

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Université**



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des sciences alimentaires

Mémoire de fin d'étude

**Spécialité** : Sécurité Agro-alimentaire et Assurance Qualité

**Filière** : Sciences Alimentaires

**Domaine** : Sciences de la Nature et de la Vie

**THEME**

**Les additifs alimentaires fonction et législation cas des produits  
boulangers**

**Présenté par : Melle**

**MOSTEFAOUI Affef**

**soutenu le : /09/2022**

Devant le jury compose de :

- |                  |     |       |            |
|------------------|-----|-------|------------|
| • Dr RAMDANE .S  | MCA | USDB1 | Président  |
| • Dr TLEMCENI .A | MAB | USDB1 | Examineur  |
| • DrAOUES.K      | MCA | USDB1 | Promotrice |

**Année Universitaire 2021/2022**

# *Remerciements*

Avant tout , je remercie **Dieu** .

Je tiens à exprimer particulièrement mes sincères remerciements à **Mm AOUES Karima** d'avoir accepté de m'encadrer et qui m'avez fourni le sujet de ce mémoire et pour ses conseils , suggestions et orientations , et la confiance qu'elle m'avez témoigné tout au long de ce travail , t'étais comme une mère pour moi .

Je dois remercier particulièrement :

**Mr RAMDANE .S** , de m'avoir fait l'honneur de présider le jury .

**MrTLEMCENI.A** , pour avoir bien voulu examiner ce travail .

En préambule de ce mémoire , je souhaitais adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire .

J'adresse mes remerciements à tous nos professeurs , pour leur générosité , leur disponibilité ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

À celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoir , à la plus forte femme au monde, la seule raison pour laquelle je suis arrivée ici , pour tes beaux yeux *Maman*, à toi qui me regarde du ciel , j'ai voulu tellement vivre cette joie dans tes bras mais je là vis dans mon cœur quine pourra jamais t'en sortira, je t'aime de la terre au paradis .

À mon exemple éternel , celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir à la hauteur , à toi le plus doux *Papa* au monde que dieu te garde pour moi , je t'aime .

À mon petit frère d'amour *Mohamed* .

À mon soutien moral et source de joie et de bonheur, mon fiancé *Imad* pour l'encouragement et l'aide qui m'a toujours accordé .

À mes tantes *Leïla* et *Nacera*, merci pour l'amour et l'attention que vous avez donné à moi et mon frère.

À ma plus chère dans ce monde, ma **grande-mère** d'amour .

À toute ma Belle famille je vous aime tous .

## *Liste d'abréviation*

**Art** : Article

**AXs** : Arabinoxylanes

**BPF** : Bonne pratique de fabrication

**CE** : Numéro de commission des enzymes

**CMC** : carboxyméthyl-Cellulose

**CSL** : Stearoyl-lactylate de calcium

**DATA** : Esters d'acide diacétyltartriques

**DATEM** : esters mono- et diacétyltartriques de mono- et diglycérides

**DJA** : Dose journalière admissible

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

**GC** : La chromatographie en phase gazeuse

**HB** : taux d'hémoglobine

**HLB** : Hydrophilic – Lipophilic Balance

**JECFA** : joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives .

**LC** : La chromatographie liquide

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**SIN** : Synthèse international de numérotation

**SSL** : Stearoyl-lactylate de sodium

**UE** : Union Européenne

**WE-AX** : Arabinoxylanes solubles dans l'eau

**WU-AX** : Arabinoxylanes insolubles dans l'eau

**WHO** : World Health Organization

# Liste des tableaux

**Tableau 1 :** Tableau des catégories fonctionnelles, définitions et fonctions technologiques des additifs alimentaires .

**Tableau 2 :** Additifs pouvant dans de rares cas provoquer des allergies ou des réactions d'intolérance non définies (Pichler et al., 2011)

**Tableau 3 :** Les additifs alimentaires qui causes la rhinite allergique (Gouget, 2005) .

**Tableau 4 :** Additifs alimentaires responsables des nausées.

**Tableau 5 :** Additifs alimentaires causant les vomissements.

**Tableau 6 :** Additifs alimentaires provoquant l'asthme .

# Résumé

Depuis l'Antiquité, le pain est fabriqué à partir de céréales et d'eau, ainsi que d'une variété d'autres ingrédients qui ont été ajoutés pour le rendre plus appétissant ou pour aider à le conserver. Au fil du temps, certains ingrédients ont été découverts pour améliorer la qualité du pain sont les additifs alimentaires . les principales classes d'additifs utilisés en panification sont : (i) les oxydants/réducteurs ; (ii) émulsifiants ; (iii) les hydrocolloïdes ; et (iv) les conservateurs. Les principaux auxiliaires technologiques utilisés . sont des enzymes. Historiquement , les tendances du marché sont passées de l'utilisation d'ingrédients en plus grande quantité pour obtenir des effets spécifiques dans le pain ( comme la matière grasse pour la douceur de la mie ) - à l'utilisation d'additifs à des niveaux beaucoup plus faibles ( max . 1 % ) et , plus récemment , à la enzymes qui sont utilisées en parties par million ( ppm ) . Selon de nombreuses réglementations , les enzymes n'ont pas besoin d'être déclarées sur l'étiquette du produit final , suivant la tendance " clean label " . Nous décrirons les additifs alimentaires utilisés dans chaque classe , décrivant individuellement leur mode d'action et leurs effets sur la rhéologie de la pâte , pendant le processus de panification et sur la qualité du produit . Nous décrirons également les principales enzymes actuellement utilisées , en les répartissant selon le substrat sur lequel elles agissent ( gluten , amidon , lipides , polysaccharides non amylicés ou NSPS ) , en décrivant individuellement leur mode d'action et leurs effets sur la rhéologie de la pâte , au cours de la cuisson . processus de panification, et sur la qualité des produits. Les aspects juridiques seront également abordés , Aussi les tendances futures de l'utilisation des additifs et auxiliaires technologiques en panification.

Nous concluons avec les effets secondaires des additifs alimentaires et leurs risques sur la santé humaine.

**Mots clés : additifs alimentaires , produits boulangers , législation , Algérie.**

## **Abstract**

Since antiquity bread is made from cereals and water, as well as a variety of other ingredients that have been added to make it more appetizing or to help keep it. Over time, some ingredients have been discovered to improve the quality of bread are the food additives. Their classes of additives used in breadmaking are : ( i ) oxidants / reductants ; ( ii ) emulsifiers ; ( iii ) hydrocolloids ; and ( iv ) preservatives . The main processing aids used are enzymes . Historically , market trends have developed from the use of ingredients in greater quantities to obtain specific effects in bread ( such as fat for crumb softness ) – to the use of additives at much lower levels ( max . 1 % ) and , more recently , to enzymes which are used in parts per million ( ppm ) . According to many regulations , enzymes do not need to be declared on the label of the final product , attending the « clean label » trend . We will describe the food additives used under each class , individually describing their mode of action and effects on dough rheology , during the breadmaking process , and on product quality . We will also describe the main enzymes currently used , dividing them according to the substrate they act on ( gluten , starch , lipids , non – starch polysaccharides or NSPS ) , individually describing their mode of action and effects on dough rheology , during the breadmaking process , and on product quality . Legal aspects will also be addressed, and the future trends in the use of additives and processing aids in breadmaking .

