanahan, 2006).

**Figure 17:** 1. A. fréquence de consommation, B. distribution de l'âge de la première

consommation/découverte, C. cadre de consommation (en famille ou non), D. mode acquisition, E. forme de consommation, F. Accompagnement et G. indisposition digestive (Enquête dans la région de Relizane, Algérie – Survey realized in Relizane, Algeria)

**Figure 18** : Spectres MALDI-TOF & Coloration de Gram – Identification présumptive de – MALDI-TOF Spectra & Gram staining- Presumptive identification of A *E. durans* (BFR5), B. *L. fusiformis*, et de C *C. krusei* (Assortis avec les spectres standards de la base NCBI – Spectra matching using NCBI references)

**Figure 19** : Spectres MALDI-TOF & Coloration de Gram – Identification présumptive de – MALDI-TOF Spectra & Gram staining- Presumptive identification of A *E. durans* (BFR5), B. *L. fusiformis*, et de C *C. krusei* (Assortis avec les spectres standards de la base NCBI – Spectra matching using NCBI references).

**Figure 20** : Répartition des souches de bactéries lactiques dans le blé fermenté

**Figure 21**: Activité de récupération DPPH de différentes concentrations d'extraits de blé fermenté traditionnel. ND: non déterminé

## Liste des tableaux

**Tableau 1** : Composition chimique d'un grain de blé (**Feillet**, 2000).

**Tableau 2** : Differences entre blé tendre et blé dur (**Aidani**, 2015).

**Tableau 3** : Principaux aliments fermentés de l'Afrique de l'Ouest (**Yao et al.**, 2009)

**Tableau 4** : Bactéries lactiques isolées au cours de la fermentation d'aliments à base de céréales (**Yao et al.**, 2009)

**Tableau 5** : La grande famille des polyphenols (**Defraigne et Pincemail**, 2008)

**Tableau 6** : Principales caractéristiques biologiques et métaboliques des bactéries lactiques (**Axelsson**, 2004)

**Tableau 7** : Caractères culturaux, microscopiques et biochimiques et identification présumptive des isolats.

**Tableau 8**: Aspect macroscopique et microscopique des souches de bactéries lactiques dans l'agar M17

**Tableau 8a**: Aspect macroscopique et microscopique des souches de bactéries lactiques dans le MRS agar

**Tableau 8b**: Aspect macroscopique et microscopique des souches de bactéries lactiques dans le MRS agar

**Tableau 9**: Profil physiologique et biochimique des souches de bactéries lactiques dans l'agar M17

**Tableau 9a**: Profil physiologique et biochimique des souches de bactéries lactiques dans la gélose MRS

**Tableau 9b:** Profil physiologique et biochimique des souches de bactéries lactiques dans la gélose MRS

**Tableau 10 :** Caractéristiques biochimiques du blé fermenté traditionnel

## Introduction

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins. En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire et dans l'économie nationale. Les céréales sont définies comme des graines amylacées (riches en amidon) pouvant être transformées en farines et semoules à usage alimentaire. (**Aubert**, 1985).

Le blé (*Triticum sp*) est la céréale la plus cultivée par le monde et ses produits sont très importants dans la nutrition humaine, car ils fournissent un tiers des besoins en protéines et en énergie nécessaire pour un adulte (environ 2400kcal) (**Alfonso et al.**, 2013). Les travaux de **Lloyd et al.** (2000) ont montré que les grains de blé contiennent des quantités enlevées de différentes classes de composés phénoliques comme les acides phénoliques, les anthocyanidines, les quinones, les flavonoïdes et les composés phénoliques aminés. Le plus important polyphénol des plantes, sur le plan du volume, est la lignine (**Daniel et al.**, 1999).

La production des céréales est assurée par une seule récolte dans l'année alors que la période de consommation est prolongée tout au long de l'année, d'où la nécessité du stockage. Actuellement leur stockage se fait en vrac ou en des silos pour les grandes quantités. Par contre, les paysans dans les zones rurales stockent leurs produits dans la plupart des cas au niveau du matmor.

Le mode de stockage de blé en Algérie est bien connu de la population, Il est utilisé à petites échelles au sein de certaines petites exploitations familiales en milieu rural et péri-rural de certaines régions de l'Algérie (Tiaret, Relizane, Mascara et Ghardaïa). Ce blé traditionnellement conservé dans les silos souterrains, permet la prolifération de nombreux microorganismes qui entraînent la fermentation du blé, dénommé «Hamoum».

La fermentation est considérée comme l'un des procédés le plus ancien et le plus économique dans la conservation et la transformation des matières premières alimentaires. Elle prolonge leur durée de vie, en éliminant les facteurs toxiques et antinutritionnels. Leurs propriétés organoleptiques et nutritionnelles sont également améliorées (**Tamang**, 2010).

Parmi les microorganismes associés au blé fermenté (**Gourchala et al., 2014**), les bactéries lactiques jouent un rôle dans la fermentation des matières premières animales et végétales. Leurs principales fonctions comprennent : la production d'acides organiques et des composés aromatiques, l'inhibition des microorganismes pathogènes, les propriétés probiotiques, l'élaboration de la texture de l'aliment et la dégradation des composés toxiques (Yao et al., 2009).

Le microbiote des aliments fermentés tel que hamoum peut donc jouer différents rôles bénéfiques pour l'Homme. En effet, les aliments fermentés peuvent être une source de microorganismes probiotiques bénéfiques lorsque le produit est consommé sans étape de cuisson après la fermentation, gardant ainsi les microorganismes vivants et capables d'exercer leur effet probiotique. La définition la plus utilisée des probiotiques est la suivante : « microorganisme vivant qui ingéré en quantité suffisante procure un effet bénéfique sur la santé de l'hôte » (**FAO, 2001**). Les effets probiotiques démontrés sont la stimulation du système immunitaire, la prévention et la réduction de l'intensité et de la durée des épisodes diarrhéiques et la réduction de l'intolérance au lactose (**Rijkers et al., 2010**).

C'est dans ce contexte, nous avons entrepris notre étude afin de connaître l'influence de la fermentation due au stockage par la technique traditionnelle (Matmor) sur le blé. Pour la partie expérimentale, nous avons sélectionné les travaux de 3 articles qui s'intéressent aux principales souches responsables de la fermentation, et des modifications physicochimiques et phytochimiques occasionnées par ces dernières.

***PARTIE I :***  
***ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE***

# I. Blé

## 1. Généralités

Depuis des milliers d'années, l'humanité a utilisé diverses ressources trouvées dans son environnement afin de traiter et soigner différentes maladies (**Lhuillier A.**, 2007); Les plantes, les racines, les fruits, les légumes, les céréales et autres, ont toujours été connus pour leurs Propriétés nutritives, mais aussi pour leurs vertus curatifs. Le premier texte écrit sur la médecine artisanale par les plantes et les aliments, est gravé sur des tablettes en argile en caractère cunéiforme. Durant des milliers d'années, la phytothérapie« une médecine vieille comme le monde » a constitué la principale source de remèdes contre de nombreuses maladies (**Gildo**, 2006).

Le continent africain est un des continents dotés d'une biodiversité riche, avec une Avalanche de beaucoup de plantes utilisées comme herbes, aliments naturels comme le blé pour des buts thérapeutiques. C'est en grande partie dû à la géographie vaste englobant une masse de terre approximativement de 216.634.000 hectares de secteurs forestiers fermés.

Plus de 5.000 substances naturelles ont été identifiées et beaucoup d'entres elles se sont avérées utiles dans la médecine (**Farombi**, 2003). De même, dans les pays développés, la médecine traditionnelle est également très populaire. Les céréales, le blé en particulier, occupent une place importante dans la production agricole et constitue la nourriture de base pour 35% de production mondiale (**Mebarkia et al.**, 2005).

## 2. La production Algérienne du blé

Les céréales et leurs dérivés constituent l'épine dorsale du système alimentaire algérien. Effectivement, les céréales constituent la base du modèle de consommation alimentaire dans ce pays, comme dans la plupart des pays méditerranéens. 54% des apports énergétiques et 62% des apports protéiques journaliers provenaient de ces produits en 2003 et le blé représentait 88% des céréales consommées (**Kellou**, 2008). L'Algérie se situe ainsi au premier rang mondial pour la consommation de blé avec plus de 200 kg en 2003.

L'Algérie a réalisé une récolte record de 3,9 millions de tonnes (Mt) sur la campagne 2018/2019, soit une hausse de 61% de la production, dont 3,15 Mt de blé dur. Le pas vers une

autosuffisance en blé dur est presque franchi, mais il reste à développer la production de blé tendre qui continue de peser sur les importations algériennes (**El watan**, 30/05/2019)

Par ailleurs, Le gouvernement algérien a récemment annoncé une réduction de 35,55 % des importations de blé tendre pour l'année 2020 : 4 M tonnes seront importées contre 6,5 M tonnes en 2019 (4,6 M tonnes/an de blé importés de France – campagne 2018/2019). (**businessfrance.fr**, 03/12/2019).

La production nationale en constante évolution est l'un des facteurs ayant conduit à cette décision. Elle a affiché 6 M tonnes de blé, chiffre encourageant même s'il demeure encore insuffisant par rapport aux besoins nationaux. Second facteur, l'informel, via la fraude et la corruption, qui entrave la filière céréales. (**businessfrance.fr**, 03/12/2019).

### **3. importation du blé en Algérie**

L'Algérie constitue le principal débouché du blé français à l'export. La part d'origine tricolore dans les imports du pays varie chaque année, et pourrait bien être réduite dans les années à venir face à la concurrence grandissante du blé russe. Par ailleurs, la lutte contre la corruption au sein de l'OAIC, organisme d'État pour l'importation des céréales, devrait permettre à l'Algérie de rationaliser davantage ses utilisations de blé (**Terre net media**, 19/02/2020).

La crise sanitaire actuelle et ses répercussions sur l'approvisionnement de la population en céréales semblent pousser l'Office algérien interprofessionnel des céréales (OAIC) à accélérer et avancer la date de ses achats sur le marché international, afin de constituer les stocks nécessaires et éviter toute rupture (**El watan**, 02/04/2020).

L'Algérie vient ainsi de commander environ 250 000 tonnes de blé, pour livraison en juin, dans un contexte de marché où les disponibilités de fin de campagne se réduisent, selon les sites spécialisés. L'OAIC avait acheté également, durant le mois qui vient de s'écouler, des cargaisons de 50 000 et de 240 000 tonnes de blé tendre, probablement d'origine française. Une cargaison de 400 000 tonnes de blé dur avait été également commandée par l'Algérie il y a quelques semaines. Des achats nombreux et rapprochés qui ont été également effectués à des prix en nette hausse, notamment compte tenu des difficultés de logistique dues à la pandémie de coronavirus (**El watan**, 02/04/2020).

#### 4. Définition du blé

Les céréales sont un groupe de plantes annuelles cultivées, appartenant à la famille des *Poaceae* (**Guignard et Dupont, 2004**). Cette famille, parmi toutes celles du règne végétal, occupe une place à part, non seulement par le nombre de ses espèces, 9000, mais encore son ubiquité, sa répartition et son intérêt humain, historique comme économique (**Guignard et Dupont, 2004**). La plante de blé comme toutes les céréales, est un système vivant qui peut être divisé en deux parties: une partie souterraine assurant la communication sol/plante, c'est le système racinaire. Et une partie aérienne permettant les échanges plante-atmosphère, et notamment le processus de photosynthèse et de transpiration (**Hadria, 2006**).

#### 5. Systématique (d'après **Moule, 1980**)

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae* ou *Poaceae* (**Branlard, 2010**). Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*Triticum durum*) mais il existe de nombreuses autres espèces de *Triticum* qui se différencient par leur degré de ploïdie et par leur nombre de chromosomes (14,28 ou 42). Le blé dur contient deux génomes AA et BB et 28 chromosomes (**Feillet, 2000**).

<b>Règne</b>	Plantae
<b>Sous-règne</b>	Tracheobionta
<b>Division</b>	Magnoliophyta
<b>Classe</b>	Liliopsida
<b>Sous-classe</b>	Commelinidae
<b>Ordre</b>	Cyperales
<b>Famille</b>	Poaceae
<b>Sous-famille</b>	Pooideae
<b>Tribu</b>	Triticeae
<b>Genre</b>	Triticum

**Blé tendre** *Triticum aestivum*

**Blé dur** *Triticum durum*

## 6. Composition du blé

### 6.1. Composition morphologique

Morphologiquement le blé dur se différencie du blé tendre (**Soltner**, 2005). Le grain de blé dur est gros, de section triangulaire très riche en albumen et de texture vitreuse (**Hadria**, 2006). Il possède un système racinaire assez développé par rapport à celui du maïs ou graminées (**Hadria**, 2006). Physiologiquement, le grain est constitué par le germe qui donne la plantule, l'amande appelée endosperme ou albumen, tissu de stockage qui fournit au germe les réserves nécessaires pour sa croissance et les enveloppes protectrices qui sont composées par la paroi de la graine (testa) et par la paroi du fruit (péricarpe) (**Doumandji et al.**, 2003). La structure des grains de diverses céréales est assez semblable.

- **L'enveloppe**

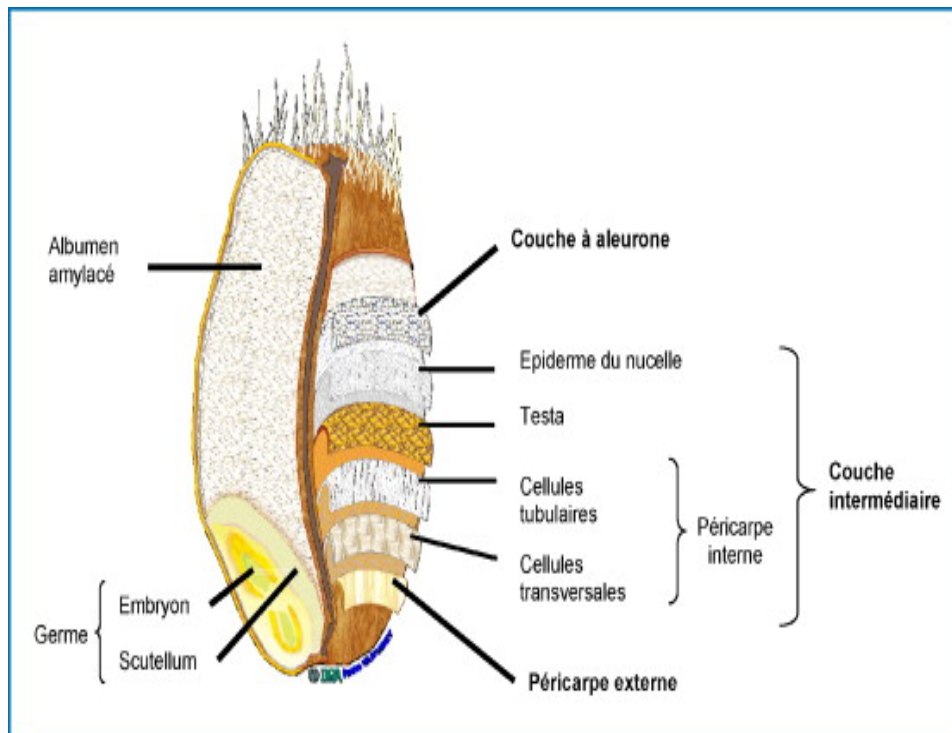
C'est la pellicule cellulosique qui protège le grain pendant sa formation dans l'épi, au cours de sa conservation et aussi pendant la levée, dans le sol en limitant l'entrée des moisissures et des bactéries. Toutefois le péricarpe n'est pas étanche et permet le passage de l'air et de l'eau (**Cruz et al.**, 1988). L'enveloppe représente environ 12 à 14% du poids du grain de blé (**Bonneau**, 2003), elle est formée; du péricarpe riche en fibres cellulosique et sels minéraux et d'une assise protéique ou couche à aleurone qui représente la première assise constitutive de l'albumen, riche en protéines, lipides, pentosanes, hémicellulose et minéraux (**Godon et Willm**, 1991).

- **L'amande farineuse ou l'endosperme**

Constitue presque tout l'intérieur du grain (environ 80% - 85% du poids du grain). On y trouve l'essentiel des réserves énergétiques qui nourrissent la plantule au moment de la germination (**Bonneau**, 2003).

- **Le germe**

Comprend 2 parties, la plantule (future plante) et le cotylédon (réserve de nourriture très facilement assimilable, destinée à la plantule) qui contient l'essentiel des matières grasses du grain; Il représente 2% du poids du grain de blé (**Alves et Xavier**, 2002).



**Figure 1** : Anatomie schématique du grain de blé et proportions relatives des principaux tissus du grain adaptée à **Surget et Barron**, 2005

## 6.2. Composition biochimique du blé

La composition biochimique du grain de blé diffère avec la variété et le milieu (**Leygue**, 1995); On trouve parmi les constituants du grain:

- **Les glucides**

Les glucides contenus dans les céréales sont essentiellement de nature macromoléculaire ; ils se présentent également sous la forme de quelques sucres simples (Glucose, fructose, saccharose, etc.), mais surtout de composés plus ou moins complexes. Le plus important est l'amidon qui est la substance énergétique par excellence, facilement digestible (**Cotty et Bhatnagar**, 1994). Les parois cellulaires des céréales sont constituées principalement de cellulose, hémicellulose, pentosane et de lignine. Toutes ces molécules forment dans la paroi une structure à la fois résistante et plastique, rigide et évolutive qui garantit la protection sans compromettre la croissance (**Leloup et Buleon**, 1991).

- **Les protides**

Ce sont des composés azotés que l'on rencontre sous forme simple (acides aminés) et sous forme plus complexe (protéines). La teneur en protéines des céréales et des protéagineux varie suivant les espèces, elle est en moyenne de 43 % pour le soja, 12 % pour le blé, 11 % pour l'orge et seulement 10 % pour le maïs. Certains de ces acides aminés, telle la lysine, sont indispensables pour l'alimentation animale (substance nécessaire à la croissance). (Feillet, 2000).

Les protides jouent un rôle important, tant du point de vue alimentaire que pour les différentes technologies de transformation des céréales. Les protides de blé sont essentiellement composés de protéines (8% à 12%). Les principales sont : des protéines de réserves insolubles plus abondantes : gliadines ou prolamines et les glutélines; des protéines solubles présentes en petite quantité: albumines et globulines (Alves et Xavier, 2002). Ces protéines constituent le gluten qui confère au blé ses propriétés panifiables.

- **Les lipides**

Ils sont peu abondants dans les grains et sont fortement concentrés dans le germe. Leur teneur se situe autour de 2%. Certains sont libres, mais la majorité est associée aux protéines et à l'amylose (Leygue, 1995).

- **Les vitamines**

Ce sont des composés chimiques complexes, surtout concentrés dans le péricarpe et le germe à des teneurs très faibles. Les grains de blé contiennent surtout des vitamines du groupe B à l'exception de la vitamine B12 et sont dépourvus de vitamine D et A (Bonneau, 2003).

- **Matières minérales**

le manganèse et le cuivre. Ils sont souvent associés ou présents sous forme des sels tels que Elles représentent 1,5 à 2 % du total de grain de blé (Nuret, 1991). Les minéraux sont présents dans les grains de blé en faible quantité. Les principaux sont le phosphore, le potassium, les phosphates de chlorures ou de sulfates (ITCF, 2003).

- **Les enzymes**

Ce sont aussi des substances complexes, mais dont le rôle est très important; Ils sont responsables des transformations que subissent les autres substances (hydrolyse de l'amidon et des protéines, destruction des sucres simples et des acides aminés) (Feillet, 2000).

- **L'eau**

Les grains sont naturellement peu hydratés, leur teneur en eau varie avec le taux d'humidité de l'air. L'équilibre se situe entre 13% et 15%. Du point de vue chimique et physique, son action solvant favorise les réactions enzymatiques et les attaques microbiennes lorsque sa teneur dans le grain dépasse le seuil d'équilibre (Feillet, 2000).

**Tableau 01** : Composition chimique d'un grain de blé (Feillet, 2000).

	<b>Eau (%)</b>	<b>Glucides totaux (%)</b>	<b>Matière protéique (%)</b>	<b>Matière grasse (%)</b>	<b>Matière minérale (%)</b>
<b>Blé entier</b>	<b>13</b>	<b>68-72</b>	<b>10</b>	<b>1.5-2</b>	<b>1.7-2.1</b>
<b>Enveloppe</b>	<b>13</b>	<b>65-68</b>	<b>17-19</b>	<b>4-5</b>	<b>6-7</b>
<b>Amande farineuse</b>	<b>13</b>	<b>74-76</b>	<b>9-12</b>	<b>0.7-1</b>	<b>0.4-0.5</b>
<b>Germe</b>	<b>13</b>	<b>37-43</b>	<b>22-32</b>	<b>15-18</b>	<b>4-5</b>

## **7. Caractéristiques du blé dur et tendre**

Le blé tendre et le blé dur se différencient au niveau de la forme, l'aspect de la plante, leurs utilisations etc., les différences qui existent entre un blé tendre et un blé dur sont résumées dans le tableau (Tableau 02).

**Tableau 02** : Différences entre blé tendre et blé dur (Aidani, 2015)

<b>Caractères</b>	<b>Blé tendre</b>	<b>Blé dur</b>
<b>Aspect génétique</b>	3 génomes A,B et D  $2n = 42 = 3 \times (2 \times 7)$	2 génomes A et B  $2n = 28 = 2 \times (2 \times 7)$
<b>Prédominance</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De l'amidon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Des protéines</li> </ul>
<b>Aspect de la plante</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feuilles très étroites</li> <li>• Maturation rapide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Feuilles larges</li> <li>• Maturation très longue</li> <li>• Moisson tardive exigeante du point de vue sol et climat.</li> </ul>
<b>Forme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Texture opaque</li> <li>• Structure de l'amande farineuse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Texture vitreuse</li> </ul>
<b>Utilisation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtention de la farine utilisée dans la fabrication du pain et des biscuits.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtention de la semoule à partir de laquelle on fabrique de la galette, du cous-cous et des pâtes alimentaires.</li> </ul>

## 8. Caractéristiques génétiques du blé

Le genre *Triticum* comprend les espèces sauvages et domestiques généralement considérées comme du blé ce dernier est une espèce allopolyploïde, provenant d'hybridations interspécifiques spontanées et d'un doublement du nombre chromosomique procurant un enrichissement génétique en rassemblant les génomes de différentes espèces (**Hoyt, 1992**). Ils sont groupés dans trois classes de ploïdie, dont le nombre haploïde de base est sept, le nombre chromosomique de ces espèces est également un multiple de ce nombre. Ils sont soit diploïdes ( $2n=2x=14$  ; AA, BB, densité double) et il existe deux espèces : *Triticum urartu* et *Triticum boeoticum* et ce dernier, est l'ancêtre sauvage de l'engrain domestiqué ; *Triticum monococcum*. Ou tétraploïdes ( $2n=4x=28$  ; AABB) ou hexaploïdes ( $2n=6x=42$  ; AABBDD), et il n'existe pas de blé hexaploïdes sauvage, car le blé hexaploïdes a évolué sous l'effet de la domestication (**Van Slageren, 1994**).

Le croisement naturel *Triticum monococcum* (génome A) X *Aegilops (bicornis, speltoides, longissimaou searsii)* (génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AABB(*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoïdes*), qui a ensuite progressivement évolué vers *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccum*, puis vers *Triticum durum* (blé dur cultivé). Les blés tendres cultivés (AABBDD) seraient issus d'un croisement naturel, entre *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccum* (AABB) et *Aegilops squarrosa*(DD) (**Henry et De Buyser, 2001**).

## 9. Culture du blé

Le blé (*Triticum aestivum* L. et *Triticum durum* Desf.) est cultivé par l'homme depuis le néolithique (**Bonjean, 2001**). Originaire du croissant fertile, cette culture occupe actuellement une place centrale dans l'agriculture mondiale. Elle est d'un intérêt économique majeur en France depuis plusieurs décennies (**Bergez et al., 2009**).

Le blé tendre (*T. aestivum*) et le blé dur (*T. durum*) sont économiquement les espèces céréalières les plus importantes qui se sont adaptées à des conditions naturelles très variées. **Epstein et al.** (1980) observent une variabilité de la tolérance à la salinité au sein de 5000 accessions de blé. Le blé tendre hexaploïde apparaît généralement plus tolérant au sel que le blé dur tétraploïde (**Alem et al., 2002**)

Le blé dur est bien adapté aux régions à climat relativement sec, où il fait chaud le jour et frais

la nuit durant la période végétative, ce qui est typique des climats méditerranéens et tempérés. Les semences peuvent lever à aussi peu que 2 °C, même si la température optimale est de 15°C (**Bozzini**, 1988). La plus grande partie du blé dur produite dans le monde est constituée de blé de printemps ; toutefois, il existe des variétés de blé dur d'hiver (qui ont besoin de vernalisation pour amorcer la transition de la phase végétative à la phase reproductrice) ; ces variétés ont été évaluées en vue de la production dans le Sud des États-Unis (**Domnez et al.**, 2000).

Le blé tendre ou froment, de loin le plus important, est davantage cultivé sous moyennes latitudes (par exemple en France, aux USA, au Canada, en Ukraine). Il est cultivé pour faire de la farine (pain et biscuits) et pour l'alimentation animale. Il entre aussi dans la composition de nombreux produits industriels à usage non alimentaire (papier, pharmacie, bioéthanol...). (**Germon**, 2012).

## 10. Cycle du développement

Le cycle de développement du Blé est jalonné par une série de transformations qui concernent la tige et l'épi (figure 2). On distingue trois périodes essentielles :

### 10.1. Période végétative

- **Germination**

La germination commence quand le grain absorbe de 20 à 25 % de son poids en eau, et que le sol peut lui fournir l'humidité, la chaleur et l'oxygène nécessaire. Le blé germe dès que la température dépasse le zéro de végétation (0°C), avec un optimum thermique entre 20 à 22°C. En conditions normales, la durée de cette phase est de 73 à 75 jours avec une somme des températures est de 125°C. (**Bebba**, 2011).

- **Levée**

La levée commence quand une première feuille paraît au sommet de la coléoptile. L'axe portant le bourgeon terminal se développe en un rhizome dont la croissance s'arrête à 2 cm en dessous de la surface du sol. Le rythme d'émission des feuilles est réglé par des facteurs externes comme la durée du jour et la température. La somme de température séparant l'apparition de deux feuilles successives est estimée à 100°C et varie entre 80°C pour le semis tardif et à 110°C pour le semis précoce. (**Bebba**, 2011)

### ➤ Tallage

Après le stade 3 feuilles qui est une phase repère pour le développement du blé, ils se forment des bourgeons à l'aisselle des feuilles donnant ainsi des thalles. Chaque thalle primaire donne des thalles secondaires.

Il apparaît à partir de la base du plateau de tallage, des racines secondaires ou adventives, qui seront à l'origine de l'augmentation du nombre d'épis.

Au moment du plein tallage, la plante est étalée en un port retombant. Au stade fin tallage c'est-à-dire au stade : épi à 1 cm du plateau de tallage, est caractérisé par une croissance active des thalles. Le plant de blé a besoin, durant cette phase, d'un important apport d'engrais azotés. (Bebba, 2011)

### ➤ Montaison

À La montaison se produit le début du développement de l'épi. Parallèlement les entrenœuds s'allongent. À la fin de la montaison apparaît la dernière feuille. Cette feuille est essentielle car elle va à elle seule contribuer à 75 pourcent de la productivité et donc au remplissage du grain.

Lorsque les maladies causent des dommages à la dernière feuille, le rendement a de fortes chances d'être impacté. (Bebba, 2011)

## 10.2. Période reproductrice

- Épiaison : Quand la graine éclatée l'épi qui va s'en dégager peu à peu, on peut voir un gonflement de la graine. À ce stade, le nombre total d'épis est défini, de même que le nombre total de fleurs par épi. Chaque fleur peut potentiellement donner un grain par exemple 25 grains par épi.
- Floraison : S'observe à partir du moment où quelques étamines sont visibles dans le tiers, en dehors des glumelles. (Bada, 2007)

## 10.3. Période de formation et de maturation du grain

- Grossissement du grain

Cette phase marque la modification du fonctionnement de la plante qui sera alors orientée vers le remplissage des grains à partir de la biomasse produite (**Gates**, 1995). Au début, le grain s'organise, les cellules se multiplient. Les besoins des grains sont inférieurs à ce que fournissent les parties aériennes (plus de 3/4 de la matière sèche sont stockés au niveau des tiges et des feuilles.). Par la suite, les besoins augmentent et le poids des grains dans l'épi s'élève, alors que la matière sèche des parties aériennes diminue progressivement. Seulement 10% à 15% de l'amidon du grain peuvent provenir de réserves antérieures à la floraison. À l'issue de cette phase, 40 à 50% des réserves se sont accumulées dans le grain qui, bien qu'il ait atteint sa taille définitive, se trouve encore vert et mou, c'est le stade (grain laiteux). L'autre partie des réserves se trouve encore dans les tiges et les feuilles qui commencent à jaunir. Les réserves du grain proviennent en faible partie de la photosynthèse nette qui persiste dans les dernières feuilles vertes (**Gates**, 1995). Chez les variétés tardives, cette quantité est de 12% contre 25% chez les précoces. La majeure partie des réserves accumulées vient des tiges et les feuilles jaunissantes, mais desséchées (**Gates**, 1995).