We conclude with the side effects of food additives and their risks on human health.

**Key words : food additives , bakery products , legislation , Algeria.**

## ملخص

منذ العصور القديمة ، يُصنع الخبز من الحبوب والماء ، جنبًا إلى جنب مع مجموعة متنوعة من المكونات الأخرى التي تمت إضافتها لجعله أكثر قبولًا أو للمساعدة في الحفاظ عليه. بمرور الوقت ، أصبحت بعض المكونات التي تم اكتشافها لتحسين جودة الخبز من المضافات الغذائية، الطبقات الرئيسية من الإضافات المستخدمة في اتساع هي: (1) الأكسدة / الحد؛ (2) المستحلبات؛ (3) الهيدروكولوايدية؛ و (4) المحافظون. المساعدات التكنولوجية الرئيسية المستخدمة. هي الإنزيمات. تاريخيا، تختفي اتجاهات السوق من استخدام المكونات بكمية أكبر للحصول على تأثيرات محددة في الخبز (مثل الدهون لحلاوة - MIE) لاستخدام الإضافات في المستويات الأقل بكثير (بحد أقصى 1٪، وفي الآونة الأخيرة، إلى الإنزيمات المستخدمة في أجزاء لكل مليون (جزء في المليون)، وفقًا للعديد من اللوائح ، لا يلزم الإعلان عن الإنزيمات على ملصق المنتج النهائي ، باتباع اتجاه "الملصق النظيف". سنقوم بوصف المضافات الغذائية المستخدمة في كل فئة ، ووصف بشكل فردي طريقة عملها وتأثيراتها على ريولوجيا العجين. أثناء عملية صنع الخبز وعلى جودة المنتج. سنصف أيضًا الإنزيمات الرئيسية المستخدمة حاليًا ، ونقسمها وفقًا للركيزة التي تعمل عليها (الغلوتين ، والنشا ، والدهون ، والسكريات غير النشوية أو NSPS)، ونصف بشكل فردي طريقة عملها وتأثيراتها على ريولوجيا العجين أثناء الطهي. عملية صنع الخبز وجودة المنتج كما ستتم مناقشة الجوانب القانونية ، بالإضافة إلى الاتجاهات المستقبلية في استخدام المواد المضافة ومعينات التصنيع في صناعة الخبز.

سنختتم بالآثار الجانبية للمضافات الغذائية ومخاطرها على صحة الإنسان.

**لكلمات المفتاحية: المضافات الغذائية، منتجات المخبز ، تشريع ، الجزائر..**



# Table des matières

Remerciements

Dédicace

Introduction

## Chapitre 1 : Le pain

- 1 . Historique de panification
- 2 . Définition du pain
- 3 . Les types de pain
- 4 . Composition du pain
  - 2.1 Farine panifiable
  - 2.2 L'eau
  - 2.3 Levure et levain
  - 2.4 Le sel alimentaire
- 5 . Les étapes de la panification
  - 3.1 Pétrissage
  - 3.2 Pointage
  - 3.3 Mise en forme
  - 3.4 Apprêt
  - 3.5 Cuisson
  - 3.6 Le défournement et le ressuyage
- 5 . Consommation du pain

## Chapitre 2 : Les additifs alimentaires de panification

- 1 . Définition de l'additif alimentaire
- 2 . Origine des additifs alimentaires
  - 2.1 Les additifs alimentaires naturels
  - 2.2 Les additifs alimentaires obtenus par modification et produits naturels

## 2.3 Les additifs alimentaires de synthèses

### 2.4 Les additifs alimentaires identiques aux naturels

### 2.5 Les additifs alimentaires artificiels

## 3 . Classification des additifs alimentaires

## 4 . Additifs en panification

### 4.1 Oxydants et réducteurs

#### 4.1.1 Azodicarbonamide

#### 4.1.2 l'Acide ascorbique

#### 4.1.3 Cystéine

### 4.2 Émulsifiants

#### 4.2.1 Mono- et diglycérides

#### 4.2.2 Esters d'acide diacétyl tartrique des Mono- et diglycérides (DATEM)

#### 4.2.3 Lactylates : Stearoyl-lactylate de calcium et Stearoyl-lactylate de sodium

#### 4.2.4 Polysorbates

### 4.3 Hydrocolloïde

#### 4.3.1 Gomme de Xanthane

#### 4.3.2 Gomme de guar

#### 4.3.3 Carboxyméthyl-Cellulose

### 4.4 Conservateurs

#### 4.4.1 Propionates

#### 4.4.2 Sorbates

#### 4.4.3 Acétates

#### 4.4.4 Fermentats

## 5 . Les enzymes de panification

### 5.1 Substrat : Polysaccharides

#### 5.1.1 $\alpha$ -amylase fongique (EC 3.2.1.1)

5.1.2  $\beta$ -amylase (EC 3.2.1.2)

5.1.3 Amylase bactérienne

5.1.4  $\alpha$ -amylase maltogène bactérienne (EC 3.2.1.133)

5.1.5 Amyloglucosidase ou glucoamylase (EC 3.2.1.3)

5.2 Substrat : Protéines

5.2.1 Glucose-oxydase (EC 1.1.3.4)

5.2.2 Hexose-oxydase (EC 1.1.3.5)

5.2.3 Transglutamine (EC 2.3.2.13)

5.2.4 protéase

5.3 Substrat : Lipides

5.3.1 Phospholipase (EC 3.1.4.3 )

5.3.2 Glycolypase (EC

5.3.3 Lipase (EC 3.1.1.3 )

5.3.4 Lipoxygénase (EC

5.4 Substrat : Polysaccharides non amylacés (NSPS)

5.4.1 Xylanase fongique (EC 3.2.1.8 )

5.4.2 Xylanase bactérienne (EC 3.2.1

5.4.3 Cellulase (EC 3.2.1.4 )

6 . La législation des additifs alimentaires

7 . Les méthodes de détection des additifs alimentaires

## Chapitre 3 : Les effets des additifs alimentaires sur la santé

1 . Introduction

2 . Les dangers des additifs alimentaires sur la santé

2.1 Les additifs et le cancer

2.2 Les additifs et l'Allergie

2.3 Les additifs et l'hyperactivité

### 3 . Les autres maladies liées aux additifs alimentaires

3.1 Urticaire

3.2 Rhinite allergique

3.3 Nausées

3.4 Vomissements

3.5 Diarrhée

3.6 L'eczéma

3.7 L'asthme

### 3 . Comment éviter les additifs alimentaires

### Conclusion

# **INTRODUCTION**

# INTRODUCTION

---

## Introduction

Le pain est un aliment de base des dernières décennies dans le monde et le pain de blé est le pain le plus couramment consommé. Étant donné que le pain est utilisé comme base de l'alimentation quotidienne en raison de laquelle sa demande augmente, certains ingrédients ont été découverts et des idées innovantes ont donc été générées, pour le rendre plus sûr à manger. Les principaux ingrédients utilisés dans la fabrication du pain sont la farine et l'eau. Farine de blé couramment utilisée dans la préparation du pain en raison de sa forte teneur en gluten qui aide à l'expansion du pain et donne une bonne texture acceptable au pain. Par exemple, le sel, le vinaigre et le sucre sont des méthodes traditionnelles de conservation, et l'ajout d'un peu de matière grasse à une recette rend le produit plus tendre à manger et aide à le garder moelleux. La cuisson à la maison comprend souvent des ingrédients simples, par ex. de la crème de tartre et de la levure chimique qui font lever les scones et les gâteaux – mais ceux-ci sont rarement reconnus comme des additifs alimentaires. De nombreux additifs couramment utilisés dans les aliments sont également présents à l'état naturel, par ex. acide citrique dans les fruits. Le but de ces composants (additifs alimentaires) est d'ajouter une nutrition diététique (fortifiants) (Martins, Franco, Mun De Souza, 2017), d'augmenter la durée de conservation et / ou d'améliorer les propriétés physicochimiques, sensorielles et microbiologiques des aliments industrialisés (Damodaran&Parkin, 2017). Une grande variété et une grande quantité d'additifs chimiques sont utilisés dans les aliments industriels, pour maintenir et / ou améliorer les propriétés biologiques, physicochimiques, rhéologiques et sensorielles, telles que le pH, la texture, la homogénéité, la couleur, la saveur, la douceur, le goût croustillant, la qualité globale et la stabilité, et pour prolonger la péremption. Une pléthore de composés présentant des fonctionnalités spécifiques est utilisée pour atteindre ces objectifs. Promouvoir une qualité différenciée dans les aliments industrialisés. Les industries alimentaires emploient des additifs, qui sont utilisés selon la législation spécifique de chaque pays et suivant une politique de sécurité alimentaire, basée sur le Codex Alimentarius (Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization FAO / WHO], 2016). Pour tous les additifs alimentaires approuvés, la législation devrait indiquer les aliments auxquels l'additif alimentaire peut être ajouté, les conditions dans lesquelles l'additif alimentaire peut être utilisé et recommander la quantité maximale autorisée de l'additif, qui est

# INTRODUCTION

---

basée sur un niveau qui assure au consommateur sécurité . Pour cela, les industries et les organismes de réglementation exigent un contrôle de qualité rigoureux dans l'identification de la classe des additifs alimentaires et le niveau de quantification auquel ils sont employés. Veiller à ce que tous les additifs illégaux soient évités exige également une évaluation rigoureuse. CERNED MANN La présente revue décrit les différentes classes d'additifs alimentaires et les principales méthodes d'analyse employées dans l'analyse de ces composés, indiquant les avantages, les inconvénients et les perspectives de l'analyse chimique dans l'industrie alimentaire

# **Chapitre 1**

## **Le pain**



## Chapitre 1 : Le pain

### 1-Historique de panification :

L'origine du pain se perd dans la nuit des temps et, compte tenu des recherches archéologiques, on peut affirmer que le pain qui figure aujourd'hui sur nos tables est probablement l'héritier d'une histoire vieille de plus de 5 000 ans. À cette époque, les Égyptiens connaissent déjà l'art de cuire le pain. Sur des sites archéologiques, on retrouve des fragments de galettes au levain cuites sous la cendre. Dans les tombeaux des pharaons, ont été découvertes est présentant les diverses étapes de la panification. Les Hébreux contemporains de Moïse utilisent aussi la levure pour donner plus de saveur et de légèreté au pain fabriqué avec de l'orge, sauf aux fêtes sacrées pendant lesquelles il est considéré comme impur. Avec les Grecs, l'art de la boulangerie se développe rapidement. Dès le cinquième siècle avant J.C. ils inventent le véritable four, préchauffé de l'intérieur et s'ouvrant de face, dans lequel ils font cuire des pains aromatisés au fenouil et au cumin. En l'an 200 avant J.C., les Grecs peuvent apprécier plus de 72 variétés de pains et des gâteaux. Dans la Rome antique, ainsi que dans la Gaule mérovingienne, le faiseur de pain est nommé : « pistor de pinsere » qui veut dire piler, prouvant la confusion entre meunier et boulanger. Pendant longtemps, la fabrication du pain reste domestique, ce pain maison ressemble plus à de la bouillie cuite qu'à notre pain d'aujourd'hui. Puis, les légions romaines conquièrent la Grèce et ramènent des esclaves de ce pays. Ces Grecs apportent avec eux l'art de la fabrication du bon pain. Sous le règne d'Auguste, vers 30 ans avant J.C., on dénombre plus de 300 boulangeries dans la ville de Rome. De l'Italie, l'usage du pain se répand dans toutes les autres parties de l'Europe. En France, sous le règne de Charlemagne, le faiseur de pain s'appelle « talmenier », mais ces professionnels sont peu nombreux car le pain se fait encore à la maison et chacun porte son pain à cuire dans les fours seigneuriaux. Il faudra attendre le XIIe siècle pour voir apparaître le nom de « boulanger », issu du mot picard « bourenc » qui signifie celui qui fabrique la boule. Ce n'est qu'au XVIIIe siècle qu'apparaît le pain de forme allongée, dit « fantaisie ». Considéré comme aliment essentiel, le pain connaît au cours des siècles bien des aléas. Le boulanger est tenu pour responsable de son bon approvisionnement, et en cas de pénurie il a souvent à subir la colère du peuple affamé. Cependant, notre société évoluant, et la nourriture devenant plus diversifiée, le pain n'a plus ce rôle d'aliment primordial. Il a même été accusé de tous les maux, en particulier d'être responsable de nos surcharges pondérales. Après une dégradation de ses qualités gustatives, liée à l'industrialisation de sa fabrication, le pain retrouve de nos jours sa place d'aliment de qualité. À l'aube du XXIe siècle, la fabrication artisanale traditionnelle est de nouveau très recherchée par les consommateurs. Ils sont de plus en plus nombreux à réclamer du bon pain comme autrefois avec une croûte dorée à point et une mie savoureuse. Le boulanger reste détenteur d'un savoir-faire apprécié de tous, et le bon pain n'a pas fini de nous régaler.

# Chapitre 1 : le pain

---

## 2. du pain:

selon le **décret exécutif n° 91-572 du JORA N° 02 (1992)**, la dénomination « pain » s'applique à la pâte fermentée composée de farine de panification ou de préparation pour panification, additionnée d'eau, de sel, de levure et/ou de levains et cuite conformément aux bonnes pratiques de fabrication.