#### ➤ **Maturation du grain**

La phase de maturation succède au stade pâteux (45% d'humidité). Elle correspond à la phase au cours de laquelle le grain va perdre progressivement son humidité en passant par divers stades. Elle débute à la fin du palier hydrique marqué par la stabilité de la teneur en eau du grain pendant 10 à 15 jours. Au-delà de cette période, le grain ne perdra que l'excès d'eau qu'il contient et passera progressivement aux stades (payable à l'angle) (20% d'humidité) puis (cassant sous la dent) (15-16% d'humidité). (**Gates**, 1995)

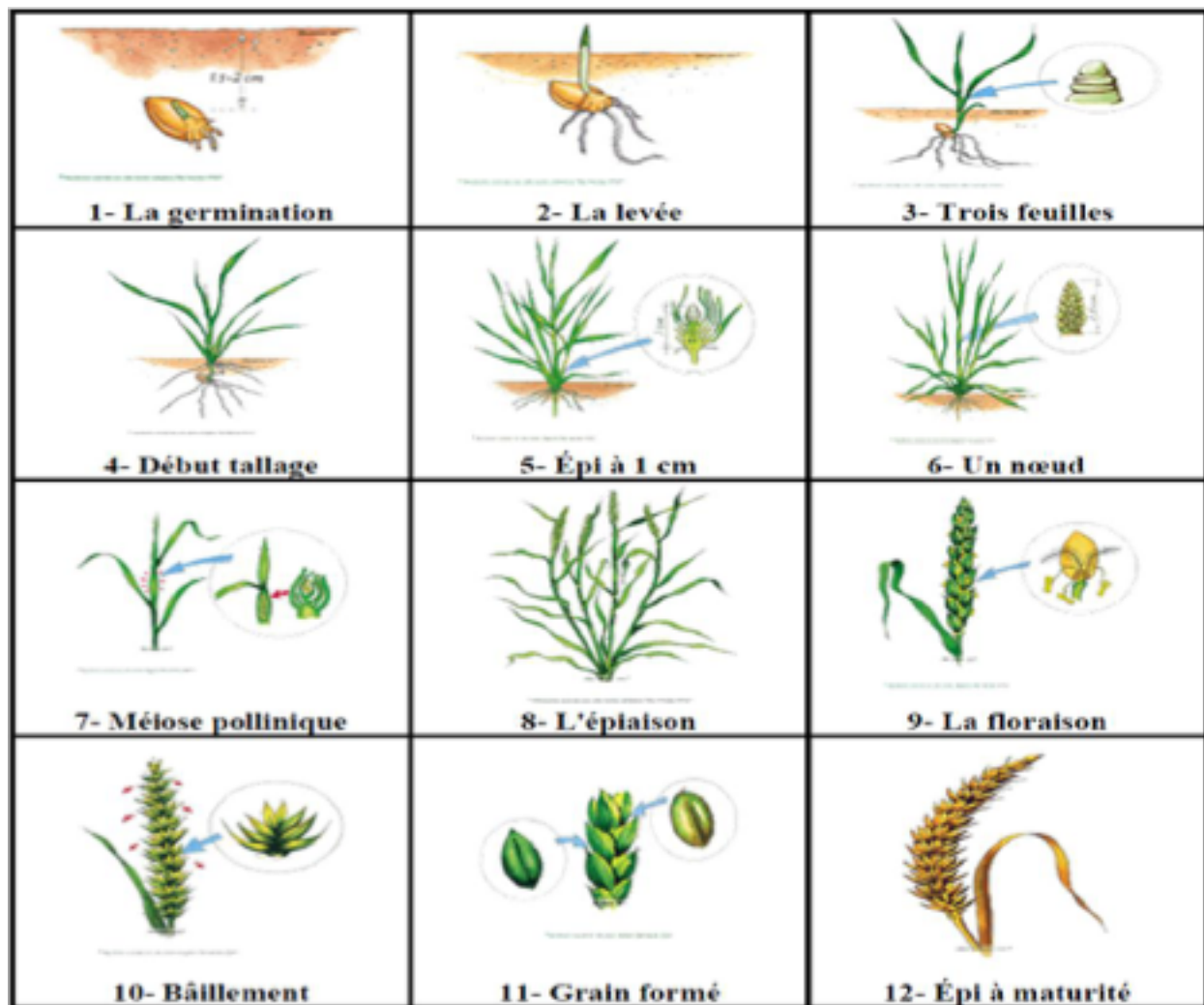


Figure 02 : Les stades repères de la vie du blé ( Hadria, 2006)

## 11. Fermentation du blé

### 11.1. Fermentation

La fermentation est considérée comme l'un des procédés le plus ancien et le plus économique pour la conservation des aliments, particulièrement dans les pays tropicaux où les fortes températures combinées aux niveaux élevés d'humidité favorisent la fermentation spontanée (Nout, 2009). Il peut y avoir une ou plusieurs étapes de fermentation allant de quelques heures à plusieurs mois selon l'aliment (Prückler *et al.*, 2015).

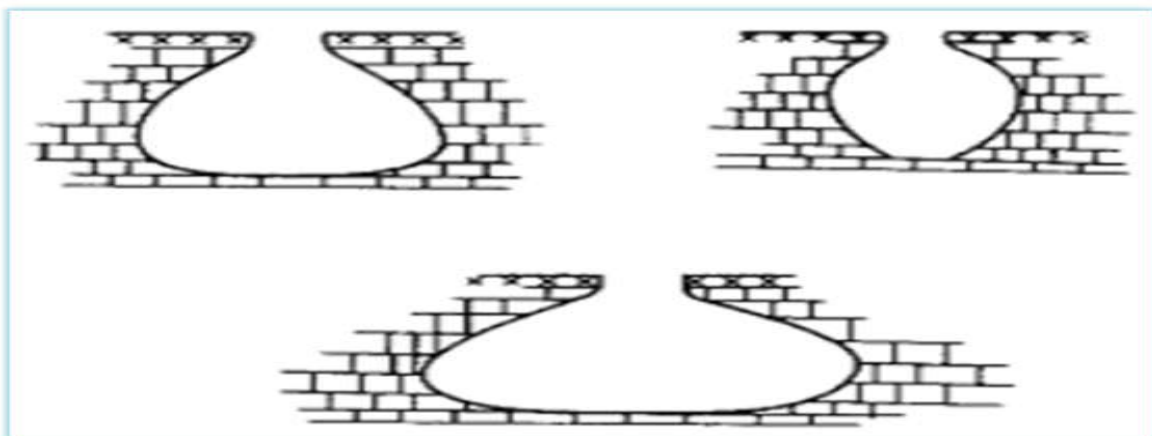
### 11.2. Blé fermenté

Les aliments fermentés traditionnels représentent environ un tiers de la nourriture dans le

monde. En Algérie, le blé fermenté traditionnel appelé Hamoum, une denrée alimentaire ancestrale consommé sous forme de couscous. Ce blé est obtenu après une fermentation naturelle dans un grenier souterrain appelé Matmora (figure 3). (**Ben Mehel et al.**, 2019)

Dans « el matmora », la fermentation du blé est un phénomène naturel causé par les conditions de stockage, notamment par l'humidité suite aux fortes pluies qui favorisent l'infiltration de l'eau dans les parois d'« el matmora », l'augmentation progressive de la température en raison de la fermentation du blé et la faible présence d'air. Les phénomènes de fermentation d'origine microbienne peuvent durer plusieurs années ( $\leq$  neuf années). Le goût du blé fermenté est entré dans les habitudes alimentaires pour la fabrication de pain de blé fermenté ou de couscous « lemzeiet », « elmechroub » ou encore « hamoum » (**Mokhtari**, 2012). Ce blé est caractérisé par une variété de saveurs, de textures et d'arômes particuliers très convoités par les consommateurs des régions spécifiques (**Bekhouché et al.**, 2013).

« Hamoum » (figure 4) est un produit alimentaire riche en flore bénéfique. Sa microflore a été analysée afin d'apprécier sa qualité microbiologique en terme de microorganismes bénéfiques et de potentiel pathogène (**Drabo et al.**, 2019)



**Figure 3** : Formes typiques de « matmora ». (**Bartali**, 1987)



**Figure 4 :** Aspect de blé fermenté (Bekhouche *et al* ; 2013).

### 11.3. Effet de la fermentation

Les principales céréales utilisées comme matière première au cours des fermentations lactiques en Afrique de l’Ouest sont : le maïs, le sorgho et le mil (tableau). Ces produits consistent essentiellement en des pâtes ou purées et des bouillies non-alcoolisées (Yao *et al.*, 2009). La pâte de maïs fermentée, l’une des plus populaires aliments amylacés et fermentés, est utilisée au cours de la préparation d’une grande variété de plats comme aliment de base au : Ghana, Nigéria, Togo et Bénin, où ils constituent une proportion importante de la ration alimentaire quotidienne. La pâte de maïs fermentée obtenue après une fermentation spontanée se caractérise par une teneur en humidité de 50 % et un pH final de 3,7 (Yao *et al.*, 2009). Des bactéries lactiques, des levures et des moisissures ont été identifiées comme les principaux micro-organismes se développant au cours de la fermentation. Les bactéries lactiques du genre : *Lactobacillus*, *Streptococcus* et *Pediococcus* sont les bactéries lactiques les plus fréquentées (Tableau 04) (Yao *et al.*, 2009). L’action des bactéries lactiques au cours de la fermentation a été associée tout d’abord à l’élaboration de l’arôme et de la texture du produit final, mais aussi au maintien d’une bonne sécurité alimentaire grâce aux acides organiques produits. D’autres actions et non des moindres, sont souvent rapportés. Par exemple, les propriétés probiotiques des bactéries lactiques et l’inhibition des bactéries pathogènes sont particulièrement importantes ; les aliments fermentés contribuaient à réduire la durée et la sévérité des diarrhées infantiles (Yao *et al.*, 2009).

- **Qualité nutritionnelle et digestibilité**

La fermentation lactique est fortement recommandée, car elle diminue considérablement la viabilité des germes nocifs. **Svanberg et Sandberg (1989)** ont étudié la disponibilité du fer. On sait que dans certaines graines, le contenu en acide phytique a pour effet de complexer les minéraux et les immobiliser. Des études ont montré l'effet très significativement positif de la fermentation lactique sur la disponibilité du fer, avec comme corrélation la diminution des phytates (**Raimbault, 1995**).

- **Formation de l'arôme et de la saveur**

L'analyse bibliographique montre que très peu de travaux ont été consacrés à l'étude des composés aromatiques volatils des aliments amylacés et fermentés. L'acétoïne et ses dérivés ainsi que certains composés aromatiques (acétate d'isoamyle, acétate d'éthyle, et acétoïne, etc.), les principaux composés volatiles identifiés, dans la pâte de maïs fermenté proviendraient de l'action des bactéries lactiques et donneraient aux produits ses caractéristiques (**Yao et al., 2009**).

- **Préservation et innocuité de l'aliment**

La fermentation est une méthode de conservation des aliments. Les bactéries lactiques produisent plusieurs composés antimicrobiens naturels, à savoir des acides organiques, le dioxyde de carbone et des bactériocines (**Messens et Devuyst, 2002**). La production d'acides organiques au cours de la fermentation entraîne une réduction importante du pH, qui associée à la formation de composés antimicrobiens détermine la stabilité microbienne des produits ainsi que la motilité des bactéries pathogènes et d'autres microorganismes nuisibles (**Raimbault, 1995**).

**Tableau 03** : Principaux aliments fermentés de l'Afrique de l'Ouest (Yao *et al.*, 2009)

Maïs	Kenkey	Ghana, Nigéria
Maïs et / ou manioc	Banku	Ghana
Maïs	Ogi-baba, Ogi	Nigéria, Bénin, Ghana
Maïs	Mawé	Bénin, Togo
Mil	Ben-saalga	Burkina-faso
Mil	Kunun-zaki	Nigéria
Mil	Koko	Ghana
Sorgho	Gowé	Bénin
Sorgho	Obiolor	Nigéria

**Tableau 04** : Bactéries lactiques isolées au cours de la fermentation d'aliments à base de céréales (Yao *et al.*, 2009)

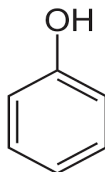
Nom du produit	Bactéries lactiques
Kenkey	<i>Lactobacillus brevis</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i>
Ogi-baba Ogi	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Streptococcus lactis</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus pentosus</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Lactobacillus raffinolactis</i> , <i>Pediococcus sp</i> , <i>Pediococcus pentosaceus</i> , <i>Lactobacillus suebicus</i> , <i>Lactobacillus brevis</i>
Mawè	<i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Lactobacillus brevis</i>
Ben-saalga	<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i>
Koko	<i>Weissella confusa</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Lactobacillus salivarius</i> , <i>Pediococcus acidilactici</i> , <i>Lactobacillus paraplantarum</i>
Gowé	<i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Weissella confusa</i> , <i>Lactobacillus mucosae</i>

## II. Polyphenols

### 1. Généralité

#### 1.1. Définition

Les polyphénols, dénommés aussi composés phénoliques, sont des molécules spécifiques du règne végétal et qui appartiennent à leur métabolisme secondaire (**Veillet et al.**, 2009). On les trouve dans les plantes, depuis les racines jusqu'aux fruits. Les métabolites secondaires ne sont pas essentiels à la vie de la plante, leurs absences ne provoquent pas la mort, mais ils permettent à la plante de se protéger contre les agressions, comme les infections et les rayons ultraviolets (**Kanti et Syed**, 2009). Le terme « phénol » englobe approximativement 10000 composés naturels identifiés (**Ghedira**, 2008). L'élément structural fondamental qui les caractérise est la présence d'au moins un noyau phénolique à 6 carbones (figure 5), auquel est directement lié au moins un groupe hydroxyle (OH) libre ou engagé dans une autre fonction : éther, ester ou hétéroside (**Hamdi**, 1992)



**Figure 5 :** Structure du noyau phénol (**Kubow**, 1990)

#### 1.2. Biosynthèse des composés phénoliques

Les composés phénoliques sont issus principalement par deux grandes voies métaboliques : la voie de l'acide shikimique et la voie de l'acétate/malonate (figure 6), et ainsi on a la voie de biosynthèse des flavonoïdes.

##### ❖ Voie de l'acide shikimate

La voie de l'acide shikimique est la voie la plus importante pour la biosynthèse des composés

aromatiques dans les plantes et les micro-organismes, y compris les acides aminés aromatiques : la phénylalanine, la tyrosine et le tryptophane. Ce sont des métabolites primaires qui servent de précurseurs pour de nombreux produits naturels (secondaire) tels que les flavonoïdes, les acides phénoliques, les coumarines, les alcaloïdes... (**Ghasemzadeh A. et Ghasemzadeh N.**, 2011)

Les deux substrats phosphoénolpyruvate et l'érythrose-4-phosphate sont des précurseurs qui dérivent respectivement de la glycolyse et de la voie des pentoses phosphate.

### ❖ Voie de l'acétate / malonate :

La glycolyse et la  $\beta$ -oxydation aboutissent à la formation de l'acétyl-CoA donnant le malonate. C'est à travers cette voie que s'effectue la cyclisation des chaînes polycétoniques, obtenues par condensation répétée d'unités « Acétate » qui se fait par carboxylation de l'acétyl-CoA. Cette réaction est catalysée par l'enzyme acétyl-CoA carboxylase. (**AKROUM**, 2010)

### ❖ Voie de biosynthèse des flavonoïdes :

Les précurseurs de la voie de biosynthèse des flavonoïdes sont le malonyl-CoA et le coumaryl-CoA, issus respectivement du métabolisme des sucres et de la voie des phénylpropanoïdes. La première étape enzymatique est catalysée par la chalcone synthase (CHS), qui aboutit à un produit jaune, la chalcone. Pour la majorité des plantes, la chalcone ne s'accumule pas. Elle est métabolisée, via de multiples étapes enzymatiques, en différentes classes de flavonoïdes : les flavanones, les dihydroflavonols et finalement les anthocyanes. D'autres classes de flavonoïdes telles que les isoflavones, les flavones, les aurones, les pro-anthocyanidines et les flavonols sont issues de voie de biosynthèse latérales dont les précurseurs sont les intermédiaires de formation des anthocyanes (**Schijlen et al**, 2004).

# LES POLYPHENOLS

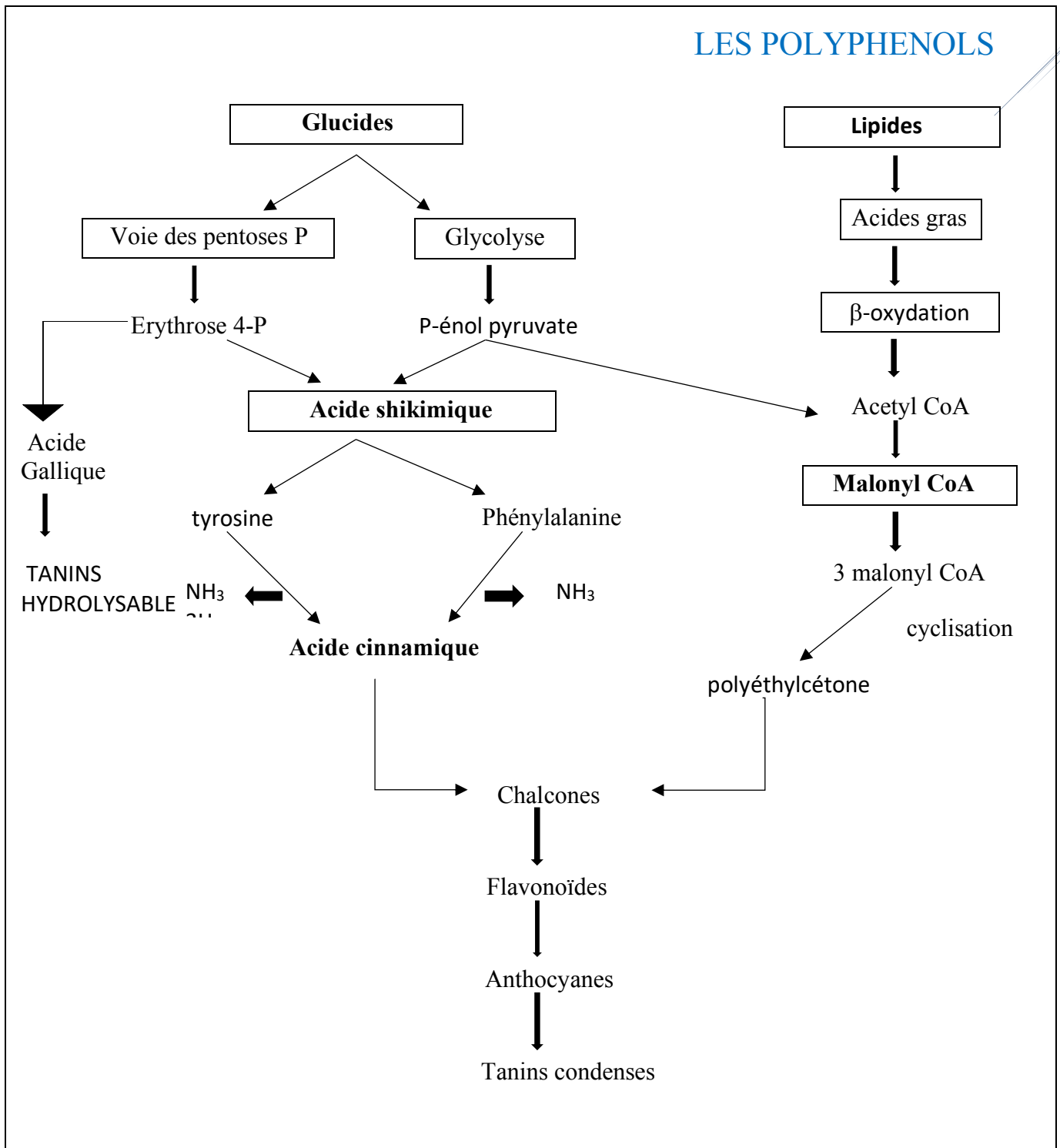


Figure 6 : Représentation des voies de biosynthèse des polyphénols (Akroum, 2005)

### 1.3. Classification

La classification des polyphénols est basée essentiellement sur la structure, le nombre de noyaux aromatiques et les éléments structuraux qui lient ces noyaux. On peut distinguer deux catégories : les composés phénoliques simples et les composés phénoliques complexes (**Farag et al.**, 2007)

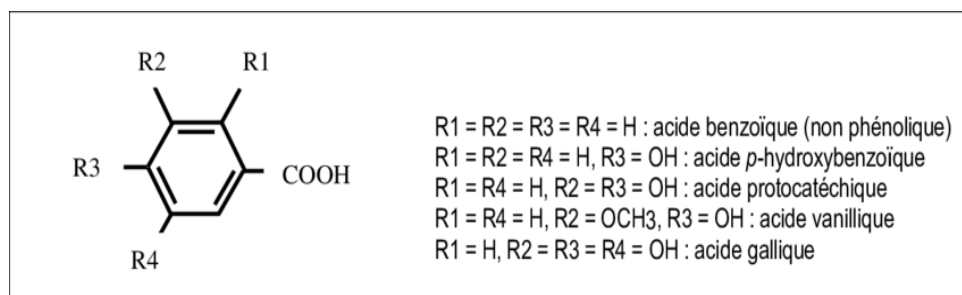
#### 1.3.1. Polyphénols simples

##### 1.3.1.1 Acides phénoliques

Ce sont des composés organiques possédant au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique. Ils sont représentés par deux sous-classes : les dérivés de l'acide hydroxybenzoïque et de l'acide hydroxycinnamique. (**Farag et al.**, 2003)

##### ❖ Dérivés de l'acide hydroxybenzoïque (C<sub>6</sub>-C<sub>1</sub>)

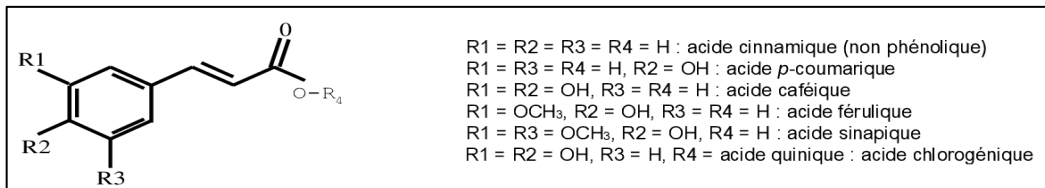
Ces acides sont très communs aussi bien sous forme libre que sous forme combinée à l'état d'esters ou hétérosides (**Artajo et al.**, 2006). Cette catégorie est abondante dans les végétaux et les aliments, notamment les épices, les fraises, certains fruits rouges et l'oignon dans lesquels les concentrations peuvent atteindre plusieurs dizaines de milligrammes par kilogramme de fruits frais (**Salta , et al.** 2007). Les dérivés de l'acide hydroxybenzoïque les plus répandus sont illustrés dans la figure (figure 7) suivante :



**Figure 7** : Structures chimiques des acides hydroxybenzoïques (**Farag et al.**, 2003)

❖ 1.3.1.2. Dérivés de l'acide hydroxycinnamique (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>)

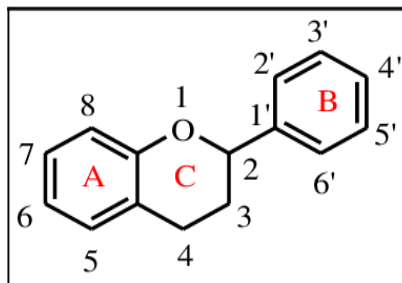
Ces composés ont une distribution très large. Rarement libres, ils sont souvent estérifiés (**Artajo et al., 2006**) et peuvent également être amidifiés ou combinés avec des sucres (O-acylglucosides, O- arylglucosides) ou des polyols tels que l'acide quinique (figure 8). (**Farag et al., 2003**)



**Figure 8** : Structures chimiques des acides hydroxycinnamiques (**Pétrier et al., 2008**).

1.3.1.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés possédant un squelette de base à quinze atomes de carbone, constitués de deux noyaux aromatiques et d'un hétérocycle central de type pyrane, formant une structure C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub> (figure 9) (**Mason et Lorimer, 2002**). Ce sont les composés les plus abondants parmi tous les composés phénoliques. Ils interviennent dans la pigmentation des fleurs et dans les processus de défense contre le rayonnement UV, les herbivores et les attaques microbiennes (**Flynn, 1975**). Les flavonoïdes sont présents dans une grande variété d'aliments (fruits et légumes, céréales, jus de fruits, thé et vin...).



**Figure 9** : Squelette de base des flavonoïdes (**Mouffok, 2011**).

Les flavonoïdes sont divisés en 6 sous-classes selon le degré d'oxydation et la nature des

substituants portés sur le cycle C : flavonols, flavones, flavanones, isoflavones, anthocyanidines et flavanols (également appelés flavan-3-ols ou catéchines) (**Scalbert et Williamson**, 2000)

## ❖ Flavanones

Les flavanones sont caractérisées par l'absence de la double liaison entre C2 et C3 et par la présence d'un centre de chiralité en C2 ((**Farag et al.**, 2003). Les agrumes constituent la principale source alimentaire de flavanones. Les principaux aglycones sont l'ériodictyol dans le citron, la naringénine dans le pamplemousse et l'héspéritine dans l'orange : un jus d'orange contient entre 200 et 600 mg d'héspéritine/L (**Salta et al.**, 2007).

## ❖ Flavonols

Les flavonols se distinguent par la présence d'un groupement OH en position C3 et d'une double-liaison en C2-C3. Ils peuvent exister soit sous forme d'aglycones, soit sous forme d'hétérosides. Les sucres les plus souvent impliqués sont des aldoses : D-glucose et L- rhamnose (**Flynn**, 1975). Leurs principaux représentants sont la quercétine, le kaempférol et la rutine. Les sources les plus riches sont les oignons (350-1200mg/kg de matière fraîche) (**Chemat**, 2011), le poireau, le chou et les baies telles que le cassis (115 mg/kg de matière fraîche) (**Mason et al.**, 2010). Le thé contient aussi des flavonols à hauteur de 45 mg/L (**Chemat et al.**, 2008).

## ❖ Flavan-3ols

Les flavan-3-ols ou dérivés de catéchine sont la catégorie de flavonoïdes la plus complexe. Ces composés sont des simples monomères, (+)-catéchine et son isomère (-) -épicatéchine, jusqu'aux oligomères et polymères, les proanthocyanidines. De plus, les flavan-3- ols peuvent être estérifiés par l'acide gallique ou hydroxylés pour former les gallocatéchines (épicatéchine gallate, épigallocatéchine, épigallocatéchine gallate) (**Flynn**, 1975). Les catéchines sont présentes dans le chocolat (jusqu'à 132,4 mg/kg de matière fraîche de chocolat noir), le thé (jusqu'à 120 mg du thé noir de Chine) et dans les fruits comme l'abricot (**Anouar et al.**, 2009).

## ❖ Anthocyanidines

Ce sont des pigments, principalement sous formes de glycosides stables et hydrosolubles, rouges en milieu acide, virant au bleu-violet en milieu neutre ou faiblement alcalin (Lucarini M. et al.,

2002). Les composés les plus courants sont la pélagonidine, la cyanidine et la malvidine (**Dangles**, 2012). Ils sont présents dans le vin rouge (340-420 mg de malvidine 3-O-glucoside/L) (**Buchner et al.**, 2006). De nombreux glucosides de cyanidine et deux dérivés de pélagonidine ont aussi été caractérisés dans l'oignon rouge (**Makris et Rossiter**, 2000).

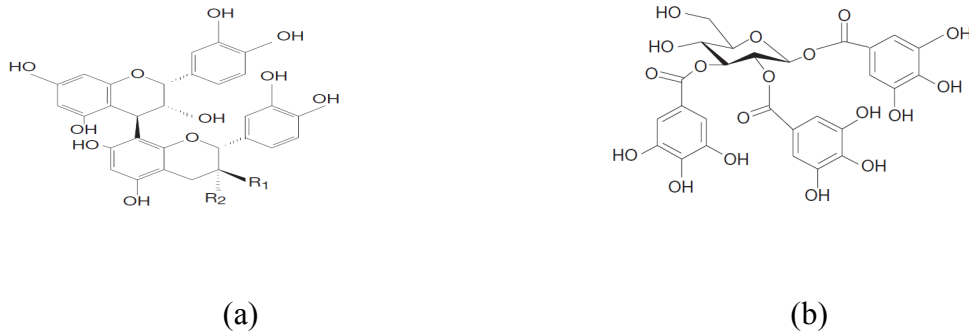
### 1.3.2. Polyphénols complexes (tanins)

Les tanins sont des polyphénols qu'on trouve dans de nombreux végétaux tels que les écorces d'arbres, les fruits (raisin, datte, café, cacao...) et les feuilles de thé. Les tanins sont des composés phénoliques solubles dans l'eau et les solvants polaires (**Hagerman**, 2002).

Historiquement, le terme « tanin » regroupe des composés polyphénoliques caractérisés par leurs propriétés de combinaison aux protéines (**Dangles et al.**, 2000) d'où leur capacité à tanner le cuir. Sur le plan structural, les tanins sont divisés en deux groupes, tanins hydrolysables et tanins condensés (**Chat et al.**, 2013)

- **Tanins hydrolysables** : ce sont des esters du D-glucose et de l'acide gallique ou de ses dérivés, en particulier l'acide ellagique (figure 10) (**Nkhili**, 2009). Ces substances sont facilement hydrolysables par voie chimique ou enzymatique (tannase) (**Aliaga**, 2008)
- **Tannins condensés** : les tannins condensés ou les proanthocyanidines sont des polymères constitués d'unités flavane reliées par des liaisons entre les carbones C4 et C8 ou C4 et C6 (figure 10) (**Ghidouche et al.**, 2008)

En raison de leur complexation avec les protéines salivaires, les tanins condensés sont responsables de l'astringence caractéristique des fruits avant maturité (raisin, pêche, pomme, poire, etc....) et de certaines boissons (vin, cidre, thé, etc....) et de l'amertume du chocolat.



**Figure 10:** Structure chimique (a) d'un tanin condensé (proanthocyanidine) et (b) d'un gallotanin (1,2,3-tri-O-galloyl-β-D-glucose) (Peters, 1995).

## 2. Rôle des polyphénols

Ils sont impliqués dans les interactions plantes-microorganismes : dans les pathogenèses comme dans les symbioses (nodules des légumineuses). Ils agissent dans les systèmes de défense des cellules végétales en réponses à certains stress tels que les radiations ultraviolettes. Ce sont également des inhibiteurs d'enzymes, des agents chélatants des métaux nocifs aux plantes. De plus ils sont impliqués dans la photosensibilisation et les transferts d'énergie, la morphogenèse et la détermination sexuelle, la photosynthèse et la régulation des hormones de croissance des plantes. (Pietta, 2000)

De nos jours, les propriétés des flavonoïdes sont largement étudiées dans le domaine médical où on leur reconnaît des activités antivirales, anti tumorales, anti-inflammatoires, anti allergiques et anticancéreuses. Ainsi que des activités biochimiques et pharmacologiques dues surtout à leur pouvoir antioxydant. Mais la principale propriété reconnue aux flavonoïdes est d'être vaso-actif c'est-à-dire capable de diminuer la perméabilité des capillaires sanguins et de renforcer leurs résistances. (Bruneton, 1999)

Dans le domaine de l'écologie, les flavonoïdes possèdent de multiples rôles, notamment, la coloration donnée aux fleurs et fruits, la combinaison avec les caroténoïdes permet l'apparition des multitudes de couleurs caractéristiques des fleurs. Ils assurent aussi la protection des plantes contre

les rayonnements UV. Ces pigments servent également à attirer des insectes pollinisateurs, ou au contraire à dessiner des formes pour éloigner les prédateurs. (**Guignard**, 2000)

En outre, ils se comportent comme des inhibiteurs enzymatiques et ils sont proposés en ophtalmologie en cas de troubles circulatoires au niveau de la rétine ou de la choroïde et pour l'amélioration de la vision crépusculaire. (**Bruneton**, 1999)

### 3. Sources alimentaires des polyphénols

Les polyphénols sont présents partout dans les racines, les tiges, les fleurs, et les feuilles de tous les végétaux, tels que les fruits, les légumes, les céréales, les graines oléagineuses et les légumes secs (**Maatta Rihinen et al.**, 2004). Ils sont abondants aussi dans diverses boissons (thé, café et jus de fruits) (**Silberberg et al.**, 2006), et le chocolat (**Scalbert**, 2006). Les fruits apportent environ 28% de l'apport total en polyphénols lequel est estimé à environ 1g par jour soit 10 fois l'apport en vitamine C et 100 fois celui en vitamine E (**Combris et al.**, 2007).