La formulation diffère avec les types de pains ; le pain traditionnel est exempt de sucre, de lait et de matières grasses. Il résulte de la cuisson d'une pâte dont la recette est exempte de tout additif. Il se différencie ainsi d'un pain de consommation courante, dans lequel l'ajout de l'acide ascorbique est autorisé (**Feuillet, 2000**).

## 3-Différents types du pain :

Il existe plusieurs types de pains dont on peut citer :

- **Le pain blanc** : Ce pain est fabriqué avec une farine extrêmement blanche raffinée (perte des éléments minéraux et des vitamines), de type 45 ou 55. C'est le pain le plus vendu aujourd'hui, sous la forme de baguette. Ce pain est levuré directement, on n'utilise pas de levain (Giannou et al. 2003).
- **Le pain complet** : Ce pain est élaboré avec une farine qui contient plus ou moins l'enveloppe du blé (de type 110 ou 150), donc une farine plus sombre. Ce pain est plus riche en vitamine et sels minéraux que le pain blanc. Il convient de distinguer le pain courant qui est levuré normalement du pain au levain qui est élaboré avec un levain..( Kezih et al., 2014).

Le pain complet risque d'avoir parfois des traces de pesticides dans l'enveloppe du grain (nocif pour les femmes enceintes et les enfants) (Jean-Michel Cohen 2017).

- **Le pain au son** : farine de blé blanche 80% et de son qui représente les résidus de mouture de céréales 20%.
- **Le pain de seigle** : Le pain de seigle contient 2/3 de farine de seigle et 1/3 de farine de blé. Il est riche en fibres, bon pour le transit intestinal mais peut irriter les parois intestinales des personnes fragilisées du colon (Bourekoua et al., 2016). du couleur brune due à la couleur naturelle de sa farine et à la présence plus aux moins importante de son de seigle (résidu de mouture de céréales) (Dagher, 1991)
- **Le pain au levain** : Traditionnellement, les levains sont obtenus par fermentation spontanée d'un mélange de farine (blé ou seigle), d'eau et de sel par la culture autochtone de bactéries lactiques homo- et hétéro-fermentaires (LAB), en association avec des levures ; cependant, ces dernières années ont vu l'utilisation de levains allochtones définis et le contrôle du processus de fermentation. Les LAB produisent un certain nombre de métabolites tels que des substances organiques (acide lactique et acétique), des exopolysaccharides (EPS), des substances

## Chapitre 1 : le pain

---

antimicrobiennes (c'est-à-dire des bactériocines) et une variété d'enzymes spécifiques à l'espèce (c'est-à-dire l' $\alpha$ -amylase, la pectinase, la phytase, etc. ) qui ont des effets bénéfiques sur la texture, les valeurs nutritives et le rassissement du pain. Par exemple, le PSE peut stimuler les propriétés viscoélastiques de la pâte, augmenter le volume du pain, réduire la résistance de la mie et prolonger la durée de conservation (Torrieri et al. 2014).

- **Le pain de campagne** : Ce pain est composé d'un mélange de farine de seigle et de blé ce qui lui confère . une mie typée, souple et une bonne conservation.
- **Le pain aux céréales** : farine de blé et de différentes céréales (orge, seigle, avoine, riz ....)(Bourekoua et al., 2016).
- **Le pain poilâneil** est composée de farine de blé (broyée à la meule) fermentée avec un levain sans levure de boulanger, sans conservateurs .Il doit son nom a un des plus grands boulangers de France ,lionelpoilâne (Jean-Michel Cohen 2017).
- **Le pain noir** : nom donne au pain riche au son, constitué par 2/3de farine de seigle e 1/3 de farine de blé tendre (Bourekoua et al., 2016).
- **Le pain de mie** : il est composé de farine de blé blanche avec ajout de lait, beurre, sucre et œufs (Jean-Michel Cohen 2017)
- **Le pain brioche ou viennois** : il est constitué de farine de blé, beurre, de sucre, des œufs, du lait .la vrais brioche du boulanger ne contient pas de lait (Jean-Michel Cohen 2017).
- **Le pain d'épices** : il est composé de farine de blé et de seigle,de sucre ou de miel, du lait, des œufs et d'aromates(Jean-Michel Cohen 2017).
- **Les biscottes** : il est composé de farine de blé blanche ou complète avec ajout de matière grasses(Jean-Michel Cohen 2017).
- **Le pain traditionnel** est préparé lors des grandes célébrations comme les mariages et les fêtes religieuses. Son recette est complexe à cause de nombreux ingrédients utilisés (fine semoule , graisse , lait , sel , levure , œuf , sésame et graines de nigelle). Le pain est cuit dans un four de boulanger ou dans un four ménager. Le produit fini a une croûte croustillante et une mie tendre et délicieuse (Cheriet, 2000) :
  - **Kesra** Le terme « kesra » signifie fraction. Elle comprend quatre pains plats cuits à la maison : Mathlouaa, Maadjouna, Rakhsis et Harcha. Ces appellations varient dans toute l'Algérie, mais les recettes et les diagrammes sont semblables (Kezih et al., 2014).
  - **Khobzeddar** C'est un pain traditionnel algérien fabriqué à base de semoule de blé dur il est caractérisé par une croûte croustillante et une mie légère (Bourekoua et al., 2016). Cela signifie littéralement pain de maison, il diffère de la kesra par sa recette (matière grasse, œufs et certains additifs) et par son diagramme de fabrication (Dagher, 1991).

# Chapitre 1 : le pain

---

## 4 . Composition du pain

### 4.1 Farine panifiable

Selon le décret exécutif n°91-572 du JORA N°02 (1992), la dénomination « farine » ou « farine de panification » sans autre qualificatif, désigne la farine de blé tendre *Triticumaestivum*, qui est défini comme étant le produit de la mouture de grains de céréales aptes à la panification et préalablement nettoyés, sans autre modification que la soustraction partielle ou totale des germes et enveloppes. Dans tous les autres cas, cette dénomination devra être suivie de l'indication de l'espèce ou des espèces végétales dont la farine est issue.

En cas de mélange, la proportion de chacun des composants, devra être indiquée.

La farine de panification pourra recevoir l'adjonction à titre d'adjuvants, de farine de fèves dans une proportion ne dépassant pas 2%, et de produits maltés dans une proportion n'excédant pas 0,3 %. Lorsque l'adjonction d'adjuvants est effectuée, la dénomination « farine » ou « farine de panification » est remplacée par « préparation pour panification » avec la mention de chacune des adjonctions faites.

### 4.2 L'eau

L'eau est, après la farine, le constituant le plus important de la pâte, elle joue un rôle majeur au cours de sa confection. Elle hydrate la farine, gonfle les grains d'amidon et favorise l'assouplissement et l'allongement du gluten, ce qui donne à la pâte ses propriétés de plasticité, qui lui permettent de se développer et de se laisser façonner. Comme toutes les eaux destinées à la consommation humaine, celle qui est utilisée en panification doit être potable (Calvel, 1984).