La nature et les teneurs en polyphénols dans les divers fruits et légumes sont très variables. Le thé vert contient 30 à 40% de polyphénols extractible dans l'eau, tandis que le thé noir en contient 3 à 4 % (**Selmi et al.**, 2006), les pommes de terre sont des sources importantes d'acides hydroxybenzoïques. Les baies, ainsi que les fraises, peuvent en contenir plusieurs dizaines de milligrammes par kilogramme de fruit frais, principalement sous formes d'acides gallique et p-hydroxybenzoïque. Par ailleurs, les céréales comme le blé et l'avoine contiennent de l'acide vanillique, de l'acide salicylique et de l'acide p-hydroxybenzoïque. Certains condiments (herbes et épices) peuvent également contenir des acides hydroxybenzoïques (**Chanforan**, 2010). Les extraits de salade et d'oignon ont une teneur en polyphénols supérieure à 50 % et 40 % respectivement (acide hydroxycinnamique) (**Martini**, 2004). Les sources les plus importantes de quercétine sont l'oignon (280 à 490 mg/kg), le chou (110 mg/kg), les haricots (45 à 60 mg/kg) et le brocoli (30 mg/kg) (10). Ce composé est également présent dans de nombreux fruits ainsi que dans le vin rouge et le thé noir (**Macheix et al.**, 1990). Les tanins sont notamment rencontrés dans les caroubes, les fèves sèches, l'écorce des grenades, les grains, tels que le sorgho et l'orge (**Derbel et Ghedira**, 2005). Certains fruits, et plus particulièrement les baies (cassis, myrtille, canneberge, mûre, etc.),

contiennent des quantités remarquables d'anthocyanes pouvant atteindre plusieurs grammes par kilogrammes de produit frais (**Carvalho et al.**, 2004). Les petits fruits sont extrêmement riches en acides phénoliques, comme dans le cas de la myrtille. Les flavonols sont essentiellement apportées par l'oignon, pomme, brocoli, haricots verts, chou, petits fruits et thé. On trouve des flavanones dans les agrumes, des isoflavones dans le soja, des flavanols dans le thé, des anthocyanes dans les fruits et légumes colorés (rouges ou bleus) et des proanthocyanidines dans divers fruits et boissons (thé, vin, cidre et chocolat) (**Edeas**, 2007) (tableau 5).

**Tableau 5** : La grande famille des polyphenols (**Defraigne et Pincemail**, 2008)

<b>Famille</b>	<b>Principaux composés</b>	<b>Origine</b>
acide hydroxy-benzoïques	acide vanillique	Vanille
	acide gallique	feuilles de thé
acides hydro- cinnamiques	acide caféique	café
	acide férulique	riz, blé, asperges
	acide chlorogénique	pelure de pomme de terre, pomme, artichaut,
	resvératrol (stilbène)	raisin, vin
<b>flavanoïdes</b>		
flavonols	quercétine, kaempférol	oignon, brocoli
flavones	luéoline, apigénine	céleri
flavanones	naringénine	agrumes
flavones-3-ols	catéchine, épicatechine	raisin, thé vert, chocolat,
isoflavones	génistéine, daidzéine	soja
anthocyanidines	cyanidine	fruits rouges, raisin
tannins hydrosolubles ou non	polyphénols de haut poids moléculaire	
lignines	lignane	bois

## 4. Mode d'action des polyphénols

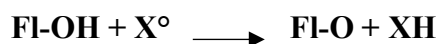
### 4.1. L'activité antioxydante

Les composés phénoliques exercent une activité antioxydante via plusieurs mécanismes :

- ❖ Le piégeage direct des radicaux libres
- ❖ La chélation des ions métalliques
- ❖ L'induction de la biosynthèse d'enzymes antioxydantes (**Halliwell, 1994**).

#### ❖ Piégeage direct des radicaux libres

La réduction de divers radicaux par les polyphénols a été beaucoup étudiée afin de déterminer les éléments majeurs de l'activité antioxydant. Grâce à leur faible potentiel redox, les polyphénols et plus particulièrement les flavonoïdes (Fl-OH), sont thermodynamiquement capables de réduire rapidement les radicaux superoxydes, peroxydes (ROO°), alkoxydes (RO°) et hydroxyle par transfert d'hydrogène selon la formule suivante :



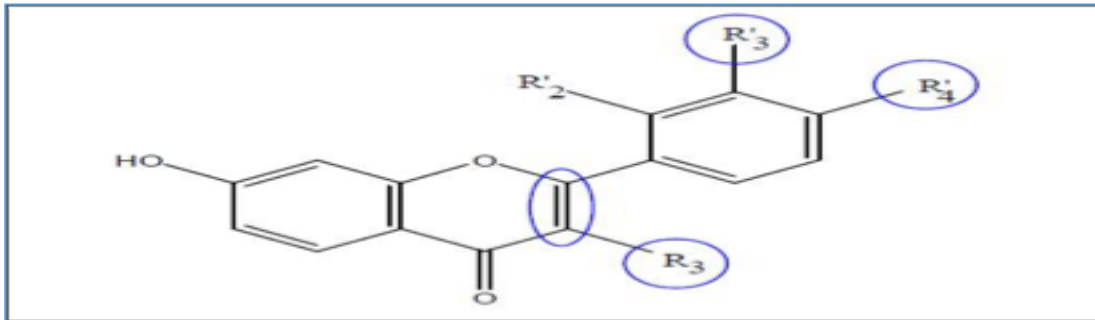
X° : représente l'un des EOR mentionnés ci-dessus (**Meziti, 2009**).

Fl-O : Le radical carboxyle résultant peut réagir avec un autre radical libre pour former une structure quinone stable.

#### ❖ Chélation des ions métalliques

Les ions du fer (Fe<sup>2+</sup>) et du cuivre (Cu<sup>2+</sup>) sont essentiels pour certaines fonctions Physiologiques. Ils peuvent être, soit des constituants des hémoprotéines, soit des cofacteurs des différentes enzymes du système de défense antioxydant (**Meziti, 2009**). Mais ils sont aussi responsables de la production du radical hydroxyle par la réduction du peroxyde d'hydrogène.

Divers polyphénols abondants dans les plantes et dans l'alimentation sont considérés comme de bons chélateurs des ions métalliques (**Nkhili, 2009**). Les flavonoïdes sont considérés comme de bons chélateurs de ces ions métalliques (figure 11).



**Figure 11:** Flavonoïdes et leurs sites proposés pour l'activité antioxydant comme la chélation des ions métalliques (Chabil, 2006).

#### ❖ Inhibition enzymatique

L'inhibition de la production des EOR par les polyphénols et particulièrement les flavonoïdes peut procéder directement par formation de complexe inhibiteur-enzyme et/ou par piégeage directe des EOR (Nkhili, 2009). Les polyphénols sont capables d'inhiber une large gamme d'enzymes génératrices du O<sup>-</sup> et d'autres EOR, comme la xanthine oxydase, la protéine kinase C, la cyclooxygénase, lipooxygénase, et la glutathion S-Transférerase (Meziti, 2009).

#### 4.2. Activité antimicrobienne

L'effet antimicrobien des composés phénoliques est principalement lié aux altérations membranaires, à l'inhibition de la synthèse d'ARN et d'ADN ou à celle de l'activité ou de la synthèse d'hydrolases. (Clériveret *et al.*, 2013)

##### ➤ Activité antibactérienne

Parmi les polyphénols antibactériens, les flavonoïdes bloquent la synthèse des acides nucléiques d'*Escherichia coli*. Ils ont un pouvoir inhibiteur sur les différentes fonctions de la membrane cytoplasmique en réduisant la fluidité de la couche interne et externe. Ces composés ont une activité bactéricide et bactériostatique en perturbant les métabolismes énergétiques (Jones *et al.*, 1994).

### ➤ **Activité antifongique**

La majorité des polyphénols ont une activité antifongique très puissante. **Orturno** (2005) a démontré l'activité des flavanones glycosides et des polyméthoxyflavones de *Citrus parasidi*, et de *Citrus sinensis* sur *Penicillium digitatum*. Aussi, les flavonoïdes de *Conyza aegyptica L.* ont une action fongicide et fongistatique sur différents agents de mycoses: *Microsporum canis*, *M. gypseum*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Candida zeylanoïdes* (**Batawita**, 2002).

### III. Bactéries lactiques

Les bactéries lactiques appartiennent à un groupe de bactéries bénéfiques, qui se trouvent partout dans la nature ainsi que dans le système digestif de l'homme. Depuis des millénaires, elles sont utilisées dans l'alimentation humaine. Actuellement, dans l'industrie agroalimentaire, les bactéries lactiques occupent une place importante parmi les auxiliaires de fabrication ; elles sont surtout connues pour le rôle qu'elles jouent dans le secteur laitier (**Moraes et al.**, 2010), elles sont utilisées également dans le saumurage des légumes, les salaisons des viandes et des poissons, ainsi qu'en boulangerie et dans la fabrication du vin. Elles disposent généralement du statut GRAS (**Vescovo et al.**, 1996).

#### 1. Généralités

Les bactéries lactiques sont des microorganismes unicellulaires procaryotes, hétérotrophes et chimio-organotrophes. Elles sont à Gram positif, peuvent avoir des formes coccoïdes, coccobacillaires, ou bacillaires (**Badis, et al.**, 2005), sont non pigmentées, immobiles et non sporulantes. Les bactéries lactiques tolèrent des pH acides, ne possèdent pas de catalase et possèdent un métabolisme anaérobie strict ou aérotoleérant (**Hardie et Whiley**, 1997).

De trop grandes teneurs en oxygène peuvent leur être néfastes en raison de l'absence de chaîne respiratoire. La plupart des bactéries lactiques sont équipées génétiquement pour avoir un métabolisme respiratoire, mais elles sont incapables de respirer si l'hème, n'est pas présent dans le milieu (**Lechardeur et al.**, 2011). L'hème est un cofacteur indispensable au cytochrome c-oxydase le dernier accepteur d'électrons de la chaîne respiratoire.

Les bactéries lactiques produisent de l'acide lactique (**Kandler et Weiss**, 1986) comme produit principal du métabolisme en fermentant les sucres (glucose, fructose, mannose, galactose, saccharose et lactose) chez les bactéries homofermentaires, en plus de l'éthanol et CO<sub>2</sub> chez les bactéries hétérofermentaires. Leur ADN présente un pourcentage de G + C compris entre 30 et 60% (**Stiles et Holzapfel**, 1997) et une taille de génome comprise entre 1,8 et 3,3 Mpb. Les bactéries lactiques se caractérisent par de faibles activités protéolytique et lipolytique et sont très exigeantes en acides aminés et en vitamine B (**Caplice et Fitzgerald**, 1999).

Elles sont ubiquistes et se trouvent soit libres dans l'environnement, soit en association avec un hôte. Le principal atout que représentent les bactéries lactiques pour l'industrie alimentaire, réside dans

l'amélioration de la qualité des produits fermentés en y développant certaines caractéristiques organoleptiques et en augmentant leur durée de conservation (**Stiles**, 1996). Elles participent à l'inhibition de certains microorganismes pathogènes, en produisant plusieurs métabolites ayant une activité antimicrobienne (**Moraes et al.**, 2010).

## 2. Historique et taxonomie

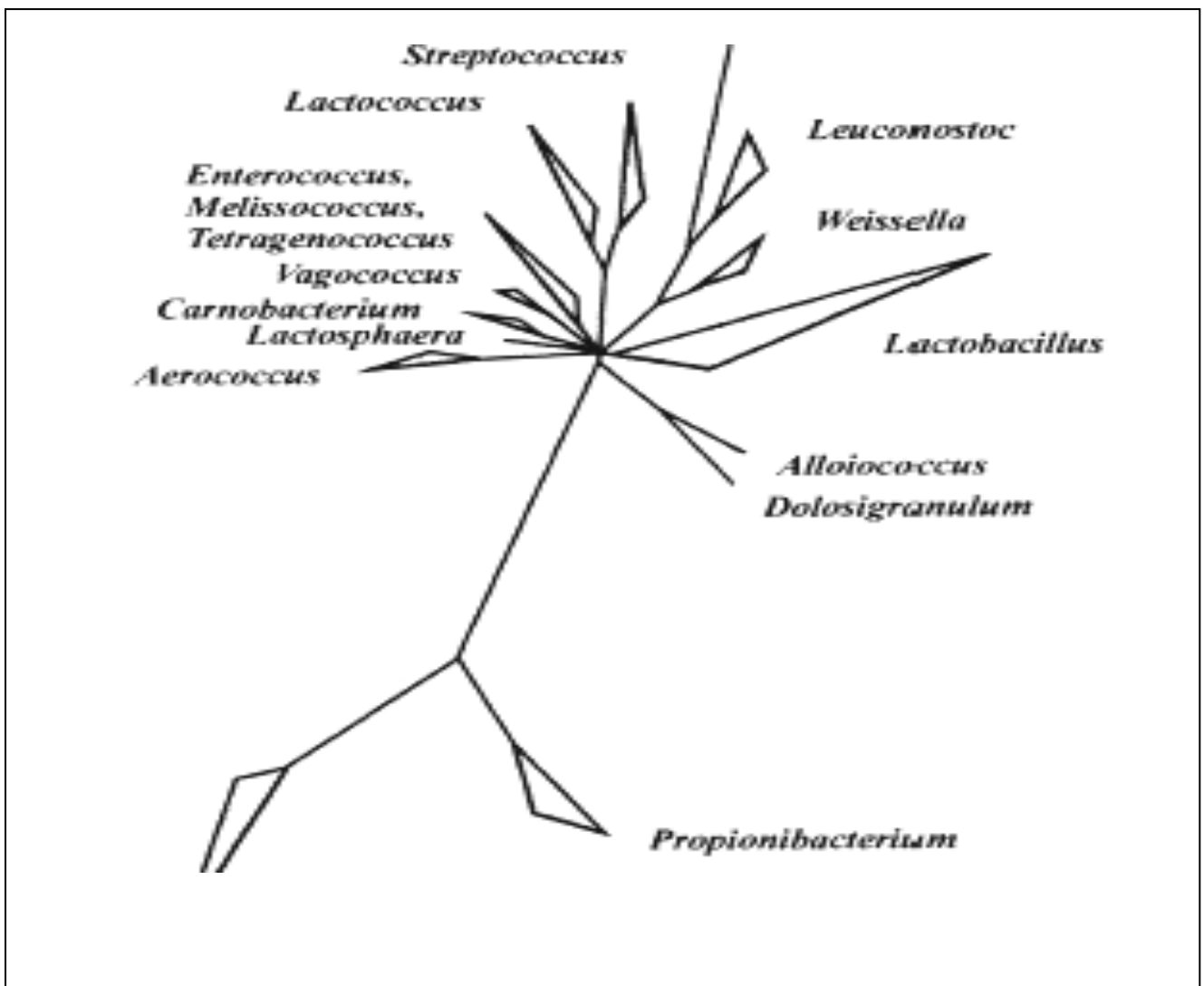
Les bactéries lactiques sont de très anciens micro-organismes découverts dans des sédiments datant de 2,75 milliards d'années, avant l'apparition de l'oxygène dans l'atmosphère ce qui pourrait expliquer leur caractère anaérobie (**Quiberoni et al.**, 2001). Elles sont apparues avant les cyanobactéries photosynthétiques (**Dridier et Prévost**, 2009). La classification phénotypique des bactéries lactiques est fondée sur la morphologie, la croissance à différentes températures, le mode de fermentation des sucres, la capacité de croissance à différentes concentrations de sel, la tolérance aux pH acides et alcalins, la configuration de l'acide lactique, l'hydrolyse de l'arginine et la formation d'acétoïne. Par ailleurs, une classification selon la composition de la paroi cellulaire de **Ambrosini et al.**, 1996) incluant la nature des acides gras qui la composent, a été proposée (**König et Fröhlich**, 2009). Une autre classification, basée sur la nature des produits du métabolisme bactérien obtenus à partir des glucides a subdivisé les bactéries lactiques en trois groupes (**McLeod et al.**, 2008).

Le groupe I renferme majoritairement les Lactobacilles homofermentaires. Le groupe II contient les bactéries hétérofermentaires et regroupe les espèces des genres *Leuconostoc*, *Oenococcus*, et *Weissella*, ainsi que quelques espèces appartenant au genre *Lactobacillus*. Le groupe III regroupe quant à lui quelques espèces appartenant au genre *Lactobacillus* et la majorité des espèces appartenant aux genres *Enterococcus*, *Lactococcus* et *Streptococcus*. Ce dernier qui occupe une position intermédiaire entre les groupes I et II, renferment ainsi des espèces capables d'être homo- ou hétérofermentaires selon les conditions environnementales (**McLeod et al.**, 2008).

Selon la seconde édition de Bergey's manual of systematic bacteriology (**Vos et al.**, 2009), les bactéries lactiques sont classées dans le phylum des Firmicutes, la Classe des Bacilli et l'Ordre des Lactobacillales renfermant trente-cinq genres répartis en six familles : *Aerococcaceae*, *Carnobacteriaceae*, *Enterococcaceae*, *Lactobacillaceae*, *Leuconostocaceae* et *Streptococcaceae*. Seuls douze genres sont utilisés en technologie alimentaire (**Figure 12**), il s'agit de : *Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Vagococcus*, *Tetragenococcus* et *Weissella* (**Vandamme et al.**, 1996).

## BACTERIES LACTIQUES

L'appellation bactérie lactique est aussi souvent étendue aux genres *Bifidobacterium*, *Macrococcus*, *Brevibacterium* et *Propionibacterium* qui leur sont apparentés et qui sont également utilisés pour la fabrication de divers produits fermentés (Pfeiler et Klaenhammer, 2007). Ils bénéficient également du statut GRAS (Klaenhammer et al., 2005). Quelques espèces du genre *Streptococcus*, *Enterococcus* et certains *Lactobacillus* sont néanmoins considérées comme des pathogènes opportunistes pouvant provoquer des maladies (König et Fröhlich, 2009).



**Figure 12:** Arbre phylogénétique consensu , basé sur la comparaison de séquence d'ARNr 16S , montrant les principaux groupes de bactéries lactiques , ayant un faible contenu mol % de G+C de l'ADN ainsi que les bactéries Gram positives non reliées des genres *Bifidobacterium* et *propionibacterium* ( Holzapfel et al., 2001 ).

### 3. Caractéristiques des principaux genres de bactéries lactiques (TABLEAU 6)

#### 3.1 Genre *Lactobacillus*

*Lactobacillus* est le genre principal de la famille des *Lactobacillaceae*, il contient de nombreuses espèces qui sont des agents de fermentation lactique intervenant dans de nombreuses industries ou qui sont rencontrées comme contaminants. Il s'agit de bacilles longs et fins (parfois incurvés) souvent groupés en chaînes, immobiles, asporulés, catalase négative, se développent à un optimum de température situé entre 30 et 40 ° C. Les lactobacilles ont des exigences nutritionnelles très complexes en acides aminés, en vitamines, en acides gras, en nucléotides, en glucides et en minéraux (Leclerc *et al.*, 1994). Le genre *Lactobacillus* a été subdivisé par Orla-Jensen en trois groupes et cette classification est encore utilisée en milieu industriel (Guiraud *et Rosec*, 2004) :

- **Groupe I** « *Thermobacterium* » : comprend les lactobacilles homofermentaires thermophiles qui se développent à 45 °C mais pas à 15 ° C. Les espèces les plus fréquentes dans l'alimentation (lait, yaourt, fromage) sont *Lb. helveticus* , *Lb. delbrueckii* , *Lb. acidophilus*.
- **Groupe II** « *Streptobacterium* » : regroupe les lactobacilles homofermentaires mésophiles et peuvent être occasionnellement hétérofermentaires en fonction du substrat. Les espèces les plus fréquentes dans l'alimentation sont *Lb. casei* , *Lb. Curvatus* , *Lb. sake* et *Lb. plantarum*.
- **Groupe III** « *Betabacterium* » : ce sont des *lactobacilles* hétérofermentaires. Il comporte les espèces *Lb. fermentum*, *Lb. brevis* et *Lb. sanfransisco*.

#### 3.2 Genre *Lactococcus*

Le genre *Lactococcus* (streptocoque du groupe N) représente les *streptocoques* dits « lactique », car ils sont associés à de nombreuses fermentations alimentaires et ne possèdent aucun caractère pathogène. Les produits végétaux constituent leur réservoir principal, mais ils sont largement présents dans le lait et les produits laitiers (Pilet *et al.*, 2005).

Les *lactocoques* se présentent sous forme de coques en paire ou en chaînes de longueur variable. Ce sont des bactéries anaérobies facultatives homofermentaires ne produisant que de l'acide lactique (+), seul *Lactococcus lactis* ssp. *Lactis* biovar. *diacetylactis* produit le diacétyle. Leur température optimale de croissance est proche de 30 °C, capable de se développer à 10 °C mais pas à 45 ° C.

Quelques espèces produisent des exopolysaccharides et des bactériocines. Elles sont capables de se développer à 3 % de bleu de méthylène et d'hydrolyser l'arginine (**Tamime**, 2002). Actuellement, le genre *Lactococcus* comprend cinq espèces, *Lactococcus lactis* est l'espèce la plus connue avec ses trois sous-espèces : *Lc. lactisssp. lactis*, *Lc. lactisssp. cremoris* et *Lc. Lactis ssp.hordniae* (**Pot**, 2008).

### 3.3 Genre *Streptococcus*

Le genre *Streptococcus* est toujours large et la classification est très mouvementée. Ce genre est généralement divisé en trois groupes : pyogène (la plupart des espèces pathogènes et hémolytiques), oral (tel que *St. salivarius*, *St. bovis*) et les autres streptocoques (**Scheilfer**, 1987). La seule espèce de streptocoques qui soit utilisée en technologie alimentaire est *Streptococcus thermophilus* qui a été incluse dans le groupe des « autres streptocoques », mais ensuite transféré au groupe des streptocoques oraux à cause de leur degré d'homologie avec l'ADN de *Streptococcus salivarius* (**Stiles et Holzapfel**, 1997).

*Streptococcus thermophilus* se différencie par son habitat (lait et produits laitiers) et son caractère non pathogène. La résistance à la température, la capacité de croître à 52 °C et le nombre limité des hydrates de carbones permettent de distinguer les *St. thermophilus* de la plupart des autres streptocoques (**Pilet et al.**, 2005).

### 3.4 Genre *Enterococcus*

Ce genre regroupe les streptocoques fécaux qui représentent une hémolyse de type  $\lambda$  et  $\beta$  et qui appartiennent au groupe D. Ce sont des commensaux de l'intestin. Les espèces rencontrées dans l'alimentation sont essentiellement *En. Faecalis* et les espèces proches. Les entérocoques sont des coques qui peuvent être mobiles, homofermentaires, généralement différenciés par la fermentation de l'arabinose et le sorbitol, ils croissent entre 10 °C et 45 °C (**Ho et al.**, 2007).

### 3.5 Genres *Leuconostoc*, *Oenococcus* et *Weissella*

Ils rassemblent les coques lenticulaires en paires ou en chainettes mésophiles, qui possèdent un caractère hétérofermentaire marqué, avec production d'acide lactique (isomère D), de CO<sub>2</sub> et d'éthanol. Les caractéristiques telles que l'hydrolyse de l'esculine, la formation de dextrane, les conditions de croissance, la capacité à croître à différents pH et température, l'assimilation de citrate et/ou malate permettent la différenciation entre les genres *Leuconostoc* et *Weissella* (**Ho et al.**, 2007).

Actuellement, le genre *Leuconostoc* comprend quatorze espèces, ils sont également anaérobies facultatifs et exigeants au point de vue nutritionnel et leur croissance est toujours lente. Le développement des *leuconostoc* entraîne souvent l'apparition d'une viscosité dans le milieu grâce à la production des exopolysaccharides. Les *leuconostoc* principalement *Ln. mesenteroides ssp. Cremoris* et *Ln. lactiss* ont utilisés en association avec les *lactocoques* dans l'industrie laitière pour produire en plus de l'acide lactique et le CO<sub>2</sub>, des substances aromatiques telles que le diacétyl et l'acétoïne à partir des citrates du lait (**Ogier et al., 2008**).

Récemment, l'espèce *Leuconostoc oenos* isolée de vins a été classée dans un nouveau genre, *Oenococcus oeni* et certaines espèces de lactobacilles hétérofermentaires ont été groupées avec *Leuconostoc paramesenteroides* dans le nouveau genre *Weissella* (**Stiles et Holzappel, 1997**).

### 3.6 Genres *Pediococcus* et *Tetragenococcus*

Les *Pediococcus* sont des coques homofermentaires dont la particularité est le regroupement en tétrade. Ils sont mésophiles, le plus souvent incapable d'utiliser le lactose, et leur développement nécessite la présence de divers facteurs de croissance. Certaines espèces se distinguent par leur capacité à se développer à des teneurs en sels très élevées, comme *Pediococcus halophilus*, renommé *Tetragenococcus halophilus* et *Tetragenococcus muriaticus* qui tolère jusqu'à 18 % de NaCl (**Pilet et al., 2005**). Les espèces de *Tetragenococcus* ont un rôle crucial dans la fabrication des produits alimentaires à concentration élevée en sel comme les sauces de soja, alors que les *pediocoques* sont parfois utilisés comme levains lactiques pour les charcuteries (**Tosukhowong et al., 2005**).

### 3.7 Genre *Carnobacterium*

Ce genre a été créé par Collins *et al.*, (1987) se sont des bacilles hétérofermentaires souvent trouvés dans les viandes de bœuf, de poisson et de volaille emballées sous vide et stockées à basse température (**Joffraud et al., 2006**). Ils ont originellement décrit comme *Lactobacillus* mobile *Lb.gallinarum*, *Lb. divergens*, *Lb.Piscicola* (**Novel G, 1993**). Une étude taxonomique de ces différentes souches a permis de les regrouper après hybridations ADN-ADN, dans un nouveau genre, *Carnobacterium*. Morphologiquement proche des *Lactobacillus* (petits bâtonnets isolés, par paires ou en courtes chaînes), ils s'en différencient par leur production de l'acide lactique L(+) et leur incapacité à se développer dans les substrats à base d'acétate. En général, les *Carnobacterium*, peuvent croître à un pH relativement élevé (par exemple, pH=9) tandis que les lactobacilles ne peuvent pas s'y développer (**Schillinger et Lücke, 1987**). La croissance est possible à 0°C et 10°C mais pas à 45°C, ni en présence

de NaCl 18% (**Larpent J-P**, 1996) Leur contenu G+C est compris entre 33% et 37% (**Dellaglio et al.**, 1994).

Ce genre comprend 4 espèces fréquemment associées aux aliments *C. divergens*, *C. piscicola*, *C. mobile* et *C. gallinarum* Ils sont isolés de produits carnés, ou de produits de la mer, saumon fumé mais certains ont également été isolés de fromages.

### 3.8 Genre *Bifidobacterium*

Le genre *Bifidobacterium* est considéré comme faisant partie du groupe des bactéries lactiques grâce à la similarité de ses propriétés physiologiques et biochimiques et à sa présence dans le même habitat écologique, tel que le tube gastro-intestinal. Ces microorganismes sont phylogénétiquement sans rapport avec ces dernières. Ils sont davantage liés au phylum *Actinobacteria* (anciennement Actinomycètes) des bactéries Gram positif dont l'ADN est à haut pourcentage de G +C. Les *bifidobactéries* se caractérisent par leur forme très irrégulière souvent en forme V mais pouvant être *coccoides*, la présence d'une enzyme, la fructose-6-phosphate phosphocétolase, celle-ci leur permet de fermenter les hexoses en produisant de l'acide acétique et de l'acide lactique. Leur température de croissance varie de 36 °C à 43 °C (**Ho et al.**, 2007).

**Tableau 6** : Principales caractéristiques biologiques et métaboliques des bactéries lactiques (**Axelsson**, 2004)

	<i>Carnobacterium</i>	<i>Lactobacillus</i>	<i>Aerococcus</i>	<i>Enterococcus</i>	<i>Lactococcus Vagococcus</i>	<i>Loconostoc oenococcus</i>	<i>Pediococcus</i>	<i>Streptococcus</i>	<i>Tetragenococcus</i>	<i>Weissella</i>
<b>Morphologie</b>	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C
<b>Tétrades</b>	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-
<b>Croissance à 10°C</b>	+	+/-	+	+	+	+	+/-	+	-	+
<b>Croissance à 45°C</b>	-	+/-	-	+	-	-	+/-	+/-	-	-
<b>Croissance à pH 4,4</b>	nd	+/-	-	+	+/-	+/-	+	-	-	+/-
<b>Croissance à pH 9,6</b>	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-
<b>Croissance à 6,5% NaCl</b>	nd	+/-	+	+	-	+/-	+	-	+	+/-
<b>Croissance à 18% NaCl</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<b>Production de CO<sub>2</sub></b>	-	+/-	-	-	-	+	-	-	-	+
<b>Production d'acide lactique</b>	L	D, L DL	L	L	L	D	L DL	L	L	+/-

B : bacilles ; c : coques ; nd : non déterminé ; +/- : variables selon les espèces

## Notes :

+ : positif ; - : négatif ; +/- : réponse variable selon les espèces ; nd : non déterminé.

- A) *Weissella* peuvent être également sous forme de bacille.
- B) Type de fermentation du glucose homofermentaire (-) ou heterofermentaire (+).
- C) Faible quantité de CO<sub>2</sub> produite selon le milieu.
- D) Peuvent ne pas se développer dans 8% NaCl.
- E) Production d'acide lactique D, L, ou DL acide variable selon les espèces.

## 4. Propriétés technologiques

### 4.1 Capacité acidifiante

Les bactéries lactiques possèdent de nombreuses propriétés technologiques qui en font les premiers intervenants dans l'élaboration des aliments fermentés (**Stiles et Holzappel**, 1997). Elles interviennent par fermentation des substrats, en transformant les glucides en acide lactique. Suivant les espèces, les sucres sont ensuite catabolisés selon deux voies différentes : soit la voie homofermentaire, soit la voie hétérofermentaire (**Figure 13**).

#### - La voie homofermentaire ou voie d'Embden-Meyerhoff Parnas (EMP)

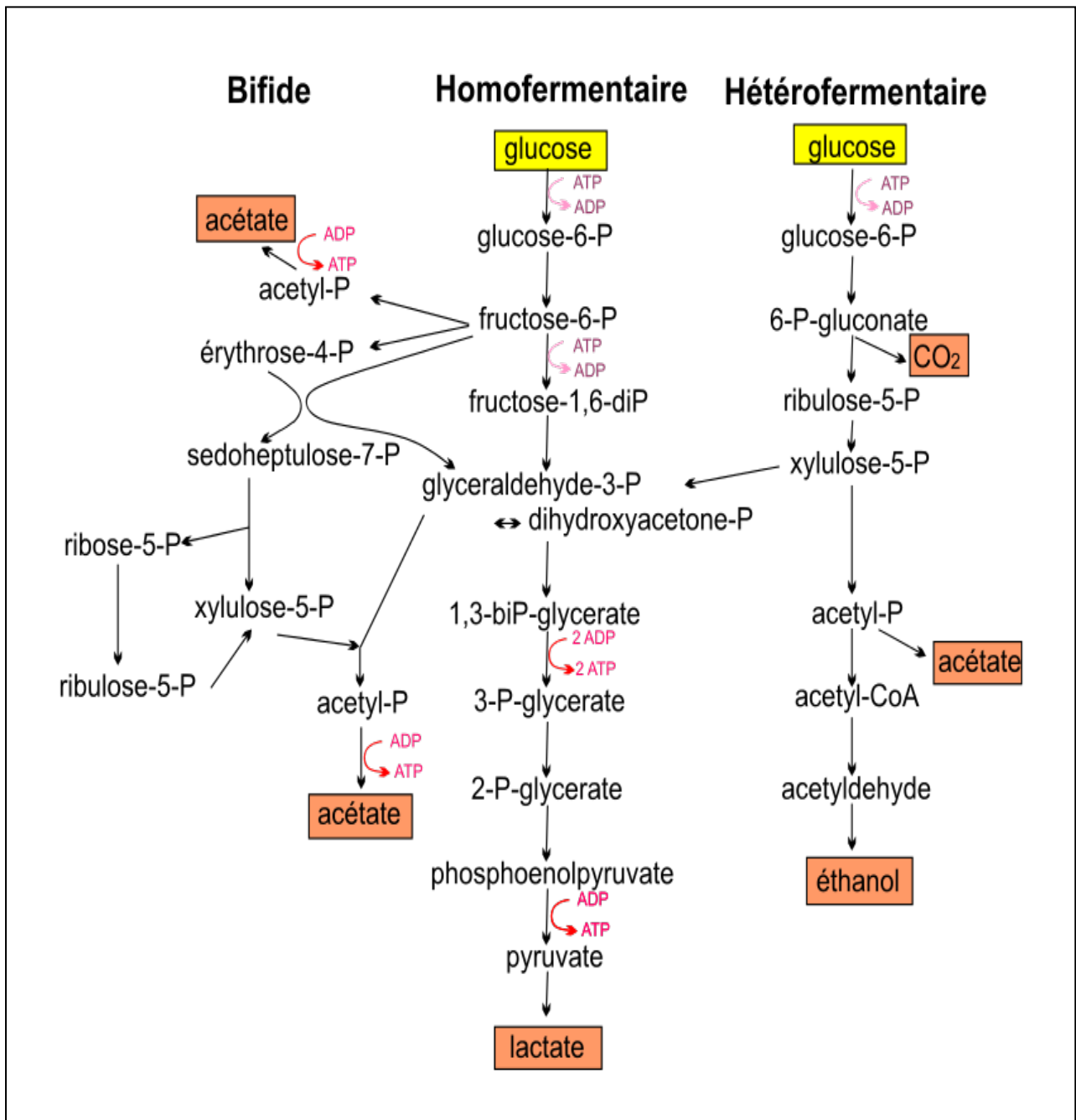
Elle est généralement associée aux bactéries des genres *Streptococcus*, *Lactococcus*, *Pediococcus* et *Lactobacillus*. Celles-ci utilisent la glycolyse pour dégrader les hexoses. En conditions optimales de croissance, cette voie produit deux molécules de lactate et deux molécules d'ATP par molécule de glucose consommée. Pour être qualifiée d'homolactique, cette voie doit convertir au moins 90 % du glucose consommé en lactate. D'autres sucres que le glucose peuvent également être fermentés via cette voie : monosaccharides, disaccharides, hexitols (**Thompson et Gentry-Weeks**, 1994). Dans les conditions défavorables (milieu appauvri, souches mutées), ces bactéries lactiques homofermentaires peuvent présenter un métabolisme mixte, caractérisé par la production d'acide lactique, d'acide acétique, d'éthanol et d'acide formique et/ou de CO<sub>2</sub> (**Mozzi et al.**, 2010).

#### - La voie hétérofermentaire

Les principaux groupes de bactéries présentant ce type de métabolisme sont les *Leuconostocs* et certains *lactobacilles*. Ces bactéries utilisent la voie des pentoses phosphate (ou 6-phosphogluconate)

qui permet l'obtention en plus d'une molécule l'acide lactique, de CO<sub>2</sub>, d'une molécule d'ATP et d'une molécule d'éthanol ou de l'acétate, à partir d'une molécule de glucose (**Salminen et al., 2004**).

- **La voie fermentaire bifide** (ou voie de la fructose-6-P phosphocétolase FPC) est une voie empruntée par les bactéries du genre *Bifidobacterium*. Pour une molécule d'hexose consommée, cette voie produit 1,5 molécule d'acétate et 2,5 molécules d'ATP (**Dridier et Prevost, 2009**).



**Figure 13 :** Voies homofermentaire, hétérofermentaire et bifide de la dégradation du glucose (**Dridier et Prevost, 2009**)

Grace à la production d'acides, les bactéries lactiques jouent un rôle primordial dans la fermentation des produits alimentaires, ainsi que dans leur conservation. Elles sont utilisées en tant que ferments. Au fur et à mesure du processus, la quantité d'acide lactique augmente, le milieu devient de plus en plus acide et le produit devient stable, ce qui permet une conservation prolongée de l'aliment (**Hugenholtz et Kleerebezem**, 1999). L'acidification des aliments présente plusieurs avantages: elle fait précipiter les protéines, ce qui rend les aliments plus digestes, elle prolonge leur durée de conservation en limitant la prolifération des microorganismes responsables d'altérations. Elle contribue également au développement des arômes. Pour des applications agroalimentaires, les souches utilisées doivent répondre à certains critères tels que : l'absence de pathogénicité ou de facteurs de virulence, la capacité d'améliorer les caractéristiques organoleptiques de l'aliment, la facilité de culture et de conservation et le maintien des propriétés désirables durant le stockage (**Marth et Steele**, 2001).

## 4.2 Capacité texturante

Certaines souches de bactéries lactiques ont la capacité de synthétiser des exopolysaccharides (EPS) qui jouent un rôle important dans la texture et la rhéologie des produits transformés. La présence de ces souches productrices d'EPS dans les produits fermentés présente un intérêt technologique important pour les différentes industries de la fermentation, notamment laitière. Elles permettent ainsi d'améliorer la texture (**Ricciardi et Clement**, 2000), de diminuer la synérèse et d'augmenter la viscosité et l'onctuosité du produit. Les EPS ont la capacité de retenir les molécules d'eau et de diminuer la séparation du lactosérum et des caséines coagulées du lait. Leur présence dans les yaourts améliore leur homogénéité (**Desmazeaud**, 1990). La majorité des études portant sur la production d'EPS par les bactéries lactiques portent sur les genres *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* et *Pediococcus* (**Badel et al.**, 2011).

Les bactéries lactiques produisent deux types d'EPS: les homopolysaccharides et les hétéropolysaccharides. Les dextrans et les glucanes produits respectivement par *Leuconostoc mesenteroides* et *Streptococcus mutans* sont des homopolysaccharides de glucose tandis que les levanes produits par *Streptococcus salivarius* sont des homopolysaccharides de fructose. Les hétéropolysaccharides contenant deux ou plusieurs types d'oses constitutifs forment un groupe très hétérogène de polysaccharides élaborés par différentes bactéries lactiques thermophiles et mésophiles (**Cerning**, 1994).

### 4.3 Capacité aromatisante

La production de composés aromatiques est liée à l'activité microbienne. Plusieurs espèces de bactéries lactiques, telles que *L. lactis ssp. lactis biovar. diacetylactis* et *L. mesenteroides ssp. cremoris* sont capables de synthétiser, à partir du citrate notamment, divers composés tels que le diacétyle, l'acétoïne, l'acétate, principaux composés responsables de l'arôme des produits laitiers fermentés (Leveau, 1991). D'autres travaux (Tanous *et al.*, 2006) ont montré la capacité de certaines bactéries lactiques à convertir les acides aminés en molécules aromatiques, ce qui permet de diversifier les arômes des produits dans lesquels se développent ces bactéries (Gripon *et Yvon*, 1998).

### 4.4 Effet sur la santé (caractère probiotique)

Parmi les nombreuses définitions formulées au cours des dernières décennies, on peut retenir celle qui présente les probiotiques comme des microorganismes vivants, qui, lorsqu'ils sont ingérés en quantité suffisante, exercent un effet potentiellement bénéfique sur la santé de l'hôte (FAO/OMS, 2001). Beaucoup de travaux ont mis en évidence les bienfaits des probiotiques sur la santé humaine (Zuppa *et al.*, 2016).

De nombreuses souches de bactéries lactiques, telles que *E. faecium J96* (Carina *et al.*, 2000), *B. longum* (Schell *et al.*, 2002), *L. acidophilus NCFM* (Altermann *et al.*, 2005) ...sont considérées comme probiotiques. Les principales propriétés recherchées chez les probiotiques sont la résistance aux acides gastriques et aux sels biliaires (Klaenhammert *et Kullen*, 1999) et l'activité immunomodulatrice (Gourbeyre *et al.*, 2011).

En effet, bien que non pathogènes, leur "appartenance bactérienne" stimule le système immunitaire par l'augmentation du nombre de phagocytes et de lymphocytes, premiers outils de défense contre tout agent exogène (Gourbeyre *et al.*, 2011). Ils aident ainsi au développement du système immunitaire chez le nourrisson et l'améliorent chez les personnes fragiles et âgées (Cross *et al.*, 2001). Les probiotiques participent également au renforcement de la muqueuse intestinale en stimulant la production du mucus par cette dernière. De plus, par l'assimilation de certains composés alimentaires indigestes (fibres alimentaires, lactose chez certaines personnes, etc.), ils aident à l'amélioration du transit intestinal et à la régulation de la flore endogène (Vieira da Silva *et al.*, 2016).

Différentes études ont par ailleurs suggéré un possible rôle des probiotiques dans la prévention du cancer et ceci par la production d'enzymes et d'anti-oxydants (Commane *et al.*, 2005). Ces derniers

agiraient en détruisant certains radicaux libres, composés favorisant le développement de cellules cancéreuses. D'autres études sur les souches probiotiques *L. acidophilus* et *L. casei*, ont montré leur efficacité contre la diarrhée (**Penner et al.**, 2005).

Enfin, la production de substances antimicrobiennes (bactériocines) est l'une des caractéristiques des probiotiques qui a connu un intérêt croissant ces dernières décennies (**Gillors et al.**, 2008). Les probiotiques bactériocinogènes permettent l'inhibition de certaines souches spécifiques pathogènes ou pouvant altérer la flore intestinale endogène. C'est le cas par exemple de *B. bifidum* NCDC 1452 qui produit une bactériocine, la bifidine (**Kang et al.**, 1989) ont par ailleurs décrit une souche de *B. longum* produisant un peptide antimicrobien dénommé bifilong, capable d'inhiber certaines bactéries à Gram-négatif ou à Gram-positif. De leur côté, (**Touré et al.**, 2003) ont isolé des souches de bifidobactéries à partir de fèces de nourrissons qui ont révélé une activité antagoniste contre *L. monocytogenes*.

Les probiotiques sont utilisés dans un grand choix d'aliments fermentés. Dans les différentes applications alimentaires des probiotiques, ce sont les genres *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* qui dominent, en raison de leur appartenance à la flore endogène humaine, mais également en raison de l'absence quasi-systématique de facteurs de virulence chez ces bactéries. Les lactobacilles sont néanmoins les plus populaires grâce à leur utilisation intensive dans les produits fermentés. Ainsi, les deux espèces *B. lactis* et *L. casei* sont utilisées comme compléments dans certains produits fermentés. L'utilisation de souches du genre *Enterococcus* en tant que probiotiques est néanmoins très restreinte du fait de l'association souvent faite de leur présence à une contamination fécale. Ces souches sont donc plus souvent utilisées comme probiotiques pour les animaux (**Izquierdo**, 2009).

Par ailleurs, en raison de leurs propriétés thérapeutiques, les probiotiques sont utilisés dans certaines préparations pharmaceutiques en association avec des traitements médicamenteux. (**Saarela et al.**, 2000) ont initié des travaux sur l'association de probiotiques aux antibiotiques en vue de limiter les infections à *Helicobacter pylori*, bactérie fréquemment impliquée dans la survenue des gastrites et ulcères gastro-duodénaux

## 5. Microbiote intestinale

### 5.1 Définition du microbiote intestinale

Le mot microbiote (du grec mikros : petit et bios : vie) désigne les espèces microscopiques qui prédominent et/ou sont durablement adaptées à la surface et à l'intérieur d'un organisme vivant.

Microbiote dérive de l'anglais microbiota et remplace aujourd'hui les termes désuets de flore microbienne ou de microflore.

Le microbiote, est l'ensemble des micro-organismes non pathogènes dits commensaux, vivant dans un environnement spécifique appelé microbiome, chez un hôte qui peut être animal ou végétal ou une matière pouvant être elle-même d'origine animale ou végétale  
(**Burcelin et al.**, 2016).

Notre organisme est composé de plusieurs microbiotes, notamment au niveau de la peau, de la bouche et du vagin, mais le microbiote intestinal est le plus important d'entre eux, il représente l'ensemble des micro-organismes qui réside dans notre intestin (**Corthier**, 2007).

Les principaux micro-organismes qui composent le microbiote intestinal sont des bactéries, mais on y trouve aussi des archées, des virus et des champignons. Le microbiote se localise entre la lumière du tube digestif et le mucus présent à la surface de l'épithélium intestinal, il est présent tout au long du tube digestif mais sa concentration est maximale au niveau de l'intestin grêle et du côlon. Au total, un individu abrite dans son tractus intestinal 10<sup>14</sup> micro-organismes.

## 5.2 Composition du microbiote intestinal

La flore intestinale est constituée de diverses espèces bactériennes, sa composition varie le long du tube digestif (**Gollado**, 2009). (**Figure 14**)

Le nombre de micro-organismes constituant le microbiote intestinal est de l'ordre de 10<sup>12</sup> à 10<sup>14</sup> soit 2 à 10 fois plus que le nombre de cellules qui constituent notre corps, pour un poids de 2 kilos.  
(**Paul B Eckburg et al.**, 2005)

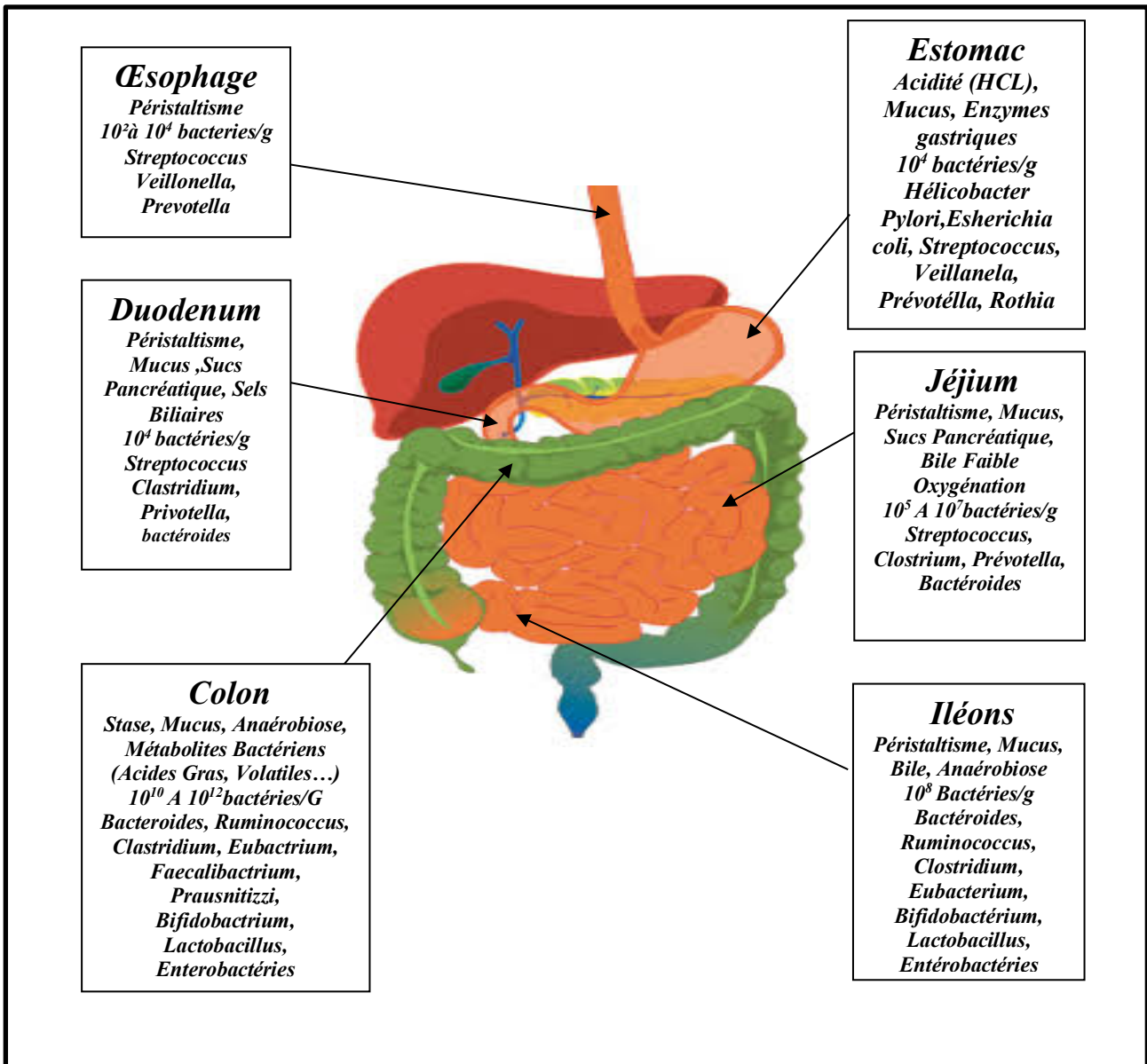


Figure 14 : Le microbiote du tractus digestif (Coudeyras et Forestier, 2010)

Cette figure illustre les principales espèces bactériennes et leurs proportions au cours du tractus gastro-intestinal.

La bouche présente de nombreux germes, il s'agit essentiellement de germes issus des aliments. L'œsophage possède une flore résidente constituée essentiellement de bactéries appartenant au Phylum des Firmicutes (*streptococcus*) et Bacteroïdetes (*Prevotella*). (Ley et al., 2006).

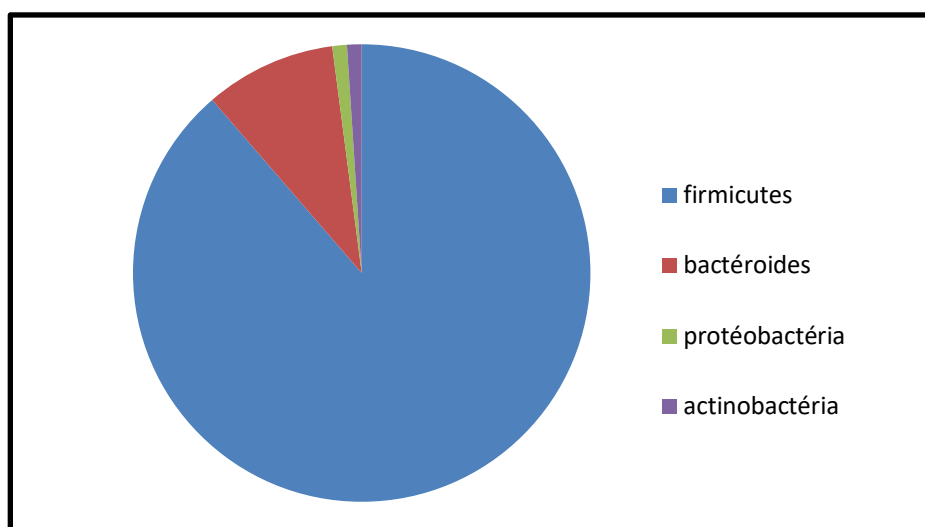
L'estomac, du fait de son acidité ne présente pas un grand nombre de germes, les plus caractéristiques sont les Proteobactéries avec majoritairement le genre *Helicobacter pylori*

(notamment à l'origine des ulcères gastroduodénaux) mais également *Escherichia*, l'important péristaltisme de l'intestin grêle entraîne une diminution de la teneur en oxygène jusqu'à se retrouver en condition d'anaérobiose au niveau de l'iléon et du côlon parallèlement le nombre de bactéries s'intensifie. Le plus grand nombre de bactéries se retrouve au niveau du côlon (de  $10^{10}$  à  $10^{12}$  CFU/g de contenu), cela représente 70% des microorganismes du corps humain (Ley *et al.*, 2006).

Le côlon présente majoritairement les phylums Firmicutes (genre *Clostridium*, *Eubacterium* et *Ruminococcus*) et Bactéroïdetes (genre *Bacteroïdes*), on trouve également les phylums Actinobacteria (genre *Bifidobacterium*) et Proteobacteria (famille des enterobactéries). (Paul B Eckburg *et al.*, 2005).

Le microbiote intestinal présente 4 phylums majoritaires : Firmicutes (86%), Bactéroïdetes (9%), Proteobacteria (1%) et Actinobacteria (1%). (Figure 15) (Peris – Bondia *et al.*, 2011).

(La composition quantitative exacte reste difficile à déterminer et dépendante de la méthode d'analyse employée).



**Figure 15** : phylums principaux. Représentation des 04 phylums principaux du microbiote intestinal dans les proportions décrite par **Peris-Bondia**, 2011

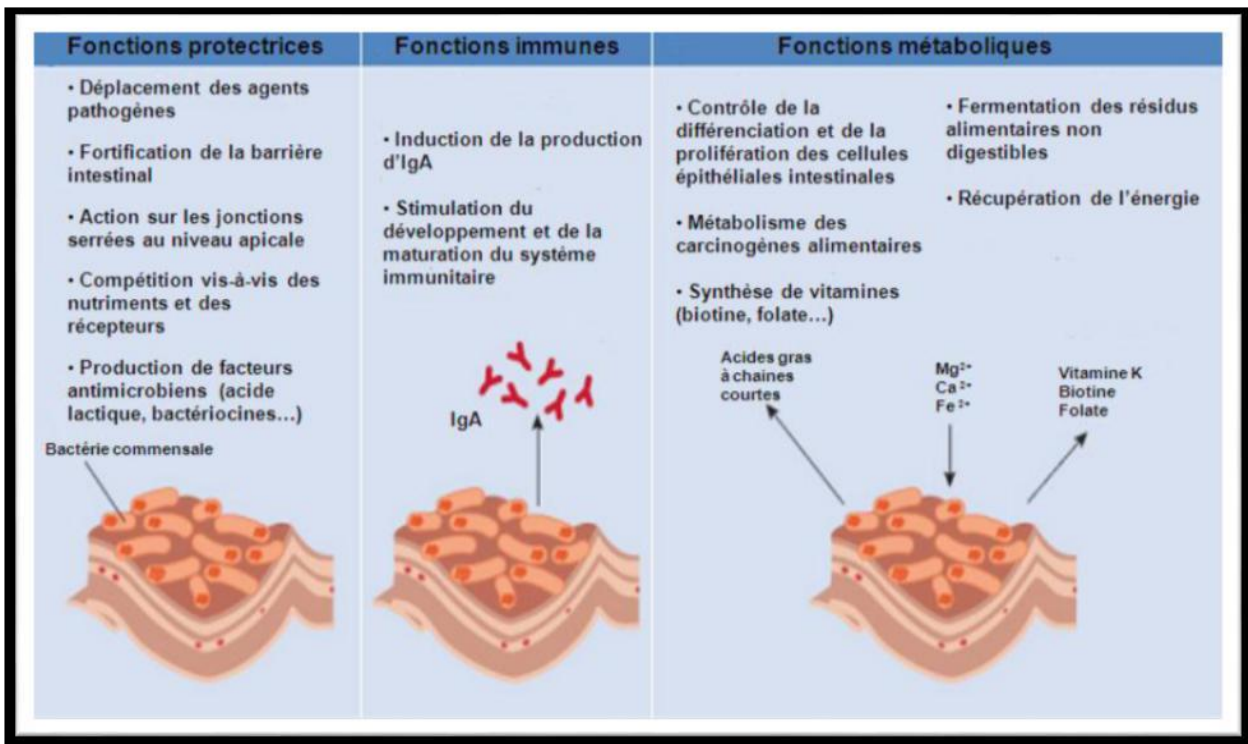
Le plus grand facteur de variabilité de la composition de la flore intestinale est l'individu lui-même (Paul B Eckburg *et al.*, 2005). Chez un individu donné, la flore peut varier selon l'alimentation et l'âge (O'Hara *et Shanahan*, 2006).

## 5.3 Les fonctions du microbiote intestinal

Le microbiote intestinal exerce de nombreuses fonctions physiologiques dont les répercussions pour l'hôte sont, pour la plupart, bénéfiques. Parmi les grandes fonctions du microbiote, la fermentation des substrats disponibles au niveau du côlon, le rôle de barrière à la colonisation par les micro-organismes pathogènes, le développement et la maturation du système immunitaire intestinal et les interactions avec les cellules épithéliales ont des rôles essentiels pour le maintien de la santé de l'hôte. Le microbiote intestinal doit ainsi être considéré dans son contexte environnemental, incluant l'hôte et l'aliment, les interrelations entre ces différents constituants assurent l'homéostasie de l'écosystème microbien digestif, toute rupture de l'équilibre entre ces constituants est susceptible de perturber le fonctionnement de l'écosystème et d'être à l'origine de pathologies digestives (fonctionnelles, inflammatoires, infectieuses...).

(Gérard et Bernalier-Donadille, 2007).

La Figure16 ci-dessous représente les trois grandes fonctions du métabolite intestinal.



**Figure16** : Fonctions du microbiote intestinal (O'Hara et Shanahan, 2006).

***PARTIE II :***  
***ETUDE EXPERIMENTALE***

## I. Objectif général

Mettre en évidence la richesse du blé fermenté « hamoum » en bactéries lactiques et en composés phénoliques en comparant les études de trois articles qui sont proches de notre objectif.

Pour cela, nous avons choisis les études de 3 articles qui développent notre recherche :

- **Article I :** Qualité microbiologique du blé dur fermenté de Matmor « Hamoum » : Indispositions digestives, microflore avantageusement technologique et potentiels pathogènes. Moustapha Soungalo Drabo, Hafidha Khadem, Nour-eddine Benatmane, Abdelhak Ouhab, Mazouzi Fatma Zohra, Kheira Soualmi, and Boubakeur Badra. International Journal of Innovation and Applied Studies
- **Article II:** Diversité des bactéries lactiques dans le blé fermenté hamoum dans l'ouest d'Algerie. Benakriche Ben Mehel, Benabdelmoumen Djilali, Mortet Ahmed. Pakistan Journal of Nutrition 15 (7):639-648, 2016.
- **Article III:** Blé fermenté traditionnel : Qualité nutritionnelle et évaluation sensorielle du pain produit à partir des composés de farine de blé fermentée . Benhamada Nabila et Idoui Tayeb Carpathian Journal of Food Science and Technology, 2020, 12(2), 37-46.

## II. Matériels et méthodes

**1. Article I :** Qualité microbiologique du blé dur fermenté de Matmor « Hamoum » : Indispositions digestives, microflore avantageusement technologique et potentiels pathogènes.

### 1.1. Objectif

Évaluer la qualité microbiologique du Hamoum et de caractériser les bactéries avantageusement technologiques.

### 1.2. Zone d'enquête

L'enquête a été menée dans la wilaya de Relizane.

### 1.3. Matériels

Echantillon :500 g de blé fermenté de deux ans dans un Matmor dans la région de Ouled Ayche (wilaya de Relizane) a été obtenu auprès d'un producteur. Le contenu du Matmor a été mélangé avant prélèvement dans un plastique stérile hermétique.

### 1.4. Méthodes

#### 1.4.1. Questionnaire

Un questionnaire a été conçu et a ciblé la population des deux sexes, d'âge supérieur à 40 ans, et ayant au moins une fois consommé le Hamoum. Il renseigne essentiellement la fréquence de consommation, l'âge (enfance ou adulte) à la première consommation/découverte, le cadre de la consommation (en famille ou hors), l'indisposition digestive rencontrée, le mode d'acquisition et les formes de consommation.

#### 1.4.2. Analyse microbiologique

L'échantillon a été débarrassé des corps étrangers (Cailloux, sable, bois, insectes) et 10 g est dissout dans 90 ml d'eau distillée stérile. L'ensemble est reposé 30 min et secoué

vigoureusement. 0.1 ml de la dilution  $10^{-3}$  est ensemencé dans les géloses PCA, Columbia, Mac-Conkey, Chapman, et Viande Foie.

La microflore est phénotypiquement (caractères culturels, microscopiques, et biochimiques) identifiée suivant les tableaux d'assortiment dans (Cowan and Steel's manual for identification of medical bacteria, 2003). Les différents tests biochimiques ont été réalisés suivant les procédures décrites dans (Cowan and Steel's manual for identification of medical bacteria, 2003).