### 4.3 Levure et levain

Les levuriers définissent les levures de panification comme des biomasses séparées de leur milieu de culture, obtenues par la multiplication de souches sélectionnées pour leurs propriétés en panification (**Guinet et Godon, 1994**). Ce sont des organismes unicellulaires dont l'espèce la plus utilisée en panification est *Saccharomyces cerevisiae* (**Feuillet, 2000**).

Le levain demeure, en effet, un produit vivant à base de farine de blé et de seigle, soumis à une fermentation naturelle acidifiante (bactéries lactiques et levures) et dont la fonction est d'assurer la levée de la pâte (**Guinet et Godon, 1994**).

# Chapitre 1 : le pain

---

## 4.4 Le sel alimentaire

Quoique beaucoup moins important que la farine et l'eau, le sel est l'un des principaux constituants de la pâte et du pain. Sa présence se manifeste tout au long de la panification. Il améliore, en premier lieu, les qualités plastiques de la pâte : fermeté, ténacité, et permet ainsi d'élever légèrement la quantité d'eau ajoutée (Calvel, 1984).

## 5. Etapes panification

Définition de la Panification : c'est l'ensemble des transformations physiques, des réactions chimiques et des activités biologiques très complexes se produisant au sein d'un mélange de farine, d'eau, de sel, de levure et parfois de quelques autres ingrédients (acide ascorbique, farine de fève, enzymes exogènes, émulsifiant...), sous l'action d'un apport contrôlé d'énergie mécanique et thermique (Feuillet, 2000).

Selon Feuillet (2000), la fabrication du pain dure environ cinq heures et comporte les étapes suivantes :

### 5.1 Pétrissage :

la première étape de la fabrication du pain, le pétrissage est une opération, dont la bonne conduite, conditionne en grande partie la qualité des produits finis. Il permet de former une pâte homogène, lisse, tenace à partir du mélange de ces constituants. Au cours de cette opération, la farine s'hydrate, le mélange perd son caractère humide et granuleux, la pâte se forme en subissant des forces intenses d'extension, de compression et de cisaillement. Si le pétrissage se poursuit au-delà du développement maximal, qui n'est pas nécessairement optimal pour assurer une bonne panification, la pâte s'affaiblit puis s'effondre et devient collante en raison de l'accroissement de mobilité de ses constituants, alors on observe une rhéodestruction (Feuillet, 2000).

### 5.2 Pointage ( fermentation en masse ) :

C'est la première fermentation, elle se déroule de la fin du pétrissage jusqu'au façonnage des pâtons. La fermentation assure deux fonctions principales : la levée de la pâte sous l'effet de la formation de gaz carbonique et la synthèse d'acide organique et de molécules volatiles qui vont participer à l'élaboration du goût et de l'arôme du pain ; elle contribue également à

## Chapitre 1 : le pain

---

l'achèvement du développement du réseau protéique qui s'est formé au cours du pétrissage (Feuillet, 2000).

### 5.3 Mise en forme :

La pâte est divisée en portions individuelles d'un poids déterminé. Un boulage rend la surface plus lisse et évite que les gaz ne s'échappent. Après un repos de 10 minutes, les pâtons sont façonnés à la forme voulue (Broutin, 2004). Le façonnage permet de corriger certains défauts provenant de perturbations technologiques révélées au cours des opérations précédentes tel que : l'excès ou le manque de force. Il rend également la pâte plus malléable en créant stabilité et élasticité et en diminuant la perte de gaz (Calvel, 1994 ; Ladraa, 2012).

### 5.4 Apprêt :

Après la mise en forme, les pâtons subissent une deuxième fermentation durant laquelle la levure continue à jouer son rôle d'agent de levée de la pâte, en libérant du dioxyde de carbone, de l'alcool et des acides organiques (Grandvoinet et Praty, 1994 ; Ladraa, 2012). Au cours de cette étape, le gaz carbonique reste emprisonné dans le réseau élastique du gluten, de ce fait, le volume du pain triple (Roussel et Bartolucci, 1997 ; Ladraa, 2012).

### 5.5 Cuisson

La cuisson se fait à une température de 250°C, durant 20 à 30 minutes, dans un four dont l'atmosphère est saturée de vapeur d'eau « buée ». Durant cette étape, il se produit les transformations suivantes :

Avant 60°C : le volume des pâtons fermentés augmente dans le four par action combinée

De plusieurs phénomènes :

Le gaz carbonique se dilate ;

L'alcool obtenu lors de la fermentation et une partie de l'eau se vaporisent ; l'activité des levures augmente (production accélérée de CO<sub>2</sub>) ; les levures meurent vers 60°C.

A partir de 70°C : les protéines du gluten sont dénaturées et coagulent, cela fixe la structure spongieuse de la mie (Alais et Linden, 1994 ; Ladraa, 2012). L'amidon se modifie, sa structure granulaire (semi cristalline) passe à l'état amorphe, il devient plus hydrophile. La bêta-amylase est inactivée vers 75°C. Cependant, l'alpha-amylase est thermorésistante, son activité disparaît vers 85°C (Boudreau et Menard, 1992 ; Ladraa, 2012).

## Chapitre 1 : le pain

---

Vers 90 – 100°C : il y a formation de la croûte par dessiccation, il n'y a pas de possibilité de transfert d'eau vers l'extérieur, la mie reste donc hydratée ((Boudreau et Menard, 1992 ; Ladraa, 2012).

De 170 à 250°C : lorsque la croûte atteint cette température, la réaction de Maillard et la caramélisation ont lieu, ce qui donne une coloration à la croûte, accompagnée de la formation de composés odorants (maltol en particulier) (Alais et Linden, 1994 ; Ladraa, 2012).

### 5.6 Le défournement et le ressuyage

Le pain sort du four avec beaucoup de soins et précautions parce qu'il est chaud et que sa croûte est encore fragile. Il est déposé sur les rayonnages pour permettre à la vapeur d'eau et au gaz carbonique de s'échapper et ainsi éviter de le mouiller. C'est le ressuyage (Leon,1997).

## 6 . Consommation du pain

La consommation du pain varie en fonction de plusieurs facteurs

### Des effets de générations marqués :

La consommation de pain subit un effet négatif de génération : au même âge, les jeunes des générations actuelles consomment moins de pain que les générations précédentes .Un effet d'époque à la baisse persiste depuis 2003 pour les 40-49 ans , mais est à la hausse , pour les 40-75 ans entre 2013 et 2016 . En revanche, l'effet de génération est très positif sur les sandwiches : au même âge , les générations les plus jeunes consomment plus de sandwiches que les générations plus âgées .

### La consommation en fonction de l'âge

La consommation de pain augmente avec l'âge. Chez les adultes, elle progresse fortement en fonction des tranches d'âge, passant de 74.5g / j pour les plus jeunes (20-29 ans) à 122,4 g / j pour les 55 ans et plus. Il faut cependant apporter une nuance à cette tendance générale : les jeunes adultes consomment un peu moins de pain que leurs cadets ( 15-19 ans ) ; peut – être en raison du départ du domicile familial . Les jeunes adultes auraient moins le réflexe d'acheter du pain quotidiennement que leurs parents .