### **1.4.3. Identification MS-MALDI-TOF**

Les isolats dont l'assortiment n'aboutit pas, sont identifiés sur la base de leurs spectres protéomiques par Spectrométrie de Masse, - Désorption Ionisation Laser Assistée par Matrice - Temps De Vol (MS-MALDI-TOF) (Pavlovic M. *et al.*, 2013). Les aliquotes des isolats ont été réalisées sur la gélose sélectif MRS et M17 et envoyés sous glacière au Centre de Recherche Scientifique et Technique en Analyses physico-chimiques (CRAPC-Algérie). L'identification a été réalisée en utilisant le logiciel MALDI Biotyper 1.1 (Bruker Daltonik GmbH, Bremen, Germany).

### **1.4.4. Quantification du biofilm, agrégation et activité protéolytique**

Le biofilm a été quantifié par la coloration au cristal violet selon le protocole décrite dans (Pope C.F. *et al.*, 2010). La capacité d'agrégation a été estimée par le test de sédimentation après 4h selon le protocole décrit dans (Balakrishna A., 2013).

La plage de protéolyse sur gélose au lait écrémé a été utilisée pour le screening de l'activité protéolytique (Savado A. *et al.*, 2016)

### **1.4.5. Analyse des données**

Les données ont été enregistrées et les différentes fréquences et moyennes ont été calculées en utilisant le tableur Excel 2010.

### **2. Article II :** Diversité des bactéries lactiques dans le blé fermenté hamoum dans l'ouest d'Algerie.

#### **2.1. Objectif**

Cette étude permet de déterminer les caractéristiques microbiologiques du blé fermenté (Hamoum) par l'isolement et l'identification des souches de bactéries lactiques endogènes .

#### **2.2. Lieu d'échantillonnage**

l'échantillon provenait de la ville de Mostaganem dans l'ouest de l'Algérie .

#### **2.3. Matériels**

Le hamoum a été prélevé dans des conditions aseptiques et hygiéniques dans des sacs stériles pour éviter toute contamination pouvant affecter la flore bactérienne endogène. L'échantillon a été prélevé dans la partie périphérique du Matmor en contact avec le sol. L'échantillon a été conservé à l'obscurité dans un réfrigérateur dans un emballage alimentaire à 04 ° C jusqu'à utilisation.

#### **2.4. Méthodes**

##### **2.4.1. Isolement et purification**

Tout d'abord, 40 g de hamoum ont été dilués dans un mortier avec 10 ml d'eau physiologique. L'échantillon a été broyé et trempé pour préparer une solution mère prête pour des dilutions décimales. L'isolement électif et sélectif de la culture de bactéries lactiques sur plusieurs milieux a été réalisé par les méthodes décrites par **Carr** et al. (2002).

Dans cette méthode, 1 ml de chaque dilution est inoculé dans la majeure partie des milieux solides MRS et M17 (Merck, Darmstadt, Allemagne) pour obtenir des colonies bien séparées. Après incubation à 37 ° C pendant 48 h en conditions anaérobies, un examen microscopique est réalisé après coloration de Gram. La forme des isolats bactériens et leurs modes d'association sont observés et enregistrés.

Les colonies Gram positives et catalases négatives sont plantées en alternance sur gélose MRS (De Man, Rogosa et Sharpe) et M17 jusqu'à purification. La pureté des souches est révélée par des colonies uniformes ayant la même apparence (couleur, taille et forme) (**Idoui et al.**, 2009). La conservation à court terme de la souche bactérienne est réalisée sur un milieu solide MRS incliné pour les bactéries lactiques. Après croissance à la température optimale, les cultures

sont maintenues à + 4 ° C et re-plaquées toutes les 4 semaines. Pour un stockage à long terme, les souches bactériennes sont immergées dans une solution contenant 70% de lait écrémé (enrichi en 0,5 g / l d'extrait de levure et 0,5 g / l de glucose) et 30% de glycérol dans des cryotubes pour un stockage à -20 ° C (**Samelis et al.**, 1994).

### 2.4.2. Identification des traits physiologiques

L'activité catalytique dégrade le peroxyde d'hydrogène en oxygène et en eau. Elle est mise en évidence en émulsionnant une à deux colonies de l'isolat de la souche dans une solution fraîche de peroxyde d'hydrogène. Un dégagement gazeux abondant sous forme de mousse reflète la décomposition du peroxyde d'hydrogène par l'action de l'enzyme testée (**Guiraud**, 2003). Les taux de croissance à différentes températures différencient les bactéries lactiques mésophiles et thermophiles. Le test est réalisé dans des milieux liquides M17 et MRS à différentes températures (15, 40 ou 37 ° C) pendant 24 à 48 h. La croissance cellulaire est évaluée par la présence d'un trouble (**Hariri et al.**, 2009). La croissance dans des conditions hostiles est examinée en cultivant les colonies bactériennes dans des milieux M17 et MRS avec 2, 4 ou 6,5% de NaCl. Après incubation à 37 ° C pendant 24 h, la croissance est évaluée par la présence d'un trouble. Le test de croissance en milieu liquide M17 et MRS est réalisé à pH 5 et pH 9 pendant 24 à 48 h. La croissance bactérienne est évaluée par la présence d'un trouble à l'extrémité inférieure du tube (**Hariri et al.**, 2009).

Le test de croissance dans différents environnements de pH est effectué dans des milieux liquides M17 et MRS à pH 5 et pH 9 pendant 24 à 48 h. La croissance bactérienne est évaluée par la présence d'un trouble du milieu à l'extrémité inférieure du tube.

La résistance à la chaleur est évaluée en milieu liquide MRS dans un bain-marie à 63,5 ° C pendant 30 min. Après trempe, les échantillons sont incubés à 30 ± 1 ° C pendant 48 à 72 h. Un résultat positif est un trouble (**Badis et al.**, 2005).

L'activité protéolytique est évaluée en milieu YMK (gélose au lait de levure) supplémenté avec du lait écrémé stérile. Les bactéries sont cultivées pendant 18 h dans le milieu MRS et M17 puisensemencées en touchant le milieu YMK et incubées à 37 ° C pendant 24 h. Les colonies qui donnent des zones claires possèdent une activité protéolytique. L'activité lipolytique est mise en évidence par culture bactérienne en milieu MRS et M17 avec un ensemencement en touchant la gélose avec Tween 80 (gélose ajoutée à 2,5 ml de Tween 80 stérile) et incubée à 37 ° C pendant 24 h. L'identification de l'activité amylolytique est basée sur une pré-culture de nos souches bactériennes pendant 18 h; les isolats ont été ensemencés en touchant le milieu MRS-A (en remplaçant 10 g de lactose avec 20 g d'amidon soluble). Après incubation à 30 ° C

pendant 48 h, les colonies bactériennes ont été exposées à une solution de Lugol. Les résultats positifs sont la présence d'une zone claire autour des colonies bactériennes (**Thapa et al.**, 2006).

### 2.4.3. Détermination des tests biochimiques

- **Test de mobilité au mannitol**

La technique consiste à cultiver des souches bactériennes dans du milieu mannitol-mobilité après incubation à 37 ° C pendant 24 h. La fermentation du mannitol a entraîné un changement du milieu de culture en jaune (**Guiraud**, 2003).

- **Gélose TSI (Glucose Lactose Sucrose-H<sub>2</sub>S)**

À l'aide d'une poignée contenant des colonies échantillonnées, nous avons ensemencé la pente et le résidu d'un tube. Après incubation à 30 ± 1 ° C pendant 48 h à 72 h, il y a un indicateur de coloration jaune à la pente de l'éprouvette indiquant positif pour le lactose, à l'extrémité du culot indiquant positif pour le glucose et dans la zone intermédiaire indiquant positif pour le saccharose . Ce test permet également la production de H<sub>2</sub>S (noircissement de la zone joignant la pente et le culot) et de gaz (bulles dans la gélose).

- **Recherche d'ADH**

Les souches bactériennes ont été cultivées dans de la gélose Moeller à l'arginine après incubation à 37 ° C pendant 24 h. Une culture positive est identifiée par un changement de jaune dû au métabolisme du glucose. La dégradation de l'arginine et le dégagement d'ammoniaque empêchent le passage au jaune.

- **Test du citrate de Simmons**

Ce milieu ne contient pas de citrate comme seule source de carbone; seules les bactéries avec perméase citrate sont capables de se développer sur ce milieu. Le milieu de l'inclinaison est ensemencé dans une rainure longitudinale au moyen d'une poignée contenant une colonie et l'inclinaison est incubée à 30 ± 1 ° C pendant 5 jours. Un résultat citrate positif se manifeste par une alcalinisation du milieu (changement de couleur de l'indicateur du milieu en bleu). Un résultat de citrate négatif se manifeste par l'absence de croissance bactérienne (couleur verte, milieu inchangé).

- **Production d'acétoïne**

Les souches bactériennes sont inoculées dans des milieux Clark et Lubs pour tester la production d'acétoïne. Après incubation à 37 ° C pendant 24 h, 1 ml de culture est déposé avec 0,5 ml de réactif a-naphtol dans 6% d'alcool absolu (VP1) et 0,5 ml d'une solution (NaOH 16% dans l'eau distillée (VP2)) dans un tube hémolyse pour réaliser la réaction de Voges-Proskauer. Le tube est soigneusement agité et maintenu en contact avec la zone libre pendant 10 min à

température ambiante. La production d'acétoïne se traduit par un anneau rose à la surface du milieu jaune.

**3. Article III :** Blé fermenté traditionnel : Qualité nutritionnelle et évaluation sensorielle du pain produit à partir des composés de farine de blé fermentée .

### 3.1. Objectif

De fournir des informations sur la qualité biochimique et nutritionnelle du blé traditionnellement fermenté.

### 3.2. Lieu d'échantillonnage

Les différents échantillons de blé fermenté ont été collectés de deux régions situées dans l'est de l'Algérie à savoir Jijel et Mila.

### 3.3 Matériels

La collecte des échantillons :Huit échantillons ont été obtenus après avoir été soumis à une fermentation spontanée traditionnelle dans le Matmor pendant environ 10 mois en milieu rural.

### 3.4. méthodes

#### 3.4.1. Analyse biochimique

Les échantillons de blé fermenté traditionnel ont été soumis à une évaluation biochimique ; Le pH et l'acidité grasse ont été mesurés d'après **Multon** et **AFNOR** (1982). La teneur en protéines (méthode Kjeldhal) et la teneur en amidon a été déterminée selon **Lecoq** (1965), la teneur en fibres brutes était mesuré en utilisant la procédure **AOAC** (1995) et teneur en matières grasses selon la procédure **Serna-Saldivar** (2012). Les glucides étaient déterminés par la différence comme décrit par **Srivastava** et al. (2002) :

Glucides (%) = 100 - [protéines (%) + lipides (%) + cendres (%) + humidité (%)].

#### 3.4.2. Activité antioxydante de l'extrait de blé méthanolique

Le blé fermenté traditionnel lyophilisé a été homogénéisé avec 70% de méthanol pendant 48 h et le mélange a été filtré à l'aide d'un papier filtre. Le filtrat a été concentré à la température de 45 ° C (**Bruneton, 1999**).

- **Le Contenu Total des polyphénols et des flavonoïde**

Le contenu phénolique total était étudié à l'aide du test Folin-Ciocalteu (**Othman et al., 2007**). En bref : 0,2 ml de l'échantillon a été mélangé avec 1,5 ml de Folin- Réactif Ciocalteu. Après 5 min, 1.5 ml de 7% d'une solution de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a été ajoutée et le mélange a été incubé pendant 90 min, puis

l'absorbance a été mesurée à 750 nm. la teneur en phénolique total a été exprimée en mg d'acide gallique équivalents par g de poids sec (mg GAE / g). Pour déterminer la teneur totale en flavonoïdes , un essai de formation de complexe de chlorure d'aluminium a été utilisé selon **Djeridane** et al. (2006). Dans ce test, 1,5 ml d'échantillon a été ajouté à 1,5 ml de solution de chlorure d'aluminium (2%). le mélange a été laissé dans l'obscurité pendant 30 min. L'absorbance de ce mélange réactionnel a été enregistré à 430 nm et les résultats sont exprimé en mg d'équivalents quercétine par g de poids sec (mg QE / g).

- **L'Essai DPPH (1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl)**

L'Activité antioxydante de l'extrait de blé fermenté traditionnels (EBFT) était mesurée comme potentiel de récupération des radicaux libres en solution éthanolique de DPPH, comme décrit par **Brand-Williams** et al. (1995). 100 µl de EBFT ont été ajoutés à 3 ml de 0,025 g / l de DPPH solution éthanolique fraîchement préparée. Après incubation pendant 30 min à température ambiante et dans l'obscurité, l'absorbance a été enregistrée à 517 nm et l'activité antiradicalaire était calculé en pourcentage de décoloration DPPH par rapport au contrôle utilisant le formule : Pourcentage d'inhibition =  $[(A-B) / A] \times 100$  .

(A) est l'absorbance du DPPH pur sous forme oxydée

(B) est l'absorbance du échantillon.

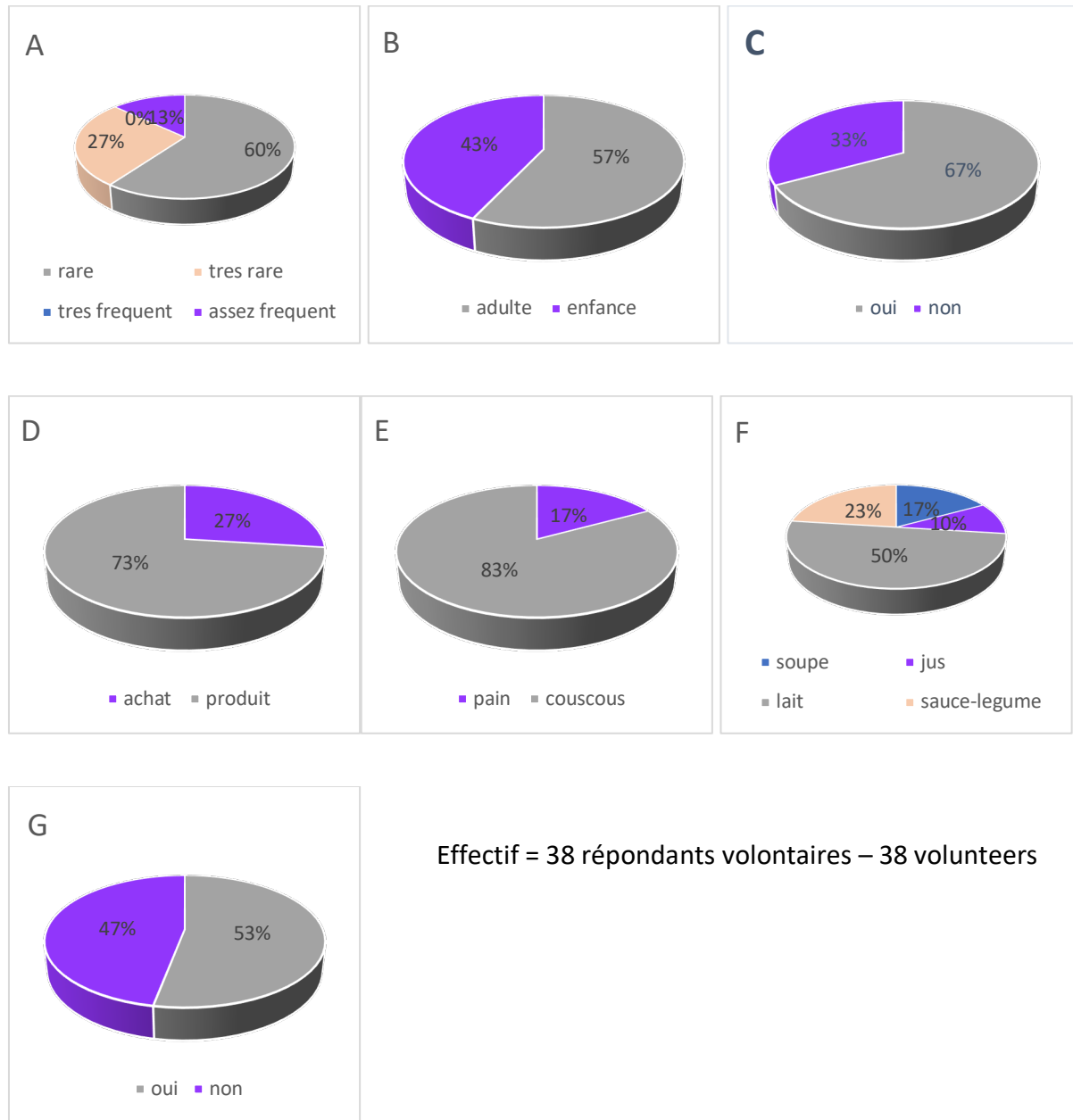
**(Benhamada *et* Idoui / Carpathian Journal of Food Science and Technology, 2020)**

### III. Résultats et discussions

**1. Article I:** Qualité microbiologique du blé dur fermenté de Matmor « Hamoum » : Indispositions digestives, microflore avantageusement technologique et potentiels pathogènes

#### 1.1. Modalités de consommation et appréciation du hamoum

Au total, 37 répondants ont été obtenus avec une fréquence très faible de consommation du Hamoum (Figure 17). Plus de 87% le consomment rarement ou très rarement (pas plus d'un mois dans le semestre), contre 13% assez fréquemment (au moins 1 fois chaque trimestre) et 0% fréquemment (Figure 17 A). Cependant, le Hamoum est rapporté comme un produit séculaire des pays arabes (Merabti R., 2015). La fermentation est une technique de préservation du blé pour prévoir et résoudre les périodes de disette. Il serait en train de perdre de l'appréciation dans la nouvelle génération, face aux produits alimentaires industriels qui remplissent les marchés. 43% des interrogés l'ont connu et consommé à leur âge adulte, contre 57% à leur enfance (Figure 17B). Ils le consomment principalement en famille (67%) – 33% à l'occasion d'une invitation (Figure 17C). Le produit est en grande partie consommé directement par les détenteurs de Matmor (les producteurs) (73%) et seulement 27% l'achètent dans les marchés ou directement des producteurs (Figure 17D).



Effectif = 38 répondants volontaires – 38 volunteers

**Figure 17 :** 1. A. fréquence de consommation, B. distribution de l'âge de la première consommation/découverte, C. cadre de consommation (en famille ou non), D. mode acquisition, E. forme de consommation, F. Accompagnement et G. indisposition digestive (Enquête dans la région de Relizane, Algérie – Survey realized in Relizane, Algeria)

Les maladies nutritionnelles deviennent fréquentes dans les sociétés. Il serait important de promouvoir les produits locaux d'une grande valeur nutritionnelle. La fermentation offre au blé de nouvelles fonctionnalités organoleptiques (aspect, odeur, saveur) et nutritionnelles (composition biochimique et microbiologique bénéfique à la santé) (**Benakriche B.M. et al.**,

2017) . Le blé fermenté pourrait être une importante ressource pour lutter contre les différentes maladies nutritionnelles, diabète, dyslipidémie/obésité et hypertension, qui prennent de l'ampleur dans la société algérienne. L'extrait de germe de blé fermenté a été montré efficace comme adjuvant dans le traitement du cancer gastro-intestinal (**Yeend T., et al., 2012**). Le profil protéique du Hamoum présenterait la même fonctionnalité (**Benakriche B.M. et al., 2017**), et le microbiote aurait un effet protecteur contre certains pathogènes gastriques (Mokhtari S. *et al.*, 2016)

Le Hamoum est transformé et très largement consommé en couscous et pain ou galette emblématiques des pays arabes (**Merabti R., 2015**). 83% le transforment en couscous et 17% en pain (Figure 17 E) - ils l'accompagnent de lait (50%), soupe (17%), jus (10%), ou sans accompagnement (23%) (Figure 17 F). Les différents mets sont très appréciés des algériens. Cependant, un grand nombre d'interrogés (53%) (Figure 17 G) relatent des indispositions digestives, diarrhée, nausée ou flatulence. En effet, le Hamoum est obtenu après plusieurs années de fermentation spontanée qui pourrait l'exposer à la contamination microbienne. Une nouvelle méthode hors Matmor est développée pour réduire considérablement le temps de la fermentation (**Merabti R., 2015**). Elle est également tributaire de la fermentation spontanée. Cependant, de nombreux travaux y identifient une grande diversité de bactéries lactiques et leurs caractéristiques technologiques (**Kalbaza K. et al., 2018**) et pavent le développement de cultures starters. Les cultures starters et la fermentation hors Matmor pourront permettre une standardisation de la qualité et la maîtrise de la sécurité et l'hygiène du Hamoum ; et cela en appui d'un guide de bonne pratique d'hygiène et de transformation.

### **1.2. Qualité microbiologique du hamoum**

Le Hamoum a une microflore riche, levures, bactéries lactique, entérobactéries, et bactéries sporulantes. La culture et la microscopie révèlent cette riche flore microbienne aux différents phénotypes morphologiques, culturels, et biochimiques. (tableau 7)

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

**Tableau 7 :** Caractères cultureux, microscopiques et biochimiques et identification présumptive des isolats.

Isolats	BFR 1	BFR 2	BFR3	BFR4
Cultures	M17 (O <sub>2</sub> , 30°C, 24 h)	M17 (O <sub>2</sub> , 30°C, 24 h)	M17 (O <sub>2</sub> , 30°C, 24 h)	MRS (microO <sub>2</sub> , 44°C, 48h)
Aspects cultureux	PC translucides	MC bombées et crémeuses	PC	MC crémeuses blanchâtres
Gram (positif)	Cocci isolés, paires, tétrades, et chaînes	Coccobacilles isolés, paires et chaînes	Bacilles en paires et chaînes	Bacilles en paires
catalase	-	+	-	-
oxydase	+	+	+	+
Manotil/ Mobilité	-/-	+/-	-/-	+/-
ONPG	+	+	-	+
Citrate simmons	-	-	-	-
TSI	Glucoss	+	+	+
	Lactose	+	+	-
	H <sub>2</sub> S	-	-	-
	Gaz	-	-	-
Proteolyse	+	+	+	+
RM	-	-	-	-
VP	-	-	-	-
ADH/LDC/ODC	+/-/-	+/-/-	+/+/+	+/- /-
Identification*	<i>E. durans/ Pediococcus spp</i>	<i>M. lactis/kristinae</i>	<i>Actinomyces spp</i>	<i>L. fermentum**</i>

(Cowan *et* Steel's manual for identification of medical bacteria, 2003). Assortie faiblement, +/- Positif/Négatif, BFR Blé fermenté de Relizane, aérobie (O<sub>2</sub>), microaérobie (microO<sub>2</sub>),

petite colonie (PC), moyenne colonie (MC), Sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S), Clark & Lubs tests Rouge de Méthyle (RM) et Voges-Proskauer (VP), Arginine DiHydrolase (ADH), Lysine DécCarboxyase (LDC), et Ornithine DéCarboxylase (ODC).

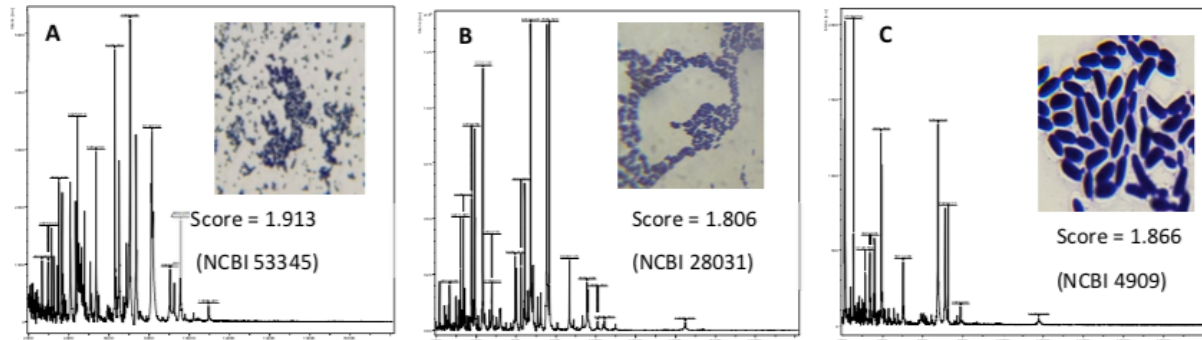
Des familles microbiennes diverses ont été observées, notamment *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcaceae/Micrococcaceae*, *Streptococcaceae/Enterococcaceae*, *Lactobacillaceae*, *Actinomycetaceae*, *Clostridiaceae*, *Bacillaceae* et *Saccharomycetaceae*. L'identification spécifique de colonies prises aléatoirement, caractères culturels et microscopiques (Coloration de Gram) (BFR1, BFR2, BFR3, BFR4, et BFR5), ont été obtenus par phénotypage biochimique (Tableau 7, Figure 14) : respectivement (*Enterococcus durans/Pediococcus spp.*, *Micrococcus lactis/kristinae*, *Actinomyces spp.*, *Lactobacillus fermentum*, *Enterococcus durans*).

Les *Bacillus* (bactéries sporulantes) ne sont pas de la microflore dominante dans la fermentation du Hamoum. Les bactéries lactiques et rarement les levures sont les leaders de la fermentation du blé dur en Matmor (**Benakriche B.M. et al.**, 2016). Les isolats de levures (coloration de Gram, Figure 17 C), *Bacillus* présomptifs (Gram aspects, Catalase positive, Figure 17B), et BFR5 d'identification difficile ont été identifiés par MS-MALDI-TOF (Figure 18). Les spectres ont été assortis avec les références NCBI aux scores d'identification probable ( $1.700 < \text{score} < 1.999$ ) du genre (Figure 17): *Candida krusei*, *Lysinibacillus fusiformis*, *E. durans*.

La microflore du Hamoum est prédominée de bactéries lactiques, en accord avec plusieurs travaux précédents (**Benakriche B.M. et al.**, 2016). Ce travail a relevé la contamination par une flore qui pourrait être potentiellement toxigène et pathogène, notamment *Enterobacteriaceae*, *C. Krusei*, *Staphylococcus spp.*, *M. kristinae*, *E. durans*, et *Clostridium spp.* La mise en évidence de ce risque sanitaire/microbiologique (et le report d'indisposition digestive, Figure 17 G) soulève la question d'une recherche approfondie afin de mesurer les risques associés.

L'identification de bactéries sporulantes non pathogènes, *L. fusiformis*, avantageusement technologique (**Divakar K. et al.**, 2017), laisse supposer que la fermentation du blé pourrait impliquer les *Bacillus*. Il n'y a pas de travaux précédents sur le microbiote endosporulant du Hamoum. Cependant, les conditions de transformation en sous-sol, contrainte hydrique et haute température suggèrent fortement une implication des bactéries sporulantes, qui sont telluriques

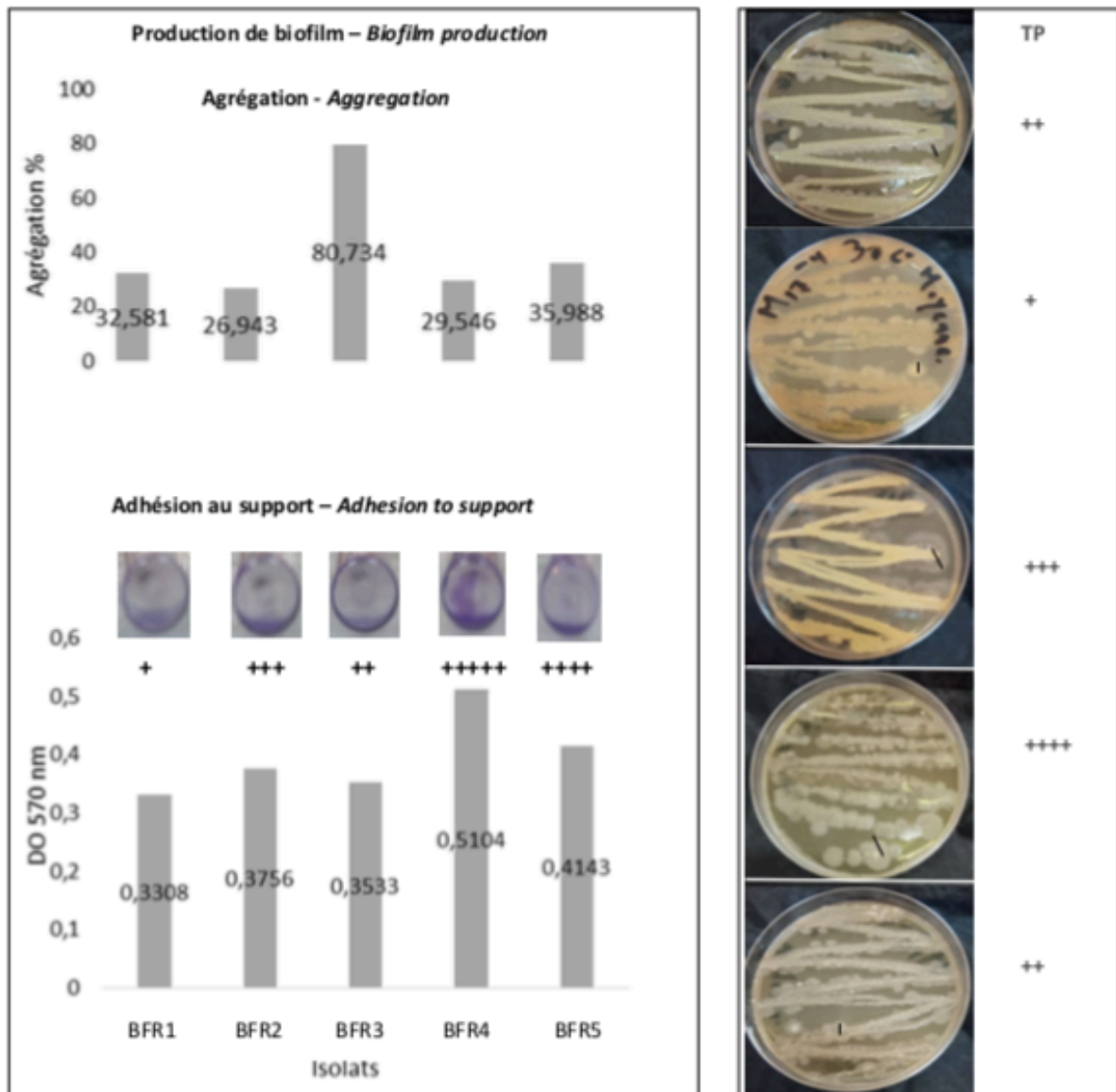
et résistantes à ces conditions. Les Bacillus ont des caractéristiques technologiques, activité protéolytique et caractères probiotiques (résistance à l'environnement gastrique, production de substances antimicrobiennes) (Haldar L. *et al.*, 2017) qui peuvent servir dans la recherche d'une formule de culture starter, en association avec la flore lactique.



**Figure 18** : Spectres MALDI-TOF & Coloration de Gram – Identification présomptive de – MALDI-TOF Spectra & Gram staining- Presumptive identification of A *E. durans* (BFR5), B. *L. fusiformis*, et de C *C. krusei* (Assortis avec les spectres standards de la base NCBI – Spectra matching using NCBI references)

### 1.3. Caractéristiques technologiques des isolats : capacité de production du biofilm et activité protéolytique

La fermentation entraîne une modification physicochimique importante du blé (Gourchala F. *et al.*, 2014) et une protéolyse qui donnerait un profil protéique fonctionnel, comme adjuvant dans le traitement de cancer digestive (Benakriche B.M. *et al.*, 2017) et pour des considérations technologiques, la capacité de production de biofilm et la production d'enzymes sont des caractéristiques importantes dans la sélection et l'évaluation de potentielles cultures starters (Berlanga M. & Guerrero R., 2016). Les différents isolats lactiques ont montré une importante capacité de production de biofilm et de protéase (figure 19). La capacité de production du biofilm est révélée par une forte aptitude à s'adhérer au support (formation sessile sur le polystyrène) et à s'agréger (Agrégation%, Figure 19) (O'toole G.A. *et* Kolter R., 1988). Les isolats ont montré différentes aptitudes à former le biofilm, avec une plus grande valeur pour BFR4 (*L. fermentum*) (intensité de l'anneau et la Densité Optique (DO), figure 19). La capacité d'agrégation était plus importante par ailleurs pour *Actinomyces spp.* (BFR3). Les différents isolats présentes des aptitudes technologiques, avec de meilleurs profils (biofilm et production de protéase) pour les isolats BFR3 et BFR4 (respectivement *Actinomyces spp.* et *L. fermentum*).



**Figure 19** : Spectres MALDI-TOF & Coloration de Gram – Identification présumptive de – MALDI-TOF Spectra & Gram staining- Presumptive identification of A E. durans (BFR5), B. L. fusiformis, et de C C. krusei (Assortis avec les spectres standards de la base NCBI – Spectra matching using NCBI references).

## 2. Article II: Diversité des bactéries lactiques dans le blé fermenté hamoum dans l'ouest d'Algerie.

### 2.1. Aspect macroscopique et microscopique

Les isolats qui ne présentent pas les caractéristiques phénotypiques des bactéries lactiques (Gram positif, catalase négative et oxydase négative) ont été rejetés. De 134 isolats, 42 des unités de formation de colonies ont été sélectionnées, 16 unités de formation de colonies dans de la gélose M17 à une température de 30 ° C dans des conditions aérobies et 26 unités de formation dans de la gélose MRS à une température de 37 ° C dans des conditions anaérobies. Les colonies bactériennes ont été purifiées par taille, forme, bords réguliers ou irréguliers et couleur (Tableau 8, tableau 8a; et tableau 8b).

**Tableau 8:** Aspect macroscopique et microscopique des souches de bactéries lactiques dans l'agar M17

Souches	Caractéristiques macroscopiques			Caractéristiques microscopiques	
	forme	taille	couleur	forme	Mode d'association
FWH1	sphérique	petite	blanchâtre	Bacille	En grappes isolées
FWH2	sphérique	petite	Claire	Coccobacille	Chaîne longue et courte
FWH3	sphérique	petite	blanchâtre	Coccobacille	En grappes longue chaîne
FWH4	sphérique	petite	blanchâtre	Coccobacille	En grappes longue chaîne
FWH5	sphérique	petite	blanchâtre	Bacille	En grappes isolées
FWH6	sphérique	petite	blanchâtre	Coccobacille	En grappes longue chaîne
FWH7	Lenticulaire	Très petit	Claire	Coccobacille	En courte grappes isolées
FWH8	Lenticulaire	Très petit	Claire	coque	Courte chaîne isolée
FWH9	sphérique	petit	Claire	coque	En grappes
FWH10	sphérique	Très petit	jaunâtre	coque	En grappes
FWH11	sphérique	Très petit	blanchâtre	coque	En grappes
FWH12	sphérique	petit	blanchâtre	coque	En grappes
FWH13	sphérique	Très petit	blanchâtre	coque	En grappes
FWH14	sphérique	Très petit	blanchâtre	coque	Longue et courte chaîne tétrade
FWH15	sphérique	petit	jaunâtre	coque	Courte chaîne diplocoque
FWH16	sphérique l	petit	Claire	Coccobacille	Courte chaîne diplocoque

**Tableau 8a:** Aspect macroscopique et microscopique des souches de bactéries lactiques dans le MRS agar

Souches	Caractéristiques macroscopiques			Caractéristiques microscopiques	
	forme	taille	forme	taille	forme
FWH 17	sphérique	petit	blanchâtre	Coccobacille	Chaîne courte isolée
FWH 18	sphérique	petit	blanchâtre	Coccobacille	Chaîne courte isolée
FWH 19	sphérique	petit	blanchâtre	Bacille	paire isolée
FWH 20	sphérique	petit	blanchâtre	Coccobacille	Longue chaîne
FWH 21	sphérique	petit	blanchâtre	Bacille	En grappes
FWH 22	sphérique	petit	blanchâtre	Coccobacille	Courtes chaînes en grappes isolées
FWH 23	sphérique	petit	blanchâtre	Coccobacille	Courtes chaînes en grappes isolées
FWH 24	sphérique	Très petit	claire	Coccobacille	Courtes chaînes en grappes isolées
FWH 25	sphérique	petit	blanchâtre	Coccobacille	Courtes chaînes en grappes isolées
FWH 26	sphérique	petit	blanchâtre	Bacille	En grappes
FWH 27	sphérique	petit	blanchâtre	Bacille	En grappes
FWH 28	sphérique	petit	blanchâtre	Bacille	Isolés
FWH 29	sphérique	petit	blanchâtre	Bacille	Diplobacille isolé

**Tableau 8b:** Aspect macroscopique et microscopique des souches de bactéries lactiques dans le MRS agar

Souches	Caractéristiques macroscopiques			Caractéristiques microscopiques		
	forme	taille	Souches	forme	taille	
FWH30	sphérique	petit	blanchâtre	Coccobacille	Paire isolée	
FWH31	sphérique	petit	blanchâtre	Coccobacille	Paire isolée	
FWH32	sphérique	petit	blanchâtre	Coccobacille	Chainette par paire	
FWH33	sphérique	Très petit	Claire	Coccobacille	Chainette par paire	
FWH34	sphérique	petit	blanchâtre	Coccobacille	Chainette par paire	
FWH35	sphérique	petit	blanchâtre	coque	En paire de chaîne courte, V et Y	
FWH36	sphérique	Très petit	Claire	Bacille	Diplococcus short chain	
FWH37	sphérique	Très petit	Claire	Bacille	Diplocoque isolé	
FWH38	sphérique	petit	blanchâtre	coquille	Diplocoque isolé en chaîne	
FWH39	sphérique	petit	blanchâtre	coque	Diplocoque isolé en chaîne	
FWH40	sphérique	petit	blanchâtre	coque	Diplocoque isolé en chaîne	
FWH41	sphérique	petit	blanchâtre	coque	Diplocoque isolé en chaîne	
FWH42	sphérique	petit	blanchâtre	coque	Diplocoque isolé en chaîne	

## 2.2. Critères physiologiques et biochimiques

Les critères physiologiques et biochimiques sont basés sur la croissance de bactéries lactiques à différentes températures (15, 25 et 45 ° C), la concentration de NaCl, le pH (5, 6 et 9), le type de fermentation, la bactérie synthèse de sucres tels que le TSI (glucose, lactose et saccharose), la mobilité du mannitol et l'activité enzymatique (ADH, citrate de Simmons et acétoïne) (tableau 9, 9a et 9b)

## 2.3. Critères physiologiques

Toutes les souches bactériennes sont catalase négatives. La température de croissance des souches bactériennes varie de 15 à 45 ° C, avec une température optimale de 37 ° C. À l'exception des souches FWH6, FWH8, FWH9, FWH11, FWH12, FWH13 et FWH14 cultivées en milieu MRS, toutes les souches bactériennes présentent une croissance à une température de 15 ° C dans les milieux M17 et MRS. À l'exception des souches FWH1, FWH7, FWH8,

FWH11, FWH17, FWH19, FWH22, FWH26, FWH30, FWH32, FWH35, FWH38 et FWH39, toutes les souches bactériennes se développent à la température de 45 ° C dans les deux milieux MRS et M17.

- **PH**

Les résultats montrent que le pH diminue moins rapidement pendant la première heure; ensuite, les bactéries lactiques produisent une plus grande quantité d'acide lactique. Pratiquement toutes les souches bactériennes se développaient à pH 6. Cependant, certaines souches nécessitaient un pH de 4 ou 9.

- **NACL**

Seules les souches bactériennes FWH1, FWH2, FWH7, FWH15, FWH17, FWH18, FWH21, FWH22, FWH30, FWH34 et FWH41 poussent dans des milieux de culture à 02, 04 et 06,5% NaCl, ou autre. Les souches poussent à 02 ou 04% de NaCl. La plupart de nos souches poussent à pH 5 et pH 6.

- **Type fermentaire**

À l'exception des souches FWH6, FWH22, FWH23, FWH38 et FWH41, toutes les souches bactériennes sont homo-fermentatives. La plupart des souches sont résistantes à la chaleur. Ils ont observé une croissance bactérienne dans les milieux de bouillon M17 et MRS après un traitement thermique à 63,5 ° C pendant 30 min.

- **Sucres**

Le test de mobilité des bactéries lactiques permet de les différencier. Ce test est déterminé par un changement de couleur du milieu du rouge au jaune dans les souches FWH1, FWH3, FWH7, FWH14, FWH15, FWH16, FWH17, FWH18, FWH19, FWH21, FWH22, FWH24, FWH28, FWH29, FWH31, FWH28, FWH29, FWH31, FWH34 FWH35, FWH36, FWH40 et FWH41. Ce résultat est dû à l'acidification générée lors de la fermentation du mannitol et donc ces isolats fermentent le mannitol.

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

**Tableau 9:** Profil physiologique et biochimique des souches de bactéries lactiques dans l'agar M17

Strains	cat	Different T°			% of Na Cl			pH			Hom/ Het	63°/30 mn	man	TSI			ADH	Cit	Acet
		15°	37°	45°	2%	4%	6.5%	5	6	9				G	L	S			
FWH1	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	Hom	+	+	+	+	-	-	+/-	
FWH2	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Hom	-	-	-	-	-	-	+	
FWH3	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	Hom	+	+	+	+	+	-	+	
FWH4	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	Het	+	-	+	+	-	-	-	
FWH5	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	Hom	+	-	-	-	-	-	+/-	+
FWH6	-	-	+	+	-	-	-	-	+	+	Het	+	-	-	-	-	-	+	+
FWH7	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	Het	+	+	+	+	-	-	-	
FWH8	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	Hom	+	-	+	+	+	-	-	+
FWH9	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	Hom	+	-	-	-	-	-	+	-
FWH10	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	Hom	+	-	-	-	-	+	-	+
FWH11	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	Hom	+	-	-	-	-	-	-	+/-
FWH12	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	Hom	+	-	-	-	-	+/-	-	-
FWH13	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	Hom	+	-	-	+	+	-	+	-
FWH14	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	Hom	+	+	-	+	+	+	-	-
FWH15	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	Hom	+	+	+	+	-	-	-	+
FWH16	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	Hom	+	+	+	+	-	-	-	+

Cat : catalase ; Hom: Homo-fermentaire, Het: hetero-fermentaire ; 63°/30mn: haute résistance,  
 Man : Mannitol mobilité ; TSI: (Agar Glucose Lactose-Sucrose-H<sub>2</sub>S) (G : glucose, L: lactose,  
 S: sucrose) ; ADH : Arginine dihydrolase, Cit : Simmons citrate; Acet : Acétoïne

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

**Tableau 9a:** Profil physiologique et biochimique des souches de bactéries lactiques dans la gélose MRS

Strains	cat	Différent T°			% of Na Cl			pH			Hom/ Het	63°/30 mn	man	TSI			ADH	Cit	Acet
		15°	37°	45°	2%	4%	6.5%	5	6	9				G	L	S			
FWH 17	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	Hom	+	+	-	-	-	-	-	-
FWH 18	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Hom	-	+	+	+	+	-	+	+
FWH 19	-	+	+	-	+	+	-	+	+	+	Hom	+	+	-	+	+	+	-	+
FWH 20	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-	Hom	-	-	-	+	+	-	-	+
FWH 21	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	Hom	-	+	+	+	+	-	-	+
FWH 22	-	+	+	-	+	+	+	-	+	+	Het	-	+	+	+	+	-	-	-
FWH 23	-	+	+	+/-	+	-	+	-	+	-	Het	-	-	+	+	+	-	-	+
FWH 24	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	Hom	+	-	-	-	-	-	-	-
FWH 25	-	+/-	+	+	-	-	-	+	+	+	Hom	-	+	+	+	+	-	-	+
FWH 26	-	+	+	-	+	-	-	+	+	+	Hom	-	-	-	-	-	-	-	-
FWH 27	-	+/-	+	+	+	+	-	+	+	+	Hom	-	+	+	+	+	-	-	-
FWH 28	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	Hom	+	+	+	+	+	-	-	+
FWH 29	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	Hom	+	+	+	+	+	+/-	-	+

Cat : catalase ; Hom: Homo-fermentaire, Het: hetero-fermentaire ; 63°/30mn: haute résistance,  
 Man : Mannitol mobilité ; TSI: (Agar Glucose Lactose-Sucrose-H<sub>2</sub>S) (G : glucose, L: lactose,  
 S: sucrose) ; ADH : Arginine dihydrolase, Cit : Simmons citrate; Acet : Acétoïne

**Tableau 9b:** Profil physiologique et biochimique des souches de bactéries lactiques dans la gélose MRS

Strains	cat	Different T°			% of Na Cl			pH			Hom/ Het	63°/30 mn	man	TSI			ADH	Cit	Acet
		15°	37°	45°	2%	4%	6.5%	5	6	9				G	L	S			
FWH30	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	Hom	-	-	+	+	+	-	-	-
FWH31	-	+	+	+	+	+	-	+	+	+	Hom	-	+	+	+	+	-	+	-
FWH32	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	Hom	-	-	-	-	-	-	-	-
FWH33	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	Hom	-	-	-	-	-	-	-	+
FWH34	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Hom	+/-	+	+	+	+	-	+	-
FWH35	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	Hom	-	+	-	-	-	-	-	+
FWH36	-	+	+	+/-	+	+	+	-	+	+	Hom	+	+	-	-	+	-	-	+
FWH37	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	Het	+/-	-	-	-	-	-	-	-
FWH38	-	+/-	+	-	-	-	-	-	+	+	Hem	-	-	-	-	+	-	-	+
FWH39	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	Hom	+	-	-	-	+	-	-	-
FWH40	-	+/-	+	+	-	-	-	+	+	+	Hom	-	+	+	+	+	-	+	+
FWH41	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Het	-	+	+	+	+	-	+	+
FWH42	-	+	+	+	-	-	-	+/-	+	+	Hom	-	-	+	+	+	-	-	+

Cat : catalase ; Hom: Homo-fermentaire, Het: hetero-fermentaire ; 63°/30mn: haute résistance, Man : Mannitol mobilité ; TSI: (Agar Glucose Lactose-Sucrose-H<sub>2</sub>S) (G : glucose, L: lactose, S: sucrose) ; ADH : Arginine dihydrolase, Cit : Simmons citrate; Acet : Acétoïne

La fermentation du glucose, du lactose et / ou du saccharose dans 04 souches de lactocoques (FWH3, FWH8, FWH41, FWH42) et 12 souches de Lactobacillus (FWH1, FWH18, FWH21, FWH22, FWH23, FWH25, FWH27, FWH28, FWH, FWH25, FWH27, FWH28, FWH FWH34) s'accompagne de la production de CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>S dans la souche (FWH14).

Après avoir testé la dégradation de l'arginine (ADH), seulement 03 souches de lactocoques (FWH3, FWH10, FWH14) et une souche de lactobacilles (S19) ont été identifiées avec la fonction arginine dihydrolase.

L'utilisation de citrate de Simmons était positive pour les souches FWH0, FWH9, FWH13, FWH18, FWH31, FWH34, FWH40 et FWH41.

La production d'acétoïne est observée dans les souches, à l'exception de FWH4, FWH7, FWH9, FWH12, FWH13, FWH14, FWH17, FWH22, FWH24, FWH26, FWH27, FWH30, FWH31, FWH32, FWH34, FWH37 et FWH37.

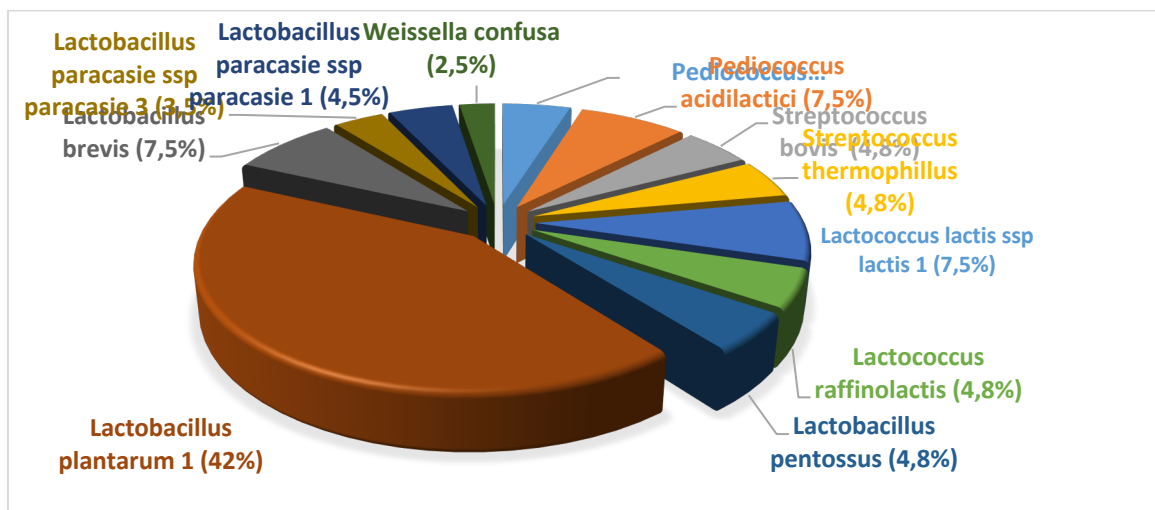
### ➤ Classement des isolats

Après les différents tests physiologiques et biochimiques d'identification, ils ont constaté que leurs 42 souches bactériennes appartiennent à différents genres bactériens et espèce, avec des

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

lactobacilles 27 avec un taux de 65% et 15 lactocoques avec un taux de 35%. **Robert et al.** (1999) ont identifié une variété de microflore bactéries lactiques dans le levain de blé français traditionnel avec d'importants coccobacilles et lactobacilles.

les résultats montrent que les souches FWH9 et FWH42 appartiennent à l'espèce *Pediococcus pentosaceus* 1 avec un taux de 4,8%; les souches FWH10, FWH11, FWH17 et FWH41 appartiennent à l'espèce *Pediococcus acidilactici* avec un taux de 7,5%; Les souches FWH14 et FWH18 appartiennent à l'espèce *Streptococcus bovis* avec un taux de 04,8%: les souches FWH12 et FWH13 appartiennent à *Streptococcus thermophilus* avec un taux de 4,8%; les souches FWH3, FWH16 et FWH31 appartiennent à l'espèce *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* 1 avec un taux de 7,5%; Les souches FWH4 et FWH8 appartiennent à l'espèce *Lactococcus raffinolactis* avec un taux de 4,8%; les souches FWH1 et FWH7 appartiennent à l'espèce *Lactobacillus pentosus* avec un taux de 4,8%; les souches FWH2, FWH5, FWH6, FWH18, FWH20, FWH21, FWH24, FWH25, FWH27, FWH28, FWH29, FWH30, FWH32, FWH36, FWH37, FWH38 et FWH40 appartiennent à l'espèce *Lactobacillus brevis* d'un taux de 1%; les souches FWH26, FWH35 et FWH39 appartiennent à l'espèce *Lactobacillus paracase* ssp. *paracase* 3 avec un taux de 3,5%; Les souches S19 appartiennent à l'espèce *Lactobacillus paracase* ssp. *paracase* 1 avec un taux de 4,5%; les souches FWH22, FWH23 et FWH33 appartiennent à l'espèce *Weissella confusa* avec un taux de 2,5% (figure 20).



**Figure 20** : Répartition des souches de bactéries lactiques dans le blé fermenté

### ➤ Discussion des données

Le blé, comme tout matériel biologique à travers les étapes de la vie et dans certaines conditions environnementales, subit des changements biochimiques et physiologiques qui peuvent avoir des effets bénéfiques sur sa valeur utile. Le but de cette étude était d'explorer la flore bactérienne lactique du blé fermenté de type Hamoum stocké dans une unité de stockage souterrain naturelle appelée Matmor. Le hamoum est considéré par nos aînés comme un produit local traditionnel aux propriétés gastro-entérologiques thérapeutiques.

Ils ont utilisé des techniques microbiologiques classiques pour isoler et identifier différents types de bactéries lactiques dans le hamoum. *L. plantarum* 1 était l'espèce de bactérie lactique dominante dans le levain de blé et de légumineuses (**Rizzello et al.**, 2014). Il a été démontré que l'ajout de légumineuses et la fermentation du levain augmentaient la concentration de composés fonctionnels (par exemple, les acides aminés libres essentiels, les phénols et les fibres alimentaires). Le blé fermenté riche en différentes espèces de bactéries lactique conduit à de bonnes propriétés nutritionnelles, sensorielles et fonctionnelles.

Quarante-deux souches de bactéries lactiques ont été isolées et identifiées sur des milieux MRS, M17 et MSE provenant du blé fermenté traditionnels. En raison des besoins nutritionnels de ces bactéries lactiques, les milieux de culture doivent être très sélectifs et électifs en termes de teneur en sucre, en matières azotées et surtout en facteurs de croissance (**Pilet et al.**, 2005). Les isolats étaient tous gram-positifs et catalase-négatifs. les isolats montrent une diversité de genre et d'espèce.

Contrairement à certaines études sur les produits laitiers fermentés traditionnels, comme le Dahi en Inde où le taux de lactocoques (73%) est supérieur à celui des lactobacilles (27%) (**Harun-ur Rashid et al.**, 2007), les résultats de cette article ont montré une prédominance des lactobacilles, avec un taux de 65%, par rapport aux lactocoques, avec un taux de 35%. Cette observation s'explique par le fait qu'ils poussent dans des conditions difficiles en présence de 6,5% de NaCl, pH 9.6, avec une température de croissance à 45 ° C et survivent généralement 30 min à 60 ° C (**Larpen et al.**, 1997). Cela confirme leur résultats car le blé fermenté utilisé est issu d'un environnement nécessitant des conditions de stockage particulières dans l'unité traditionnelle (Matmor). En particulier, le processus de fermentation pendant le stockage rend la flore bactérienne endogène légèrement acide du fait de la production d'acide lactique et éventuellement d'autres métabolites acides tels que les acides gras volatils. L'étude des principales caractéristiques morphologiques, biochimiques et physiologiques a montré une diversité et une prévalence de bactéries lactiques isolées de blé fermenté. Cependant, les résultats dépendent principalement de la nature du matériel biologique, région géographique,

techniques d'échantillonnage, isolement et identification et milieux de culture sélectifs et électifs des bactéries lactiques.

Toutes les bactéries lactiques isolées comprennent des espèces de *Lactobacillus*, majoritairement *plantarum*, avec un taux de 40%. Les autres espèces bactériennes varient de 4,7 à 7,1%. Toutes les souches bactériennes utilisées sont à Gram négatif, catalase positive. La température de croissance de toutes les souches bactériennes varie de 15 à 45 ° C, avec une température optimale de 37 ° C. La majorité des souches lactiques sont cultivées dans un milieu de culture à 02 ou 04% de NaCl. À l'exception de certaines souches, toutes les bactéries sont des bactéries lactiques homo fermentatives. La fermentation améliore la valeur nutritionnelle du blé, principalement par une augmentation de la teneur en acides aminés essentiels tels que la lysine, la méthionine et le tryptophane (**Adams**, 1990). Presque toutes les souches bactériennes ont un pH de croissance de 6. Cependant, certaines souches nécessitent un pH de 9 ou 4. Cette activité acidifiante dépend de la croissance et du métabolisme des bactéries lactiques; la quantité d'acide produite varie selon les souches étudiées. L'activité fermentative de la flore bactérienne provoque une diminution du pH avec une augmentation simultanée de l'acidité et une accumulation d'acides organiques lactiques. Les activités métaboliques des différentes souches de bactéries lactiques impliquées dans la fermentation du blé aboutissent à la production d'acides gras à chaîne courte tels que l'acide lactique, l'acide acétique, l'acide butyrique et l'acide propionique (**Kohajdova et Karovicova**, 2007). La plupart des souches sont résistantes à la chaleur, du fait de leur confinement dans l'unité de stockage souterrain (Matmora), où la température est d'environ 65 ° C. Seules 03 souches (S3, S10, S14 et S19) synthétisent l'enzyme de dégradation arginine (ADH).

Les bactéries lactiques utilisées ne produisent pas de glycane et sont incapables de dégrader la gélatine. La dégradation des sucres primaires tels que le glucose, le lactose et le saccharose dépend du milieu environnant; à savoir, la nature du sol et du blé. Toutes les souches bactériennes utilisées possèdent une activité protéolytique, amylolytique et lipolytique. La fermentation de ce hamoum permet une amélioration de la digestibilité et de la dégradation de l'amidon liée aux propriétés enzymatiques des bactéries lactiques. Les souches de bactéries lactiques pourraient avoir un potentiel fermentaire même à l'échelle industrielle, comme le montrent **Pruckler et al.** (2015) avec de nouvelles souches de bactéries lactique comme *L. brevis*, *L. sanfranciscensis*, *L. plantarum* et *L. pentosus*.

## 3. Article III: Blé fermenté traditionnel : Qualité nutritionnelle et évaluation sensorielle du pain produit à partir des composés de farine de blé fermentée .

### 3.1. Analyse biochimique du blé fermenté traditionnel

Les huit échantillons étudiés ont montré des différences significatives dans les valeurs de pH ( $p < 0,001$  \*\*\*), ces valeurs variaient de 3,94 à 6,89 avec une moyenne de 5,25. L'échantillon Le plus acide était BM4 ( $3,94 \pm 0,09$ ), tandis que le moins acide était BM5 ( $6,89 \pm 0,17$ ) (Tableau 10). Des résultats similaires ont été rapportés dans une précédente étude menée par **Gourchala** et al. (2014) ( $5,63 \pm 0,014$ ), dans laquelle ils ont comparé l'échantillons du blé naturellement fermenté pour ceux non fermentés. Cependant, ces valeurs étaient supérieures à ceux trouvés par **Doukani** et al. (2013), où une valeur de 4,45 a été enregistrée comme étant le plus acide. La valeur de pH la plus basse (3.94) rend l'échantillon BM4 très acide

**Tableau 10** : Caractéristiques biochimiques du blé fermenté traditionnel

Signifie $\pm$ SD	BM1	BM2	BJ1	BM3	BM4	BJ2	BM5	BM6
<b>pH (***)</b>	$5.61 \pm 0.30$	$5.75 \pm 0.02$	$4.93 \pm 0.09$	$4.57 \pm 0.02$	$3.94 \pm 0.09$	$4.04 \pm 0.03$	$6.89 \pm 0.17$	$6.33 \pm 0.26$
<b>Acidité grasse (***)</b>	$10.86 \pm 3.74$	$10.43 \pm 3.21$	$8.39 \pm 3.24$	$9.18 \pm 0.62$	$7.44 \pm 0.00$	$12.19 \pm 1.00$	$2.19 \pm 0.27$	$6.46 \pm 0.69$
<b>Sucres totaux (%) (***)</b>	$80.52 \pm 0.57$	$49.08 \pm 0.29$	$79.13 \pm 0.02$	$55.10 \pm 0.72$	$79.81 \pm 0.73$	$65.86 \pm 0.67$	$87.70 \pm 0.65$	$81.83 \pm 0.65$
<b>Amidon (%)</b>	$38.60 \pm 0.07$	$13.20 \pm 0.60$	$31.20 \pm 0.07$	$10.00 \pm 0.04$	$11.50 \pm 0.12$	$13.70 \pm 0.70$	$39.00 \pm 1.00$	$56.00 \pm 8.00$
<b>Fibre brute (%)</b>	$1.00 \pm 0.00$	$2.01 \pm 0.00$	$0.29 \pm 0.00$	$0.26 \pm 0.02$	$0.51 \pm 0.02$	$0.29 \pm 0.03$	$1.37 \pm 0.20$	$2.30 \pm 0.30$
<b>Protéines totales (%)</b>	$0.17 \pm 0.00$	$5.46 \pm 0.00$	$5.84 \pm 0.00$	$18.81 \pm 0.00$	$1.96 \pm 0.00$	$1.75 \pm 0.00$	$1.42 \pm 0.00$	$1.31 \pm 0.00$
<b>Teneur totale en matières grasses (%)</b>	ND	ND	$5.30 \pm 0.00$	ND	$6.13 \pm 0.00$	ND	$0.75 \pm 0.00$	$1.30 \pm 0.00$
<b>Teneur phénolique totale (mg GAE/g) (***)</b>	$0.17 \pm 0.00$	$5.46 \pm 0.00$	$5.84 \pm 0.00$	$18.81 \pm 0.00$	$1.96 \pm 0.00$	$1.75 \pm 0.00$	$1.42 \pm 0.00$	$1.31 \pm 0.00$
<b>Teneur totale en flavonoïdes (mg QE/g) (***)</b>	ND	ND	$5.30 \pm 0.00$	ND	$6.13 \pm 0.00$	ND	$0.75 \pm 0.00$	$1.30 \pm 0.00$

BM1, BM2, BM3, BM4, BM5, BM6, BJ 1, BJ2: échantillons de blé fermenté traditionnel. ND: non déterminé. Les valeurs sont moyennes  $\pm$  ET, les différences ont été évaluées par une analyse unidirectionnelle de la variance (ANOVA) ( $p < 0.05$ ).