## Chapitre 1 : le pain

---

### **Une consommation en fonction du sexe**

En 2016 , la consommation moyenne de pain par jour pour la population totale était de 93,9 g . On remarque, de nouveau, une forte disparité homme/ femme déjà marquée lors des enquêtes précédentes .

### **La consommation du pain en Algérie :**

Selon l'organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture ( FAO ) , les Algériens consomment près de 49 millions de baguettes de pain chaque jour , occupant ainsi , le premier rang des consommateurs de pain dans le monde . L'Algérie occupe la 4<sup>e</sup> place mondiale en terme de qualité du pain , derrière la France , les Etats – unis et les Philippines .. Selon la FAO , l'explication de cette grande consommation du pain est simple : « parce que les Algériens consomment le pain avec tous les aliments qu'ils prennent pendant la journée » .



# **Chapitre 2**

## **Les additifs alimentaires de panification**

**Chapitre 2 : Les additifs alimentaires de panification :****1. Définition de l'additif alimentaire**

Un additif alimentaire est une substance végétale, synthétique ou animale visant à améliorer le goût, l'aspect, la texture ou le temps de conservation des produits transformés ou ultra-transformés. Ils portent la lettre E, suivie de plusieurs chiffres, mais peuvent également être inscrits sous leur nom commun.

**2. Origine des additifs alimentaires**

Les additifs alimentaires ont des origines variées on distingue : les additifs naturels , les additifs provenant de la modification chimique des produits naturels, les additifs identiques aux naturels et les additifs artificiels . Ces deux derniers sont des additifs de synthèse.

**2.1 les additifs alimentaires naturels**

Ce sont des extraits des substrats végétales ou animales existantes dans la nature par exemple ( les extraits d'arbres , d'algues , de graines , de fruits , de légumes , etc ... ) . On peut ainsi citer l'exemple de curcumine ( E 100 ) , un colorant naturel de couleur jaune-orange extrait de racines de *curcuma longa* et utilise pour la coloration de plusieurs aliments comme les glaces , les yaourts et les produits de confiseries .

**2.2 les additifs alimentaires obtenus par modification de produits naturels**

Ce sont des additifs obtenus par modification chimique d'un extrait naturel d'une substance végétale ou animale dans le but d'améliorer ses propriétés .

C'est le cas , par exemple, des émulsifiants , des édulcorants issus des fruits et des acides organiques dérivés d'huiles comestibles .

**2.3 les additifs alimentaires de synthèse**

Lorsque l'extraction des substances naturelles est coûteuses , ces dernières peuvent être reconstituées par synthèse chimique . Les additifs ainsi fabriqués sont identiques aux substances naturelles . La synthèse chimique peut également être utilisé pour la fabrication des additifs totalement artificiels.

**2.4 les additifs alimentaires identiques aux naturels**

Ce sont des substances utilisées pour substituer les additifs alimentaires naturels , mais elles sont obtenues par synthèse chimique . C'est le cas , par exemple, de l'acide ascorbique ( vitamine C ) et de l'acide citrique qui est utilisé comme acidifiant .

### 2.5 les additifs alimentaires artificiels

Ce sont les additifs qui n'ont aucun homologue dans la nature. Ils sont entièrement artificiels , obtenus par synthèse chimique . C'est le cas par exemple de certains anti-oxygène , c'est ce groupe d'additifs qui pose plus de soucis quand à la santé du consommateur .

### 3. Classification des additifs alimentaires

Cette extraordinaire évolution des technologies et des besoins à contribuer au développement de l'utilisation des additifs dans l'industrie de transformation alimentaire alors en plein expansion . En 1970 , on relevait 2500 additifs aux États-Unis . Actuellement , en Europe et d'autres pays une liste d'additifs alimentaires est autorisée .

Les additifs alimentaires dotés chacun d'un numéro précédé de la lettre E permettant d'identifier facilement la catégorie , et répertoriés en 27 classes ( ou types ) d'effet technologique selon la directive CEE N° 89/107 du 21 décembre 1988 .

**Tableau 1 :** Tableau des catégories fonctionnelles , définitions et fonctions technologiques des additifs alimentaires .

<b>CATÉGORIES FONCTIONNELLES</b>	<b>DÉFINITION</b>
<b>1.</b> Régulateur de l'acidité	Additif alimentaire qui contrôle l'acidité ou l'alcalinité d'une denrée alimentaire
<b>2.</b> Antiagglomérant	Additif alimentaire qui réduit la tendance que peuvent avoir les composantes d'une denrée alimentaire à adhérer les unes aux autres
<b>3.</b> Antimoussant	Additif alimentaire qui empêche ou réduit la formation de mousse
<b>4.</b> Antioxydant	Additif alimentaire qui prolonge la durée de conservation des aliments en les protégeant contre les altérations dues à l'oxydation
<b>5.</b> Agent de Blanchiment	Additif alimentaire utilisé pour décolorer des denrées alimentaires (mais pas la farine). Les pigments ne sont pas des agents de blanchiment

<b>6. Agent de charge</b>	Additif alimentaire qui leste une denrée alimentaire sans en modifier sensiblement la valeur énergétique
<b>7. Agent de carbonation</b>	Additif alimentaire utilisé pour apporter du dioxyde de carbone à une denrée alimentaire
<b>8. Support</b>	Additif alimentaire utilisé pour dissoudre, diluer, disperser ou modifier physiquement de toute autre façon un additif alimentaire ou un nutriment sans altérer sa fonction (et sans produire lui-même d'effet technologique) afin de faciliter sa manipulation, son application ou son utilisation de l'additif alimentaire ou du nutriment
<b>9. Colorant</b>	Additif alimentaire qui ajoute de la couleur à une denrée alimentaire ou rétablit sa couleur naturelle
<b>10. Agent de rétention de la couleur</b>	Additif alimentaire qui stabilise, retient ou intensifie la couleur d'une denrée alimentaire
<b>11. Émulsifiant</b>	Additif alimentaire qui permet d'obtenir ou de maintenir un mélange uniforme à partir de deux ou plusieurs phases immiscibles contenues dans un aliment
<b>12. Sel émulsifiant</b>	Additif alimentaire qui, lors de la fabrication d'aliments transformés, arrange les protéines de manière à empêcher la séparation des graisses
<b>13. Affermissant</b>	Additif alimentaire qui rend ou garde les tissus des fruits ou des légumes fermes ou craquants, ou interagit avec des gélifiants de manière à produire ou à renforcer un gel
<b>14. Exaltateur d'arôme</b>	Additif alimentaire qui exalte le goût et/ou l'odeur naturels d'une denrée alimentaire