Cela peut s'expliquer par une longue fermentation dans le Matmor, ce qui conduit à une grande activité bactérienne responsable de l'accumulation d'acides organiques, lactiques et autres, Dans le même tableau, les valeurs d'acidité grasse varie de  $2,19 \pm 0,27$  à  $12,19 \pm 1$  ( $p < 0,001$  \*\*\*). La valeur la plus basse a été trouvée dans l'échantillon BM5 et le plus élevé de l'échantillon BJ2. Selon **Doukani** et al. (2013), le blé fermenté dans la Matmour a une acidité d'environ 1,51%. L'augmentation du niveau d'acidité grasse des huit échantillons peut être expliqué par les conditions de stockage inadéquat des céréales, qui conduisent à l'hydrolyse de triglycérides par les lipases endogènes et exogènes, et par la suite, l'accumulation des acides gras (**Feillet**, 2000). En effet, dans cette étude, ils ont noté une corrélation significative entre les valeurs d'acidité grasse et les valeurs de pH enregistrées ( $r = - 0,611$  \*\*,  $p = 0,002$  \*\*) Les teneurs en sucre des huit échantillons variaient significativement ( $p < 0,001$  \*\*\*). Ils allaient de  $49,08 \pm 0,29\%$  à  $87,70 \pm 0,65\%$ . Ils ont remarqué que l'échantillon BM5 avait le plus de glucide contenu ( $87,70 \pm 0,65\%$ ) suivi de BM6, BM1, BM4 et BJ1. Cependant, des valeurs faibles ont été enregistrés dans les échantillons BM2, BM3 et BJ2 ( $49,08 \pm 0,29\%$ ,  $55,10 \pm 0,72\%$  et  $65,86 \pm 67\%$  respectivement). La faible teneur en sucre dans les échantillons de blé fermenté est probablement due à la fermentation excessive dans des silos souterrains. Les mêmes résultats ont été trouvés dans les précédents études (**Deshpande**, 2000 ; **Doukani et al.**, 2013 ; **Gourchala et al.**, 2014). Les Graines de blé contiennent des enzymes amylolytiques qui libèrent les maltodextrines, maltose et glucose. Les activités enzymatiques endogènes de celles-ci jouent un rôle important dans la dégradation de l'amidon, qui est considéré comme une source de sucres fermentescibles (**Ganzle**, 2014). La diminution du contenu des glucides peut être dû à leur utilisation comme fermentescibles substrats par la microflore du blé pendant la fermentation. Pour cette raison, le blé fermenté convient aux diabétiques. L'amidon représente une part importante des glucides dans le grain de blé mûr (**Bushuk et Rasper**, 2012). (Tableau 10).

La teneur en amidon des échantillons de blé fermenté variait de  $10 \pm 0,04\%$  à  $56 \pm 8\%$  ( $26,68\%$  en moyenne). Ces valeurs sont faibles par rapport à celles trouvées par **Gourchala** et al. (2014) qui a enregistré une valeur de  $48,17\%$ .

Selon **Matz** (1991), la teneur en amidon dans les produits non fermentés du blé variait de 60 à 68%. Pendant la fermentation, l'amidon est le substrat le plus dégradé (**Bekhouche et al.**, 2014), à cause d'une activité élevée d'amylase (**Ganzle**, 2014), ce qui explique la faible teneur en amidon des échantillons de blé fermenté.

La teneur en protéines est un critère d'évaluation de la qualité du blé. (tableau 10). Les valeurs totales du contenu des protéines variaient de 0,17% à 18,81%. BM1, la teneur en protéines (0,17%) semble être très éloignée de la limite suggérée par **Feillet (2000)**, qui exigeait une teneur en protéines de 7 à 18% et de 10 à 15% respectivement. La faible teneur en protéines dans les sept échantillons peut être liée à la dégradation des protéines pendant le processus fermentaire, qui favorise l'action de certaines protéases céréalières endogènes (**Kamal Eldin, 2012**).

D'autre part, la production d'acides aminés libres résultant de l'hydrolyse de protéines de céréales pendant la fermentation (**Thiele et al., 2004**) améliore la qualité nutritionnelle des céréales (**Blandino et al., 2003**) en augmentant la teneur en acides aminés essentiels tels que la lysine, la méthionine et le tryptophane (**Adams, 1990**). Sinon, le niveau élevé du contenu des protéines de l'échantillon BM3 (18,81%) peut être expliqué par la synthèse bactérienne d'une nouvelle protéine produite au cours de la fermentation naturelle spontanée (**Kohajdová et Karovicová, 2007**).

Les résultats ont révélé que les valeurs de la teneur totale en matières grasses variaient entre 0,75% et 6,13% avec une moyenne de 3,37%. Les valeurs semblaient être plus élevées que ceux trouvés par **Doukani et al. (2013)** (1,08%). En fait, **Feillet (2000)** a suggéré une teneur en matières grasses de 1,5 à 2% et 2 à 3% respectivement. Pour BM5 et BM6 les teneurs en matières grasses (0,75% et 1,3%) sont inférieures aux valeurs indiquées ci-dessus ; cela peut être expliqué par l'hydrolyse des triglycérides et libération d'acides gras pendant le stockage. Les données du tableau 2 indiquent que Les échantillons du blé fermenté traditionnel ont une teneur en fibres brutes variant de 0,26 à 2,3% avec une moyenne de 0,71%, ce qui est faible par rapport aux limites donnée par **Feillet (2000)**, qui sont respectivement de 1,5 à 2% et de 2 à 4%.

Cependant, ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par **Doukani et al. (2013)**, qui a noté une diminution de la teneur en fibres brutes des grains de blé fermentés contrairement à l'échantillon témoin. La diminution peut être expliquée par l'hydrolyse de la cellulose due à l'activité de fermentation des levures céréalière (**Jespersion, 2003**).

### 3.2. Activité antioxydante de l'extrait de blé

Les composés phénoliques jouent un rôle dans la libre capacité de récupération des radicaux. Ils sont l'un des constituants antioxydants les plus efficaces qui contribuent à l'activité antioxydante (**Govindarajan et al., 2007**). Selon le tableau 10, la teneur en composés phénoliques (TCP) des échantillons variait considérablement ( $p < 0,001$  \*\*\*), le TPC le plus

élevé a été obtenu dans l'extrait de blé de l'échantillon BM6 ( $11,97 \pm 0,03$  mg EAG / g). Ces résultats ne sont pas en parfaite concordance avec celles trouvées par **Gourchala** et al. (2014). En fait, ils ont quantifié le total des polyphénols du hamoum « produit fermenté du blé dur », et ils ont noté une augmentation significative des polyphénols totaux contenu dans le blé fermenté (23,75 mg EAG / g) par rapport à l'échantillon du blé non fermenté (18,32 mg EAG / g). Les mêmes résultats ont été trouvés par **Zhang** et al. (2012).

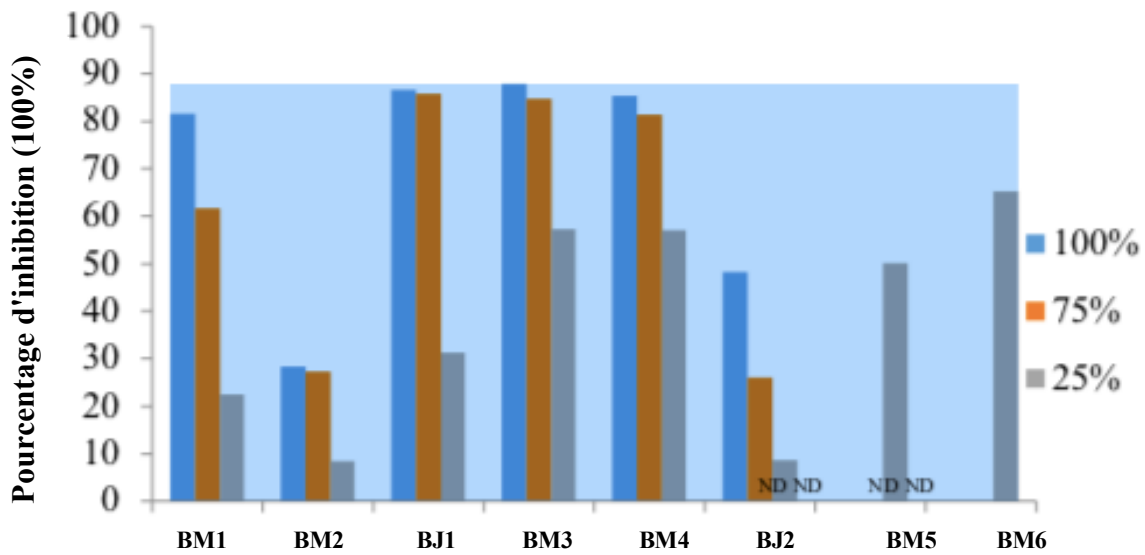
D'autre part, nos résultats actuels semblent être en concordance avec celles rapportées par **El hag** et al. (2002), qui ont constaté une diminution du polyphénol total pendant la fermentation mais après bombardement.

Le même tableau montre que les flavonoïdes totaux contenu dans les huit échantillons de blé fermenté traditionnel ( $p < 0,001$  \*\*\*). L'échantillon codé BM1 à la valeur plus élevée, mais par rapport aux études précédentes, ces valeurs sont très faibles

**Sandhu** et al. (2016); ont Prouvé que la fermentation à l'aide d'espèces de champignons favorise l'augmentation des polyphénols et flavonoïdes, **Dordevic** et al. (2010), ont constaté que la fermentation à l'aide de bactéries lactiques et la levure peut améliorer le contenu des polyphénols et des flavonoïdes, ce qui n'est pas confirmé par les résultats de cette étude.

La figure 21 montre l'activité de l'antioxydant DPPH des échantillons EBFT. La diminution de l'absorbance des radicaux DPPH à 517 nm induit par les antioxydants détermine sa capacité de réduction.

Selon la figure 21, la capacité antioxydante du DPPH la plus élevée a été attribuée à l'échantillon BM3 du blé fermenté (87,97%) suivi de BJ1 (86,55%). À 75% de dilution, BJ1 également a enregistré l'activité la plus élevée (85,77%). l'activité la plus faible a été observée dans l'échantillon BM2 à toutes les dilutions. Une corrélation positive était également noté entre les teneurs en flavonoïdes et activité antioxydante ( $r = 0,856$  \*,  $p = 0,03$  \*). L'activité antioxydante du DPPH est efficace dans le blé fermenté traditionnel, cela peut être expliqué par l'amélioration des antioxydants comme les polyphénols et les flavonoïdes par la fermentation. Selon **Zhang** et al. (2012); l'activité antioxydante du DPPH était plus efficace dans blé fermenté à l'aide de *Cordyceps militaris* que dans le blé non fermenté.



**Figure 21:** Activité de récupération DPPH de différentes concentrations d'extraits de blé fermenté traditionnel. ND: non déterminé

## IV. Interprétation des résultats des 3 articles

Le blé fermenté (hamoum) possède de nombreuses vertus nutritionnelles et sanitaires et qui pourrait être promu plus largement dans l'alimentation de la population, face à la progression des différentes pathologies nutritionnelles (diabète, surpoids). Pour cette raison, il a fait objet de plusieurs recherches notamment celles de nos 3 articles choisis qui illustrent ces bienfaits sur la santé. On a constaté que l'étude du:

- Premier article vise à recueillir les informations relatives au risque sanitaire ou microbiologique suite à la consommation du blé fermenté (dans le Matmor) qui est un produit séculaire transformé en des mets emblématiques algériens. L'enquête a rapporté des indispositions digestives rencontrées avec la consommation du Hamoum et des germes potentiellement pathogènes, *Candida krusei*, *Enterococcus durans*, *micrococcus kristinae.*, et *Clostridium spp.* ont été identifiés. Les groupes microbiens Actinomyces et Bacillus, avantageusement technologiques, et qui ont une activité protéolytique et caractères probiotiques (résistance à l'environnement gastrique, production de substances antimicrobiennes) (**Haldar L. et al.**, 2017) pourraient être explorés parallèlement aux bactéries lactiques pour le développement des cultures starters.
- Le deuxième article a montré la richesse du blé fermenté en bactéries lactique, après isolement, purification, et identification de 42 souches, avec une prédominance de *Lactobacillus sp* avec un taux de 62%, suivi de 14% de *Pediococcus sp*, 10% *Streptococcus sp*, 10% *Lactococcus sp* et 2 % d'*Enterococcus sp*. Ainsi, selon cette étude, le hamoum avec ces propriétés enzymatiques pourrait être utilisé comme adjuvant alimentaire et un régime alimentaire comme mesure préventive contre les complications pathologiques intestinales.
- tandis que le troisième article confirme que la fermentation du blé en silos souterrains confère aux grains des caractéristiques organoleptiques particulières et permet d'obtenir le produit fermenté traditionnel algérien (Mzeyet ou El hammoum), très apprécié des Algériens et surtout des diabétiques car il a une teneur en glucides modérée. Les échantillons de blé fermenté traditionnel ont présenté une qualité satisfaisante d'un point de vue biochimique et nutritionnel.

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

D'après ces recherches, le hamoum s'avéré riche en bactéries lactiques, ce qui est appréciable pour l'augmentation de la digestibilité des protéines et des sucres du blé (la synthèse des enzymes amylolytiques et protéolytiques). Les modifications physicochimiques et phytochimiques occasionnées par les bactéries lactiques ont induit des augmentations au niveau de l'acidité titrable, des protéines, de l'acidité grasse et des polyphénols. Toutes ces modifications importantes qu'a subies le blé pendant le procédé fermentaire dans le Matmor le rend un aliment fonctionnel.

Des méthodes modernes de conservation du blé ont contribué à l'émergence d'un nouveau procédé « culture starter hors matmor », Pour éviter toute contamination par les germes pathogènes dans les silos sous terrains et accélérer la fermentation.

Ces études sont complémentaires, et s'intéressent au bien fait de la fermentation traditionnelle du blé qui est un moyen économique et donne un produit séculaire en lui offrant une fonctionnalité organoleptique (aspect, odeur, saveur) et un aspect bénéfique pour la sante.

## conclusion

Le « Hamoum » est un blé fermenté par la technique artisanale due au stockage souterrain « Matmor ». Ce produit constitue un produit terroir que nos aînés utilisaient pour leur consommation, il était considéré comme un aliment aux propriétés médicinales très appréciées.

Ce type de blé par sa richesse en bactéries lactiques qui ont montré des activités amylolytique et protéolytique très importante, présentent une nouvelle source de composés actifs notamment en protéines, en lipides, en énergie et en polyphénols totaux. Certaines études ont constaté que la fermentation du blé à l'aide de bactéries lactiques et de levures peut améliorer le contenu des polyphénols et des flavonoïdes et donc améliorer l'activité antioxydante.

Actuellement, les bactéries lactiques présentent un grand intérêt pour leurs valeurs nutritionnelles et thérapeutiques dans les industries agroalimentaires et pharmaceutiques. La connaissance de ces bactéries lactiques pourrait nous permettre de les utiliser dans la bioconservation, l'amélioration de la valeur nutritive des aliments et les préparations probiotiques. En effet, les bactéries lactiques sont considérées parmi la flore intestinale normale et jouent un rôle crucial dans le maintien et l'amélioration de la santé.

Certaines recherches ont révélé le problème du risque sanitaire ou microbiologique et afin d'y faire face la sélection des cultures starters, sur la base des profils enzymatiques a été mise en place dans des bonnes conditions d'hygiène et de sécurité, pour mieux contrôler et améliorer le processus de la fermentation et obtenir un produit de bonne qualité. Ces cultures peuvent être définies comme des préparations microbiennes concentrées constituées de un ou plusieurs micro-organismes viables, se caractérisant par des propriétés physiologiques et métaboliques particulières et capables d'induire les changements désirés dans le substrat (**Holzappel**, 1997).

Pour conclure, la fermentation du blé donne un aliment à intérêt organoleptique et nutritionnel satisfaisant et qui peut être considéré comme un produit de diète et/ou alicament très efficace (pour le diabète, allergie et/ou intolérance au gluten, ect.).

## Références

### A

**Adams, M. R., (1990).** Topical aspects of fermented foods. Trends in Food Science and Technology, 8, 140-144.

**Afnor (Association Française de Normalisation), (1982).** Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes, jus de fruits. Edition AFNOR, Paris, France.

**Aidani H (2015).** Effet des attaques de Capucin des grains (*Rhizopertha dominica*) sur les céréales stockées « Estimation sur la perte pondérale et le pouvoir germinatif Cas de blé dur dans la région de Tlemcen ». Mémoire de master en Agronomie Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen : 15p.

**AKROUM S. (2005).** Etude des propriétés biochimiques des poly phénols et tannins issus de *Rosmarinus officinalis* et *Vicia faba* L. Mémoire de magister. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mentouri de Constantine: 91p.

**AKROUM S., (2010).** Etude Analytique et Biologique des Flavonoïdes Naturels. Thèse de Doctorat : Université MENTOURI de CONSTANTINE-ALGERIE.

**Alem, C., Labhilili, M., Brahmi, K., Jlibene, M., Nasrallah, N., & Filali-Maltouf, A., (2002).** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. Comptes rendus biologiques, 325(11), 1097-1109.

**Alfonso, A., G. Ventimiglia, O. Corona, R. Di Gerlando, R. Gaglio, N. Francesca, G. Moschetti and L. Settani, (2013).** Diversity and technological potential of lactic acid bacteria of wheat flours. Food Microbiology 36,343-354

**Aliaga C., Juarez-Ruiz J.M., Scaiano J.C., Aspee A. (2008).** Hydrogen-transfer reactions from phenols to TEMPO prefluorescent probes in micellar systems. Organic Letters. 10: 2147–2150.

**Altermann E., Russell W. M., Azcarate-Peril M. A., Barrangou R., Buck B. L., McAuliffe O., ... , Lick S., (2005).** Complete genome sequence of the probiotic lactic acid bacterium

Lactobacillus acidophilus NCFM. Proceedings of the National Academy of Sciences, 102(11), 3906-3912.

**Alves L, Xavier M. (2002).** Les Céréales Cours de Bromatologie. Lyon Ecole nationale vétérinaire. En ligne <[http://WWW.vet.lyon.fr/ens/nut/WebBromato/cours/cm grain/preseces.html](http://WWW.vet.lyon.fr/ens/nut/WebBromato/cours/cm%20grain/preseces.html)

**Ann M O'Hara and Fergus Shanahan (2006).** The gut flora as a forgotten organ. EMBO Rep. 2006 Jul; 7(7): 688–693. doi: 10.1038/sj.embor.7400731

**Anouar, E.; Kosinova, P.; Kozlowski, D.; Mokrini, R.; Duroux, J.-L.; Trouillas, P. (2009).** New aspects of the antioxidant properties of phenolic acids: a combined theoretical and experimental approach. Physical Chemistry Chemical Physics. **11**: 7659-7668.

**AOAC (Association of Official Analytical Chemists), (1995).** Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. (pp. 18-19). Horowitz W, Washington, DC: AOAC.

**Artajo L. S., Romero M.P., Morello J.R., Motilva M.J., (2006).** Enrichment of refined olive oil with phenolic compounds: evaluation of their antioxidant activity and their effect on the bitter index. Journal of Agriculture and Food Chemistry. 54: 6079-6088.

**Aubert, C. (1985).** Les aliments fermentés traditionnels. Ed. Terre Vivante, Paris, 252p.

**Axelsson, L. (2004)** Classification and physiology. In: Salsinen, S., Wright, A.V., Ouwehand, A. (Eds). Lactic acid bacteria: Microbiological and functional aspects (3ed edition). Marcel Dekker, Inc. New York, USA. vol. 633, 1 - 66.

## B

**Badel S., T. Bernardi, P. Michaud (2011).** «New perspectives for Lactobacilli exopolysaccharides.» Biotechnol. Adv 29 (2011): 54- 66

**Badis A., N. Laouabdia-Sellami, D. Guetarni, M. Kihal, R. Ouzrout (2005).** "Caractérisation phénotypique des bactéries lactiques isolées à partir de lait cru de chèvre de deux populations caprines locales «Arabia et Kabyle»." Sci. Technol 23 (2005): 30-37

**Balakrishna A., (2013).** In vitro Evaluation of adhesion and aggregation abilities of four potential probiotic strains isolated from guppy (*Poecilia reticulata*). *Braz. Arch. Biol. Techn.*, 56 (5): 793-800, 2010

**Bartali E.H. , (1987).** Underground Storage pits in morocco .*Tunnelling and Underground Space Technology* 2 : 381-383 .

**Bebba salima (2011).** Essai de comportement de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* L.var.Carioca et Vitron) conduite sous palmier dattier au niveau de la région de Ouargla .

**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. *Afr J Sci Technol.* 167–175.

**Bekhouche, F., Kermiche, M., Merabti, R., (2014).** Study of the microbial flora in fermented wheat and estimation of their hydrolytic activities. *Journal of Biotechnology and Biomater*, the 5<sup>th</sup> World Congress on Biotechnology, Valencia, Spain.

**Ben MEHEL B., BOUSBAHI S., GÉRARD, (2019).** Impact nutritionnel d'un blé fermenté type Hamoum sur la translocation bactérienne intestinale chez le rat malnutri en phase de réalimentation. *Nutrition Clinique et Métabolisme*, vol. 33, no 1, p. 102.

**Benakriche B.M., Amier L., Kheroua O., (2017).** Evaluation du profil protéique par électrophorèse sur gel SDS-Page d'un blé fermenté naturel type Hamoum comparé au blé normal. *Résumé Journées Francophones d'Hépatogastroentérologie & d'Oncologie digestive.* 361pp

**Benakriche B.M., Benabdelmoumen D., Mortet A., , 2016.** Lactic acid bacteria diversity in the fermented wheat Hamoum in West Algeria. *Pakistan J. Nutr.*, 15(7): 639-648.

**Bergez J.É., Abecassis J., (2009).** Les filières céréalières: Organisation et nouveaux défis. E. Epstein, J.D. Norlyn, D.W. Ruch, R.W. Kinsbury, A.F. Cunningham, A.F. Wrona, *Saline culture of crops: a genetic approach*, *Science* (2310) (1980) 399–404.

**Beuchat, L.R., (1997).** Traditional fermented foods, in: Doyle, M.P., Beuchat, L.R., Montville, T.J. (Eds.), *Food Microbiology - fundamentals and frontiers*. ASM press, Washington DC, pp. 629-648.

**Blandino, A., Al-Asari, M. E., Pandiella, S. S., Cantero, D., Webb, C., (2003).** Cereal-based fermented foods and beverages. *Food Research International*, 36(6), 527-543.

**Bonjean A., (2001).** Histoire de la culture des céréales et en particulier de celle du blé tendre (*Triticum aestivum* L.). Doss. L'environnement l'INRA 21(JANUARY 2001), 29–37.

**Bonneau L. (2003).** Information technique sur le blé Boulangerie.< <http://WWW.Boulangerie.net/MP/Infoblefar.html>.

**Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C., (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel– Wissenschaft und Technologie*, 28, 25-30.

**Branlard.L, (2010) :** identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum*) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées waxy, thèse de doctorat en physiologie et génétique moléculaire, Unité mixte de recherche 1095 INRA, université Blaise Pascal, France, P 274

**Bruneton, J., (1993).** Pharmacognosie- phytochimie, plantes médicinales. (2<sup>nd</sup> ed.). (915 pages) Paris, France : Technique et Documentation Lavoisier.

**Bruneton, J., (1999).** Pharmacognosie : Phytochimie, Plantes Médicinales. 3<sup>ème</sup> édition, Techniques & Documentation, Paris.

**Buchner N., Krumbein A., Rohn S., Kroh LW. (2006).** Effect of thermal processing on the flavonols rutin and quercetin. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 20: 3229-3235.

**Burcelin, R., L. Zitvogel, G. Fond et H. Sokol. (2016).** «Microbiote intestinal(flore intestinale) » Disponible sur : <https://www.inserm.fr/information-en-sante/dossiers-information/microbiote-intestinal-flore-intestinale>.

**Bushuk, W., Rasper, V. F., (2012).** Wheat: production, properties and quality. (239 pages) Berlin, Germany: Springer Science and Business Media.

## C

**Caplice, E, et G.F Fitzgerald (1999).** «Food fermentations: role of microorganisms in food production and preservation.» *Int J Food Microbiol* 50 (1999): 131–149.

**Carina A.M., G. Oliver, M.C. Apella, (2000).** «Protective effect of *Enterococcus faecium* J96, a potential probiotic strain, on chicks infected with *Salmonella Pullorum*.» *J Food Prot* 63 (2000): 1333-1337

**Carr F J, Chill D, Maida N (2002).** The Lactic Acid Bacteria: A Literature Survey. *Critical Reviews in Microbiology*. 28(4): 281-370.

**Cerning, J., (1994).** Polysaccharides exocellulaires produits par les bactéries lactiques. Dans : *Bactéries lactiques*. Édité par H De Roissart, & F.M Luquet. Vol. 1. Loriga-Uriage, (1994)

**CHANFORAN C., (2010).** Stabilité de micro-constituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate. Thèse de Docteur, spécialité chimie. l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, Académie D'aix-Marseille: 388p.

**Chat O.A., Najar M.H., Aijaz Ahmad Dar A.A., (2013).** Evaluation of reduction kinetics of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazylradical by flavonoid glycoside Rutin in mixed solvent based micellar media. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 436: 343– 353.

**Chemat F. (2011).** Eco-extraction du végétal Procédés innovants et solvants alternatifs. Collection Technique et Ingénierie. Dunod. 90-118.

**Chemat F., Tomao V., Virot M. (2008).** Ultrasound-assisted extraction in food analysis. *Handbook of Food analysis Instruments*. 85-103.

**Collado, M. C., E. Isolauri, S. Salminen, and Y. Sanz., (2009).** The impact of probiotic on gut health. *Curr. Drug Metab* 10(1):68-78.

**COMBRIS P., CARLIN M.J., CAILLAVET F., CAUSSE M., DALLONGEVILLE J., PADILLA M., RENARD C., SOLER L.J., (2007).** Les fruits et légumes dans l'alimentation. Enjeux et déterminants de la consommation. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France): 84p.

**Commane D., R. Hughes, C. Shortt, I. Rowland, (2005).** «The potential mechanisms involved in the anti-carcinogenic action of probiotics.» *Mutat Res* 591 (2005): 276-289.

**Corthier, G. (2007).** Flore intestinale et santé: quels enjeux? *Nutrition Clinique et Métabolisme*, 21(2), 76–80. doi:10.1016/j.nupar.2007.04.003

**Cotty PJ, Bhatnagar D. (1994).** Variability among atoxigenic *Aspergillus flavus* strains to prevent aflatoxin contamination and production of aflatoxin biosynthetic pathway enzyme. *Appl Environ Microbiol* n°60, p: 2248-2251.

**Coudeyras S, Forestier C (2010).** Microbiota and probiotics: effects on human health. *Can J Microbiol*. 2010 Aug;(8):611-50. doi: 10.1139/w10-052.

**COWAN, Samuel Tertius, (2004).** Cowan and Steel's manual for the identification of medical bacteria. Cambridge university press.

**Cross M.L. , L.M. Stevenson, H.S. Gill,(2001).** «Anti-allergy properties of fermented foods: an important immunoregulatory mechanism of lactic acid bacteria?» *Int Immunopharmacol* 1 (2001 ): 891–901

**Cruz JF, Troude T, Griffon D, et Hebert JP. (1988).** Conservation des grains dans les régions chaudes. 2<sup>eme</sup> Ed Paris France. Techniques rurales en Afrique. Ministère de la coopération et du développement, pp: 545.

## D

**Dangles O. (2012).** Antioxidant activity of plant phenols: chemical mechanisms and biological significance. *Current Organic Chemistry*. 16: 692-714.

**Dangles O., Fargeix G., Dufour C. (2000).** Antioxidant properties of anthocyanins and tannins: a mechanistic investigation with catechin and the 3', 4', 7-trihydroxyflavylium ion. *Journal of the Chemistry Society, Perkin Transactions. 2:* 1653-1663.

**Daniel O., Meier M. S., Schlatter J. and Frischknecht P., (1999).** Selected phenolic compounds in cultivated plants : ecologic functions, health implications, and modulation by pesticides. *Environ. Health Perspect.* 107, Suppl. 01, pp 109-114.

**De Ambrosini , V.M, S Gonzalez, G Perdigon, A.P de Ruiz Holgado, et G Oliver (1996).** «Chemical composition of the cell wall of lactic acid bacteria and related species.» Chem Pharm Bull 44 (1996): 2263-2267.

**Defraigne, J. O., Pincemail J., (2008).** Stress oxydant et antioxydants: mythes et réalités. Revue médicale de Liège, 63, 10-19.

**Dellaglio et al., (1994); Hogg, (2005), Priyanka et Prakash, (2009) ; Prückler et al., (2015).**  
**Dellaglio F, Roissard H, Torriani S, Curk MC. Janssens D.-**Caractéristiques générales des bactéries lactiques. journal of lactic Bactéria, 1994 ; 1 : 25-116

**Deshpande, S. S., (2000).** Fermented grain legumes, seeds and nuts: a global perspective. (109 pages) California, USA: Food and Agriculture Organization.

**Desmazeaud, M. (1990).** "Rôles des cultures de microorganismes dans la flaveur et la texture des produits laitiers fermentés." Fédération internationale de Laiterie ; Bruxelles (BEL), and Proceeding of the International Dairy Congress Biotechnology-Milk Products, (1990).

**Divakar K., Surya P.M., Nandhinidevi G., Gautam P., (2017).** Kinetic characterization and fed-batch fermentation for maximal simultaneous production of esterase and protease from *Lysinibacillus fusiformis* AU01. Prep. Biochem. Biotechnol., 47 (4): 323-332.

**Djeridane, A., Y ousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., Vidal, N., (2006).** Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*, 97, 654-660

**Donmez, E., R.G. Sears, J.P. Shroyer et G.M. Paulsen., (2000).** Evaluation of Winter Durum Wheat for Kansas. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Publication No 00-172-S.

**Dordevic, T., Marinkovic, S. S. Dimitrijevic- Brankovic, S. I., (2010).** Effect of fermentation on antioxidant properties of some cereals and pseudo-cereals. *Food Chemistry*, 119(3), 957-963.

**Doukani, K., Tabak, S., Gourchala, F., Mihoub, F., Ounes, M., Benbaguara, M., (2013).** Caractérisation physicochimique du blé fermenté par stockage souterrain (Matmora). *Revue Ecologie- Environnement*, 9, 1-10.

**Doumandji A, Doumandji-mitiche B, Salaheddine D. (2003).** Cours de technologie des céréales technologie de transformation des blés et problèmes dus aux insectes au stockage. Office des Publications Universitaires, pp: 1-22.

**DRABO, Moustapha Soungalo, KHADEM, Hafidha, BENATMANE, Nour-eddine, , (2019).** Qualité microbiologique du blé dur fermenté de Matmor Hamoum: Indispositions digestives, microflore avantageusement technologique et potentiels pathogènes. International Journal of Innovation and Applied Studies, vol. 27, no 1, p. 11-18.