<b>CATÉGORIES FONCTIONNELLES</b>	<b>DÉFINITION</b>
<b>15. Agent de traitement des farines</b>	Additif alimentaire qui, ajouté à la farine ou à la pâte, en améliore la qualité boulangère ou la couleur
<b>16. Agent moussant</b>	Additif alimentaire qui permet de former ou de maintenir une dispersion uniforme d'une phase gazeuse dans un aliment solide ou liquide
<b>17. Gélifiant</b>	Additif alimentaire qui confère une certaine texture à l'aliment au moyen de la formation d'un gel
<b>18. Agent d'enrobage</b>	Additif alimentaire qui, lorsqu'il est appliqué à la surface externe d'un aliment, lui confère un aspect brillant ou le recouvre d'un revêtement protecteur
<b>19. Humectant</b>	Additif alimentaire qui empêche les aliments de se dessécher en combattant l'effet que peut avoir une atmosphère caractérisée par un faible degré d'humidité

<b>20.</b> Gaz de Conditionnement	Additif alimentaire gazeux, qui est introduit dans un conteneur pendant, durant ou après son remplissage avec une denrée alimentaire avec l'intention de protéger l'aliment par exemple de l'oxydation ou de l'altération
<b>21.</b> Agent de conservation	Additif alimentaire qui prolonge la durée de conservation des aliments en les protégeant contre les altérations dues aux micro-organismes
<b>22.</b> Gaz propulseur	Additif alimentaire gazeux qui permet d'expulser un aliment contenu dans un récipient
<b>23.</b> Agent levant	Additif alimentaire ou combinaison d'additifs alimentaires, qui dégage du gaz et, par-là même, augmente le volume d'une pâte
<b>24.</b> Séquestrant	Additif alimentaire limitant la disponibilité des cations
<b>25.</b> Stabilisant	Additif alimentaire qui permet de maintenir une dispersion uniforme de deux ou plusieurs composantes dans un aliment
<b>26.</b> Édulcorant	Additif alimentaire (autre qu'un sucre mono- ou disaccharide), qui confère un goût sucré à l'aliment
<b>27.</b> Épaississant	Additif alimentaire qui augmente la viscosité d'un aliment

#### 4. Les additifs alimentaires de panification.

Les principales classes d'additifs utilisés en panification sont : les oxydants/réducteurs , les émulsifiants , les hydrocolloïdes et les conservateurs . Les doses maximales autorisées peuvent varier selon l'application et d'un pays à l'autre, c'est pourquoi la législation locale doit toujours être consultée. Habituellement, le comité mixte d'experts FAO/OMS sur les additifs alimentaires (JECFA) du codex *alimentarius*, la Food and Drug Administration (FDA) et l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) sont pris comme guides. Le système de numérotation international , créé dans l'Union européenne , attribue des numéros E à tous les additifs alimentaires approuvés , et ceux-ci sont utilisés dans de nombreux pays pour faciliter l'identification .

##### 4.1 oxydants et réducteurs

Des oxydants et des réducteurs sont normalement inclus pour aider au développement du réseau de gluten (Msagati, 2013). Les oxydants améliorent la stabilité et l'élasticité de la pâte, qui devient plus solide en augmentant la montée au four et en rendant le grain de la mie plus fin. Ils agissent sur les protéines de gluten de la farine, les groupes thiol oxydables (-SH), créant des liaisons disulfures supplémentaires (S-S) (De LeynI,2014). Des enzymes oxydantes telles que la glucose-oxydase et l'hexose-oxydase sont maintenant utilisées pour remplacer ou

soutenir l'action des matériaux redox traditionnels (Zhou et *al.*,2014). Les réducteurs ont l'effet inverse, mais peuvent aider à optimiser la formation du réseau de gluten.

#### 4.1.1. Azodicarbonamide

Est un agent oxydant à action rapide. Son action est d'oxyder les groupements thiols libres (-SH) des protéines de la farine et de renforcer la pâte. Cette action est particulièrement efficace pour modifier les propriétés de la pâte des farines de mauvaise qualité, par exemple en améliorant le comportement à la transformation et les propriétés de rétention des gaz. L'azodicarbonamide utilisé au niveau correct augmente le volume du pain et améliore les propriétés de la mie, mais un surdosage diminue le volume du pain (Sahi,2014)

L'azocarbonamide est un agent de maturation utilisé dans les prémélanges de farine, permettant une oxydation immédiate lors de l'ajout d'eau. Il est consommé dans le mélangeur, dans les premières étapes du processus de cuisson. L'azocarbonamide est ajouté à des doses de 10 à 40 ppm (base de farine) (Sahi, 2014).

L'utilisation de l'ADA est interdite dans les pays de l'UE, mais elle est encore utilisée dans d'autres. La principale raison de l'interdiction est la présence d'un produit de réaction, le semicarbazide, qui est présent dans la chapelure et la croûte de pain, ce qui présente un risque pour la santé. L'utilisation d'agents oxydants dépend de la législation, de la qualité de la farine et du processus de production. Dans les pays européens, seul l'acide ascorbique est autorisé (Sahi, 2014).

#### 4.1.2. Aciderbique

L'acide ascorbique est couramment utilisé comme améliorant dans l'industrie de la boulangerie. Dans certains pays, c'est le seul améliorant d'oxydation autorisé. Il a une vitesse de réaction intermédiaire et son effet est très remarqué dans la chambre de pousse. Son principal mécanisme d'action est la réaction sulfhydrique/disulfure, qui joue un rôle important dans les propriétés rhéologiques du système de la boulangerie (Zhou et *al.*, 2014). L'acide ascorbique lui-même est un agent réducteur. Cependant, en présence d'oxygène et d'une enzyme, l'acide ascorbique – oxydase, naturellement présente dans la farine de blé, elle est convertie en sa forme déhydro, qui participe aux réactions d'oxydation, stabilisant le réseau de gluten (Sahi, 2014). Son effet sur le gluten et la pâte est de réduire l'extensibilité et d'augmenter l'élasticité, donnant un meilleur volume, une meilleure forme et une texture plus fine et plus uniforme aux pains finis (Cauvai, 2015). Il est appliqué dans les moules à pain de

50 à 200 ppm (base farine). Certaines plantes et certains fruits ont des niveaux élevés d'acide ascorbique, ce qui présente une opportunité de les utiliser pour répondre aux besoins en acide ascorbique dans les produits de boulangerie. Cela présente l'avantage que la version synthétisée chimiquement porte un numéro E et doit être déclarée sur l'étiquette comme acide ascorbique, vitamine C ou E300, tandis que les produits végétaux ou fruitiers sont déclarés comme ingrédients (Sahi, 2014).