**Drider D., H. Prevost (2009).** Bactéries lactiques. Physiologie, Métabolisme, Génomique et Applications industrielles. Édité par Economica. Paris.

## E

**El hag, M. E., El tinay, A. H., Yousif, N. E., (2002).** Effect of fermentation and dehulling on starch, total polyphenols, phytic acid content and in vitro protein digestibility of pearl millet. *Food Chemistry*, 77, 193-196.

**El watan, 02/04/2020**

**El watan, 30/05/2019**

## F

**FAO, (2001).** Health and nutrition properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria, in: Probiotics, F.W.E.C.o.E.o.H.a.N.P.o. (Ed.), Food including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria. FAO,WHO, Cordoba, Argentina, p. 85.

**Farag R.S., El-Baroty G.S., Amany-Basuny M., (2003).** The influence of phenolic extracts obtained from the olive plants (cvs. Picual and Kronakii) on the stability of sunflower oil. *Journal of Food Science and Technology*. 38: 81-87.

**Farag R.S., Mahmoud E.A, Basuny A.M., (2007).** Use crud olive leaf as a natural antioxidant forthe stability of sunflower oil heating. *International Journal of Food Science and Technology*. 42(1): 107-115.

**Farombi EO. (2003).** African indigenous plants with chemotherapeutic potentials and biotechnological approach to the production on bioactive prophylactic agents. African Journal of Biotechnology.

**Federighi M., (2005).** Bactériologie alimentaire compendium d'hygiène des aliments. 2<sup>ème</sup> Ed, Economica., paris. P 220-224.

**Feillet P. (2000).** Le grain du blé : composition et utilisation. INRA Paris 19 -198.308. ISBN2-7380-0896-8, pp: 55-75.**Flynn H. (1975).** Cavitation dynamics. Free pulsation and models for cavitation bubbles. Journal of Acoustic Society of America. 58: 1160-1170.

## G

**Ganzle, M. G., (2014).** Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation. *Food microbiology*, 37, 2-10.

**Gates., (1995).** Ecophysiologie du blé Paris, 351p. Technique et documentation. Lavoisier, In : Etude de la contribution des paramètres phénol morphologique dans l'adaptation du blé tendre dans l'étage bioclimatique semi-aride. Lakhdar.,2006. Mémoire de Magister. Fac. Sci. Agro/ Université El-hadj Lakhdar Batna.

**Gerard, P et Bernalier-Donadille, A (2007).** Les fonctions majeures du microbiote intestinal. Cahier de Nutrition et de Diététique, 42,pp28-36. 2007

**Germon H., (2012).** Ernée et la filière blé, Chambre de l'agriculture de la Mayenne.

**Ghasemzadeh, A., Ghasemzadeh, N. (2011).** Flavonoids and phenolic acids: Role and biochemical activity in plants and human. Journal of Medicinal Plants Research 5 (31), 6697-6703.

**Ghedira K. (2008).** L'olivier. Phytothérapie. 6: 83–89.

**Ghidouche S., Es-Safi N.-E., Ducrot P.-H. (2008).** Mechanistic study on the enzymatic oxidation of flavonols. Tetrahedron Letters. 49: 619-623.

**Gildo P. (2006).** Précis de phytothérapie. Edition Alpen, p: 3 -4.

**Gillors O., A. Etzion, M.A. Riley, (2008).** «The dual role of bacteriocins as anti and probiotics.» Appl Microbiol Biotechnol 81 (2008): 591-606

**Godon B., WILLM C. (1991).** Les industries de première transformation des Céréales. Paris Techniques et documentation Lavoisier, pp: 676.

**Gourbeyre P., S. Denery, M. Bodinier, (2011).** «Probiotics, prebiotics, and synbiotics: impact on the gut immune system and allergic reactions.» J Leukoc Biol 85 (2011): 685-695.

**Gourchala,F.,A.F. Hobamahoro,F.Mihoub and C. Henchiri, (2014).** Effect of natural fermentation on the nutritional quality of “El hamoum” durum wheat (*Triticum durum*) fermented product of the Algerian country. International journal of biotechnology and research (IJBTR), vol 4, 4, 9-18.

**Govindarajan, R., Singh, D. P., Rawat, A. K. S., (2007).** High-performance liquid chromatographic method for the quantification of phenolics in ‘Chyavanprash’ a potent Ayurvedic drug. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 43(2), 527–532.

**Gripon J.C, M. Yvon, (1998).** «Utilisation de cetoacides pour intensifier la flaveur de produits a base de fromage WO 1998048645 A1.» (1998).

**Guignard JL, Dupont F. (2004).** Botanique Systématique moléculaire. 13 Ed révisée Masson Paris, Pp: 116-117.

**Guignard, J.L., (2000).** Biochimie végétale. 2ème édition; Paris. pp 171-174.

**Guiraud J.P., Rosec J.P. (2004).** Pratique des normes en microbiologie alimentaire. AFNOR : 241 p.

**Guiraud JP (2003).** Microbiologie alimentaire, Technique et ingénierie, Dunod, série Agro-alimentaire, Paris, 2003; 652-696.

**Guyot S., Cheynier V., Souquet JM., Moutounet M. (1995).** influence of pH on the enzymatic oxidation of (+)-catechin in model systems. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 43: 2458- 2462.

## H

**Hadria R., (2006).** Adaptation et spatialisation des modèles stricts pour la gestion d'un périmètre céréalier irriguée en milieu semi-aride. Thèse de doctorat. Univ Cadi AYYAD Samlalia- Marrakech..

**Haldar L., Ghandi D.N., Mazumdar D., (2017).** Functional properties of spore-forming *Bacillus* strains: Pre-requisite for probiotic functions. *Int J Curr Microbiol App Sci.* 6 (2): 162-169, Berlanga M. & Guerrero R., Living together in biofilms: the microbial cell factory and its biotechnological implications. *Microb. Cell Fact.*, 15:165. 1-11, 2016.

**Halliwell B. (1994).** Free radicals and antioxidants: A personal view. *Nutrition Reviews.* 52: 253-265.

**Hamdi M., Garcia J.L., Ellouz R. (1992).** Integrated biological process for olive mill wastewaters treatment. *Bioprocess Engineering.* 8: 79-10.

handbook (Robinson R.K.). 3e Ed., John Wiley and Sons, Inc., New York. 261- 366.

**Hardie, J.M, et R.A Whiley (1997).** «Classification and overview of the genera *Streptococcus* and *Enterococcus* .» *J Appl Microbiol Symposium Supplement* 83 (1997): 1-11

**Hariri A, Ouis N, Sahnouni F, Djilali B (2009).** Mise en oeuvre de la fermentation de certains ferments lactiques dans des milieux à base des extraits de caroube, *Revue Microbiological. Environnement, Congrès international BIOMED 1 Marrakech du 2-5 Novembre:* 37-55.

**Harun-ur-Rashid M., Togo K., Ueda M., Miyamoto T., (2007).** Identification and characterization of dominant lactic acid bacteria isolated from traditional fermented milk Dahi in Bangladesh. *World J Microbiol Biotechnol.* 23:125-133.

**Henry et De Buyser , (2001).** L'origine des blés. In : Belin. Pour la science (Ed). De la graine à la plante. Ed. Belin, Paris, pp, 69-72.

**Ho, T.N.T., N. Tuan, N., Deschamps, A., et Caubet, R., (2007).** Isolation and identification of lactic acid bacteria (LAB) of the Nem Chua fermented meat product of Vietnam. *Int. Workshop on Food Safety and Processing Technology.* 134-142.

**Holzapeel W.H., (1997).** Use of starter cultures in fermentation on a household scale. *Food Control,* 8, 241-258.

**Holzappel W.H .Haberer P ,Geisen R,Bjorkroth J . et Schillinger U (2001).** Taxonomy and important features of probiotic microorganismes in food and nutrition .Am .J.Clin.Nutr .73 (Suppl) :365-373.

**Hoyt, H., (1992).** La conservation des plantes sauvages apparentées aux plantes cultivées (eds), BRGParis, France.Pp46.

**Hugenholtz, J., M. Kleerebezem (1999).** «Metabolic engineering of lactic acid bacteria: overview of the approaches and results of pathway rerouting involved in food fermentations.» Curr. Opin. Biotechnol 10 (1999): 492-497

## I

**Idoui T, Boudjerda J, Leghouchi E, Karam NE (2009).** Lactic acid bacteria from “Sheep’s Dhan”, a traditional butter from sheep’s milk: Isolation, identification and major technological traits. 60: 177-183.

**Izquierdo E., (2009).** «Les protéines bactériennes en tant que biomarqueurs de l'activité probiotique.» Tèse de l'Université de Strasbourg.

## J

**Jespersion, L., (2003).** Occurrence and taxonomic characteristics of strains of predominant in African indigenous fermented foods and beverages. *FEMS Yeast Research*, 3, 191-200.

**Joffraud, J. J., Cardinal, M., Cornet, J., Chasles, J. S., Léon, S., Gigout, F., Leroi, F. (2006).** Effect of bacterial interactions on the spoilage of cold-smoked salmon. *International Journal of Food Microbiology* 112, 51-61.

## 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. *Afr J Biotechnol.* 17 (5): 108-117.

**Kamal-Eldin, A., (2012).** Fermented cereal and legume products. In: Bhavbhuti, M. M., Kamal-Eldin, A., and Iwanski, R. Z. *Fermentation: : effects on food properties.* (pp. 209-229), United Kingdom: *CRC press.*

**Kandler, O. and Weiss, N. (1986)**\_Regular, Non-Sporing Gram-Positive Rods. In: Sneath, H.A., Mair, N.S., Sharpe, M.E. and Holt, J.G., Eds., Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Williams and Wilkins, Baltimore, 1208-1234.

**Kang, K.H., H.J. Shin, Y.H. Park, T.S. Lee (1989)**. "Studies on the antibacterial substances produced by lactic acid bacteria: purification and some properties of antibacterial substance "Bifilong" produced by *B. longum*." Korean Dairy Sci 1 (1989): 204–16.

**Kanti B., Syed I., (2009)**. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. Oxid Med Cell Longev. 2(5):270-278. doi : 10.4161/oxim.2.5.9498.

**Kellou ., (2008)**. Analyse du marché Algérien du blé et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité, le cas des coopératives Sud céréales, groupe coopératif Occitan et Aude coop. Thèse de master of science du CIHEAM- IAMM n°93.

**Klaenhammer T.R., M.J. Kullen, (1999)**. "Selection and design of probiotics." Int J Food Microbiol 50 (1999): 45-57

**Klaenhammer, T.R, R Barrangou, B Logan Buck, and M.A Azcarate-Peril (2005)**. "Genomic features of lactic acid bacteria effecting bioprocessing and health." FEMS Microbiol. Rev 29 (2005): 393-409.

**Kohajdova Z., Karovicova J., (2007)**. Fermentation of cereals for specific purpose. Journal of Food and Nutrition Research. 46 (2): 51-57.

**König, H, e, J Fröhlich. Biology of microorganisms on grapes, in must and in wine. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, (2009)**.«Lactobacillus pentosus B231 Isolated from a Portuguese PDO Cheese: Production and Partial Characterization of Its Bacteriocin.» Probiotics Antimicrob Proteins 6 : 95–104.

**König, H, et J Fröhlich (2009)**. Biology of microorganisms on grapes, in must and in wine. Édité par SpringerVerlag. Berlin Heidelberg, (2009)

**Kubow S. (1990)**. Toxicity of dietary lipid peroxidation products. Trends in Food Science and Technology. 67-71.

## L

**Larpent-gourgaud M., Michaux O., Larpent J.P., Desmasures N., Desmazeaud M., (1997).** Les ferments lactiques et bactéries apparentées In Microbiologie alimentaire Techniques de laboratoire. Larpent J-P. Tec & Doc, Lavoisier: 199-255.

**LARPENT, J. P.,(1996).** Les bactéries lactiques in: Microbiologie alimentaire. *Tome, ,* vol. 2, p. 1-31.

**Lechardeur, D, et al (2011):.** «Using heme as an energy boost for lactic acid bacteria.» *Curr Opin Biotechnol* 22 (2011): 143-9.

**Leclerc h., GAILLARD F.L. et SIMONET M.,(1994).** Les grands groupes de bactéries. In : Microbiologie générale : la bactérie et le monde microbien. DOIN. Paris. 445.

**Lecoq, R. (1965).** Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles. Paris, France: Doin

**Leloup V, Collona p, et Buleon A. (1991).** « Les transformations enzymatiques des glucides » In Biotransformation des produits Céréaliers. Paris technique documentation Lavoisier. Chapitre III , Pp: 79-128.

**Leveau J.Y., M. Bouix., (1993)** Microbiologie industrielle : les microorganismes d'intérêt industriel, edited by Tec & Doc (Lavoisier. Paris), pp. 85-87

**Ley, Ruth E, Peter J Turnbaugh, Samuel Klein, et Jeffrey I Gordon (2006).** « Microbial ecology: human gut microbes associated with obesity ». *Nature* 444, no. 7122 (décembre 21,2006): 1022-1023.

**Leygue J.P. (1995).** « Amidonnerie de blé ». *Revue I.T.C.F perspective Agricole*, N203, P. VI-X.

**Lhuillier A. (2007).** Contribution a l'étude phytochimique de quatre plantes malgaches: *Agauria salicifolia* Hook. Fex Oliver, *Agauria polyphylla* Baker (Ericaceae), Tambourissa.

**Lloyd BJ, Siebenmorgen T.J. and Beers K. W., (2000).** Effect of commercial processing on antioxidants in rice bran. *Cereal Chemistry*, vol. 77, pp 551– 555.

**Lucarini M., Mugnaini V., Pedulli G.F. (2002).** Bond dissociation enthalpies of polyphenols: the importance of cooperative effects. *Journal of Organic Chemistry*. **67**: 928-931.

## M

**MAATTA RIIHINEN K R., KAMAL ELOLINE A., TORRONEN A R., (2004).** Identification and quantification of phenolic compounds berries of *Fragaria* and *Rubus* species. *Journal of agricultural and food chemistry*, vol.52: 6178-6187p.

**Makris D.P., Rossiter J.T., (2000).** Heat-induced, metal-catalyzed oxidative degradation of quercetin and rutin (quercetin 3-O-rhamnosylglucoside) in aqueous model systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 3830-3838.

**Marth, E.H., J.L. Steele, (2001).** *Applied dairy microbiology*. 2e. Edited by Marcel Dekker. New York, (2001).

**MARTINI M.C. (2004).** Les antioxydants. Éd: Tec et Doc, chapitre 18: 337-352p. poly3

**MARTINI M.C. (2004).** Polyphénols extraits de coproduits végétaux. Article tiré de : *Arômes, Ingrédients et Additifs* n° 51: 12p.

**Mason T. J. et Lorimer J. P. (2002).** *Applied Sonochemistry*. Wiley-VCH. Weinheim, Allemagne.

**Mason T.J., Vian M., Chemat F. (2010).** Ultrasonic processing. In *Alternatives to Conventional Food Processing*. Proctor A. RSC. London, Grande Bretagne.

**Matz, A. (1991).** *Chemistry and technologie of cereals as food and feed*. (751 pages) USA: Springer Science and Business media.

**McLeod, A, O.L Nyquist, L Snipen, K Naterstad, and L Axelsson (2008).** "Diversity of *Lactobacillus sakei* strains investigated by phenotypic and genotypic methods." *Syst Appl Microbiol* 31 (2008): 393-403.

**Mebarkia A., Benkohila H.S., Hamza M., et Makhoul M., (2005).** Efficacité d'une protéine entomotoxique du type A1B des graines de légumineuses. *Agriculture* n°3. 4p.

**Merabti R., , (2015).** Blé dur fermenté lemzeit : étude du nouveau procédé de fermentation à l'extérieur du Matmor et caractérisation de l'écosystème (interactions du microbiote avec la matrice). Thèse de doctorat, Université des Frères Mentouri-Constatine : 177pp.

**Messens W., Devuyst L. (2002).** Inhibitory substances produced by *Lactobacilli* isolated from

sourdoughs. A review. Int. J. food Microbiol.72. 31-43. micro- organismes d'intérêt industriel. Leveau, J.Y, Bouix, M., Tech. et Doc. Lavoisier Paris, pp: 170-374.

**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. J Nutr Health Sci. 3(4): 1-126.

**Mokhtari, S. (2012).** Mémoire de Magister : Effet protecteur de certaines bactéries lactiques isolées à partir de blé fermenté type hamoum. Université El Senia (Oran, Algérie).

**Moraes, M.P, L.M Perin, M.B.T Ortolani, A.K Yamazi, G.N Viçosa, and L.A Nero (2010).** "Protocols for the isolation and detection of lactic acid bacteria with bacteriocinogenic." Food Sci.Technol 43 (2010): 1320-1324

**Mouffok S. (2011).** Etude des metabolites secondaires de *Centaurea pubescens* ssp. *omphalotricha* (Asteraceae) ; Mémoire de Magister en chimie organique ; Université Hadjlakhd; pp159.

**Mozzi, F, R.R Raya, and G.M Vignolo (2010).** Biotechnology of lactic acid bacteria: Novel applications. Singapore: Blackwell publishing, (2010)

**Multon, J. L., (1982).** Conservation et Stockage Des Grains et Graines et Produits Derivés : Céréales, oléagineux, protéagineux, aliments pour animaux. (576 pages) Paris, France : Technique et Documentation Lavoisier.

## N

**Nkhili E. (2009).** Polyphénols de l'Alimentation  $\mu$  Extraction, Interactions avec les ions du Fer et du Cuivre, Oxydation et Pouvoir antioxydant. Thèse de Doctorat. Avignon. p. 327.

**Nout, (2009).** Rich nutrition from the poorest - Cereal fermentations in Africa and Asia. Food Microbiology ; 26 : 685-692.

**NOVEL, G. (1993).** Les bactéries lactiques. Dans : Microbiologie industrielle, les

## O

**O'toole G.A., Kolter R., (1998).** Flagellar and twitching motility are necessary for *Pseudomonas aeruginosa* biofilm development. *Mol. Microbiol.* 30:295-304.

**Ogier j.c., Casalta e., Farrokh c. and Saihi a., (2008).** Safety assessment of dairy microorganisms: The *Leuconostoc* genus. *Int. J. Food Microbiol.* 126: 286-290.

**Othman, A., Ismail, A., Abdulghani, N., Adenan, I., (2007).** Antioxidant capacity and phenolic content of cocoa beans. *Food Chemistry*, 100, 1523-1530.

## P

**Paul B. Eckburg, Elisabeth M. Bik, Charles N. Bernstein, Elizabeth Purdom, Les Dethlefsen, Michael Sargent, Steven R. Gill, Karen E. Nelson, and David A. Relman (2005).** Diversity of the Human Intestinal Microbial Flora. *Science*. 2005 Jun 10; 308(5728): 1635–1638.

**Penner R., R.N. Fedorak, K.L. Madsen, (2005).** "Probiotics and nutraceuticals: nonmedicinal treatments of gastrointestinal diseases." *Curr Opin Pharmacol* 5 (2005): 596-603.

**Peris-Bondia F, Latorre A, Artacho A, Moya A, D'Auria G (2011)** The Active Human Gut Microbiota Differs from the Total Microbiota. *PLoS ONE* 6(7): e22448. doi:10.1371/journal.pone.0022448

**Peters T. (1995).** All about albumin. Biochemistry, genetics, and medical applications. Academic press.

**Pétrier, C., Gondrexon N., Boldo P. (2008).** Ultrasons et sonochimie. *Techniques de l'ingénieur AF6310.* 1-14.

**Pfeiler, E.A, and T.R Klaenhammer (2007).** "The genomics of lactic acid bacteria." *TRENDS MICROBIOL* 15 (2007): 546–553.

**Pietta, P.G., (2000).** Flavonoids as Antioxidants. *Journal of Natural Products*, 63, 1035-1042.

**Pilet MF., Magras C., Federighi M., (2005).** Bactéries lactiques In *Bactériologie alimentaire "compendium d'hygiène des aliments"*. Federighi M. *Economica*: 219-242.

**Pope C.F., McHugh T.D., Gillespie S.H., (2010).** Methods to determine fitness in bacteria. *Methods Mol. Biol.*, 642:113-121

**Pot, B. (2008)** The taxonomy of lactic acid bacteria. In: Corrieu, G., and Luquet, F. M. (Eds). Bactéries lactiques. De la génétique aux ferments. Lavoisier. Paris, France pp 1-152.

**Prückler M., Lorenz C., Endo A., Kraler M., Dürschmid K., Hendriks K., Soares da Silva F., Auterith E., Kneifel W., Michlmayr H., (2015).** Comparison of homo- and heterofermentative lactic acid bacteria for implementation of fermented wheat bran in bread. Food Microbiology. 49: 211-219.

**Prückler. M, Cindy L, Akihito E, Manuel K, Klaus DK, Francisco S, Eric A , Wolfgang K., (2015).** Comparison of homo- and heterofermentative lactic acid bacteria for implementation of fermented wheat bran in bread; 211-219.

## Q

**Quiberoni, A, L Rezaiki, M El Karoui, I Biswas, P Tailliez, and A Gruss (2001).** "Distinctive features of homologous recombination in an 'old' microorganism, Lactococcus lactis." Res Microbiol 152 (2001): 131-139.

## R

**Raimbault M. (1995).** Importance des bactéries lactiques dans les fermentations du manioc. Transformation Alimentaire du manioc. Éditions Orstom.

**Reid G., M. E. Sanders, H. R. Gaskins, G. R. Gibson, A. Mercenier, R. RastaJ/ et T.R. Klaenhammer. (2003).** New scientific paradigms for probiotics and prebiotics. J Clin. Gastroenterol 137, 105-118.

**Ricciardi A., F. Clement, (2000).**"Exopolysaccharides from lactic acid bacteria : Structure, production and technological applications." ITAL J FOOD SCI 12 (2000): 23-45.

**Richter, G., (1993).** Métabolisme des végétaux : Physiologie et biochimie. Edition Presses Polytechniques et Universitaires Romandes : 318-338.

**Rijkers, G.T., Bengmark, S., Enck, P., Haller, D., Herz, U., Kalliomaki, M., Kudo, S., Lenoir- Wijnkoop, I., Mercenier, A., Myllyluoma, E., Rabot, S., Rafter, J., Szajewska, H., Watzl, B., Wells, J., Wolvers, D., Antoine, J.M., (2010).** Guidance for substantiating the

evidence for beneficial effects of probiotics: current status and recommendations for future research. *Journal of Nutrition* 140, 671S-676S.

**Rizzello C.G., Calasso M., Campanella D., De Angelis M., Gobbetti M., (2014).** Use of sourdough fermentation and mixture of wheat, chickpea, lentil and bean flours for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread. *International Journal of Food Microbiology*. 180 : 78-87.

## S

**Saarela M., G. Mogensen, R. Fondén, J. MättöJ, T. Mattila-Sandholm, (2000).** "Probiotic bacteria: safety, functional and technological properties." *J Biotechnol* 84 (2000): 197-215

**Salminen, S, A.V. WRIGHT, A. OUWEHAND (2004).** Lactic acid bacteria microbiological and functional aspects. Edited by Marcel Dekker. (2004)

**Salta F.N., Mylona A., Chiou A., Boskou G., Andrikopoulos N.K. (2007).** Oxidative Stability of Edible Vegetable Oils Enriched in Polyphenols with Olive Leaf Extract. *Food Science and Technology International*. 13 :413-421.

**Samelis J, Maurogenakis F, Metaxopoulos J (1994).** Characterization of lactic acid bacteria isolated from naturally fermented Greek dry salami, *Inter. J. Food. Microbiol.* 23: 179-196.

**Sandhu, K. S., Punia, S., Kaur, M., (2016).** Effect of duration of solid-state fermentation by *Aspergillus awanorinakazawa* on antioxidant properties of wheat cultivars. *LWT-Food Science and Technology, Elsevier*. 71, 323-328.

**Savadogo A., Tapsoba F., Zongo C., Taale E., Tarnagda B. & Baba-Moussa L., (2016).** Biofilm producing strains from local seeds foods (Zamne, Bikalga and Soumbala): Effect of glucose and agar concentrations on the biofilm production. *Int. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. Res.*, 4: 48-59

**SCALBERT A. (2006).** Les polyphénols : intérêt nutritionnel, INRA, France. *Laboratoire des Maladies Métaboliques et Micronutriments*: 130: 727-747p.

**Scalbert Augustin, Williamson Gary, (2000).** Dietary Intake and Bioavailability of Polyphenols. *Journal of Nutrition*, vol. 130, pp 2073-2085.

**Schell M. A., Karmirantzou M., Snel B., Vilanova, D., Berger B., Pessi G., ... & Pridmore, R. D. (2002).** The genome sequence of *Bifidobacterium longum* reflects its adaptation to the human gastrointestinal tract. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(22), 14422-14427.

**Schillinger, U., Lücke, F.-K., (1987).** Identification of lactobacilli from meat and meat products. *Food Microbiology*, 4(3), 199–208.

**Schleifer K.H. (1987).** Recent changes in the taxonomy of lactic acid bacteria. *FEMS*

**SELMI C., MAO K., KEEN L., SCHMITZ H., GERSHWIN M., (2006).** The anti-inflammatory properties of cocoa flavanols, dans *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, vol. 47, n<sup>o</sup> Suppl 2: 163-171p.

**Serna-Saldivar, S. O., (2012).** *Cereal Grains: Laboratory Reference and Procedures Manuel.* Food preservation technology. (394 pages) CRC Press.

**SILBERBERG M., MORAND C., MATHEVON T., BESSON C., MANACH C., SCALBERT A., REMESY C., (2006).** The bioavailability of polyphenols is highly governed by the capacity of the intestine and of the liver to secrete conjugated metabolites. *Eur J Nutr*; 45(2): 88-96p.

**Soltner D. (2005).** *les grandes productions végétales.* 20ème Ed CCTA, Pp: 20-140.

**Srivastava, R. P., Sanjeev, K., Kumar, S., (2002).** *Fruit and vegetable preservation principles and practices.* (3rd ed.). (512 pages) International Book Distribution Co.

**Stiles M.E. & Holzapfel W., (1997).** Lactic acid bacteria of foods and their current taxonomy. *Int. J. Food Microbiol.*, 36(1), 1-29

**Stiles, M.E (1996).** "Biopreservation by lactic acid bacteria." *Antonie van Leeuw* 70 (1996): 331-340

**Stiles, M.E, and W.H Holzapfel (1997).** "Lactic acid bacteria of foods and their current taxonomy." *Int J Food Microbiol* 36 (1997): 1–29.

**Surget A., Barron C. (2005).** Histologie du grain de blé, Industrie des céréales n°145, Pp: 4-7.

## T

**Tamang, J.P. (2010).** Diversity of Fermented Foods. In Fermented foods and beverages of the world p. 448. CRC Press/Taylor & Francis, Boca Raton, USA.

**Tamime a.y., (2002).** Microbiology of starter cultures. In: Dairy microbiology

**Tanous C., E. Chambellon, D. Le Bars, G. Delespaul, M. Yvon, (2006).** "Glutamate dehydrogenase activity can be transmitted naturally to lactococcus lactisstrains to stimulate amino acid conversion to aroma compounds." Appl Environ Microbiol 72 (2006): 1402–1409.

**Thapa N, Pal J, Tamang JP (2006).** Phenotypic identification and technological properties of lactic acid bacteria isolated from traditionally processed fish products of the Eastern Himalayas. International Journal of Food Microbiology. 107: 33-38.

**Thiele, C., Grassi, S., Ganzle, M. (2004).** Gluten hydrolysis and depolymerization during sourdough fermentation. Journal of Agriculture and Food chemistry, 52, 1307- 1314

**Thompson , J, and C.R Gentry-Weeks (1994).** Métabolisme des sucres par les bactéries lactiques. Dans : Bactéries lactiques. Edited by H De Roissart , & F.M Luquet. Vol. I. Lorica, (1994).

**Touré R., E. Kheadr, C. Lacroix, O. Moroni, I. Fliss, (2003).** "Production of antibacterial substances by bifidobacterial isolates from infant stool active against *Listeria monocytogenes*." J Appl Microbiol 95 (2003): 1058–1069.

## V

**Van Slageren M.w., (1994).** Wild wheats : a monograph of *Aegilops* L. And *amblyopyrum*(Jaub and Spach) Eig. (*Poaceae*).Agricultural University,Wageningen, the Netherlands.

**Vandamme, P, B Pot, M Gillis, P de Vos, K Kersters, and J Swings (1996).** "Polyphasic taxonomy, a consensus approach to bacterial systematics." *Microbiol Rev* 60 (1996): 407-438.

**Veillet S., Tomao V., Chemat F. (2009).** Ultrasound Assisted Extraction of aromas and antioxidants. in F. Chemat (Ed) *Essential oil and aromas green extractions and applications.* Handbook New Delhi Inde.

**Vescovo, M, S Torriani, C Orsi, F Macchiarolo, and G Scolari (1996).** "Application of antimicrobialproducing lactic acid bacteria to control pathogens in ready-to-use vegetables." *Journal of Applied Bacteriology* 81 (1996): 113–119.

**Vieira da Silva B., J.C.M. Barreira, M.B.P.P. Oliveira, (2016).** "Commensal and probiotic bacteria may prevent NEC by maturing intestinal host defenses." *Trends Food Sci Tech* 50 (2016): 144-158

**Vos, P, et al (2009).** *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology.* 2e. Vol. 3. New York, NY: Springer-Verlag, (2009).

## Y

**Yao A.A, Egounlety M, Kouame L.P, Thonart P (2009).** Les bactéries lactiques dans les aliments ou Boissons amylicés et fermentés de l'Afrique de l'Ouest: leur utilisation actuelle. *Ann1.Méd. Vét;* 153: 54-65.

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

**Yeend T., Robinson K., Lockwood C. & McArthur A., (2012).** Effectiveness of the fermented wheat germ extract as an adjunct therapy in the treatment of cancer: A systematic review. *Libr Syst Rev.,* 10 (42 Suppl.): 1-12.

## Z

**Zhang, Z., Pan, H., Fan, L., Soccol, C. R., Pandey, A., (2012).** Production of powerful antioxidant supplements via solid-state fermentation of wheat (*Triticum aestivum Linn*) by *Cordyceps militaris*. *Food Technology Biotechnology,* 50(1), 32-93.

**Zuppa A.A. , G. Alighieri, A. Scorrano, P. Catenazzi, (2016).** «Chapter 8 – Prebiotics and Probiotics in Infant Nutrition.» *Bioactive Foods in Health Promotion 2* (2016): 11–16.