#### 4.1.3. Cystéine

La L-Cystéine est un réducteur ou agent réducteur, à effet inverse des oxydants. C'est un acide aminé qui contient un groupe SH libre dans sa molécule, qui rompt les liaisons disulfure entre les protéines formant le gluten, réduisant ainsi le nombre de liaisons croisées. La pâte résultante est plus molle, moins élastique et plus extensible. 1 - La cystéine utilisée seule ne serait pas bénéfique pour un système de pâte, car elle se traduirait par un pain à faible volume et à structure de mie grossière (Sahi, 2014). Les avantages de l'utilisation de la L-cystéine sont une meilleure usinabilité, un temps de mélange plus court et un temps de fermentation réduit (Sahi, 2014), un processus appelé développement de pâte activée (ADD). Dans ADD, les agents réducteurs convertissent les glutenines de haut poids moléculaire en molécules plus petites lors du mélange. Les agents oxydants supplémentaires ajoutés à la pâte forment à nouveau des molécules plus grosses pendant la levée, rétablissant les caractéristiques de pâte souhaitées pour la fabrication de brisures, la L-cystéine ouvre les liaisons disulfure pendant le mélange (moins d'énergie) tandis que l'acide ascorbique ferme les liaisons restantes. L'oxydant ajouté ne doit pas être fort, sinon la L-cystéine sera oxydée en cystine (consolidant de la pâte) (De Leyn, 2014). Comme la L-cystéine détend la structure du gluten pendant le processus de mélange et améliore le développement de la pâte, lorsque la température de la pâte est un problème, la L-cystéine peut être utilisée pour réduire les besoins en apport de travail, aidant ainsi à contrôler la température finale de la pâte (Cauvain, 2015). Son dosage d'application varie de 50 à 300 ppm (base farine). Des alternatives « naturelles » à la L-cystéine synthétique sont disponibles, à base de levure inactivée. Dans ce cas, l'effet réducteur repose sur un mélange de glutathion et d'enzymes protéolytiques libérées par les cellules de levure désorganisées (Cauvain, 2015).

## 4.2. Émulsifiants

Les émulsifiants sont des additifs couramment utilisés en panification et peuvent être classés selon deux fonctions principales (i) adoucisseurs de miettes ; et (ii) conditionneurs de pâte ou renforçateurs de gluten. Les mono- et diglycérides sont les principaux exemples du premier groupe, tandis que les esters d'acide diacétyltartrique (DATA) des mono- et diglycérides (DATEM) et le polysorbatesont deux exemples importants de le second . Les lactylates peuvent être classés comme ayant les deux fonctions.

Les émulsifiants sont souvent évalués en fonction de leurs propriétés physico-chimiques.

Le concept d'équilibrehydrophile/lipophile (HLB) est le concept le plus largement utilisé, bien que peu répandu dans l'industrie de la boulangerie (Moonen, Bas, 2015).

### 4.2.1. Mono- et diglycérides

Les mono- et diglycérides et leurs dérivés représentent environ 70 % de la production mondiale d'émulsifiants alimentaires dans l'ensemble, la boulangerie est de loin le domaine d'application le plus important Environ 60 % de tous les monoglycérides sont utilisés en boulangerie 40 % dans le pain et 20 % dans les gâteaux et gâteaux (Moonen, Bas, 2015) .

Les mono- et diglycérides sont généralement fabriqués par estérification (glycérolyse) de triglycéridesavec le glycérol, donnant un mélange de mono, di et triglycérides. La dureté d'unmonoglycéride est principalement déterminé par la dureté de la graisse alimentaire à partir de laquelle le mono-glycéride a été produit (Moonen, Bas, 2015). Comme les monoglycérides sont la partie fonctionnelle, une distillation peut être effectuée pour augmenter leur concentration. La teneur en monoglycérides des monoglycérides distillés commercialement est généralement de 90 à 95% (Moonen, Bas, 2015). Deux formes cristallines sont généralement présentes : alpha et bêta. La forme alpha est la plus Type fonctionnel des monoglycérides dans les produits de boulangerie. Les monoglycérides commercialisés pour les applications comprennent les monoglycérides plastiques, hydratés, en poudre et distillés (Orthofer F, 2008)

Les monoglycérides possèdent un caractère lipophile et se voient donc attribuer un faible numéro HLB (3–6). Ils se dissolvent dans l'huile et dans des émulsions eau-dans-huile (e/h) stabilisées pour former Micelles inversées dans l'huile. Toute fonctionnalité des monoglycérides et autres émulsifiants en boulangerie dépend des propriétés de dispersibilité des émulsifiants lors du mélange de la pâte . Les facteurs qui influencent les propriétés de



dispersibilité pendant le pétrissage de la pâte sont un équilibre entre la taille des particules et la dureté ou point de fusion du Monoglycéride (Moonen, Bas, 2015)

Les monoglycérides distillés sont considérés comme des agents anti-rassissement dans les pains, car ils ramollissent la mie du produit la cuisson et conservent ce moelleux pendant le début de la durée de conservation. Ils agissent en se liant à la fraction amylose de l'amidon de blé aux températures élevées typiques de la cuisson. Ce faisant, ils ralentissent la rétrogradation de l'amidon lors du refroidissement et du stockage ultérieur (Cauvain, 2015).

Les monoglycérides distillés ont le plus grand effet sur la douceur par rapport aux autres types des émulsifiants et moins d'effet sur le volume du pain. Le résultat est une mie fine avec une élasticité considérable. Le dosage optimal est de 0,2 % (base farine) (De Leyn, 2014).

#### **4.2.2. Esters d'acide diacétyl tartriques des mono- et diglycérides (DATEM).**

Les DATEM comprennent des dérivés de glycérol estérifiés avec des acides gras comestibles et de l'acide mono- et diacétyltartrique (Gaupp, Adams, 2015), généralement autorisés pour une utilisation dans les denrées alimentaires et comme conditionneurs de pâte pour tous les produits de boulangerie, en particulier les produits à base de levure, tels que le pain blanc. Leur valeur HLB est de 8 à 10. Le dosage optimal se situe entre 0,25 et 0,50 % (base farine) (De Leyn, 2014).

Le DATEM se présente sous la forme d'un liquide visqueux collant, ou avec une consistance comme les graisses, ou les cires jaunes, ou sous forme de flocons ou de poudre. Le DATEM est plus hydrophile que les mono- et diglycérides et ses matières premières (Gaupp, Adams, 2015).

Lorsque la farine utilisée pour la panification contient une quantité inadéquate ou une qualité inférieure à la qualité idéale de protéines, l'inclusion de DATEM aide à la performance de la pâte lors de la fabrication (tolérance de la qualité de la matière première, résistance mécanique, adhérence aux équipements de fabrication, pétrissage et tolérance de fermentation) et donne à la pâte une bonne tenue au four (Cauvain, 2015).

Les émulsifiants ioniques, tels que DATEM, offrent une énorme capacité à la formation des ponts hydrogène avec les groupes amidiques des protéines du gluten (Gaupp, Adams, 2015). Les esters d'acide diacétyltartrique (DATA) se lient rapidement aux protéines de gluten

hydratées et, par conséquent, le réseau de gluten forme devient plus fort, plus extensible et plus résistant, produisant une structure de cellule à gaz uniforme et stable (Cauvain , 2015) .

Les esters DATA améliorent la rétention des gaz lorsqu'ils sont incorporés dans la plupart des pâtes à base de farine de blé levée .

Ils ont un fort effet améliorant sur le volume du pain et la stabilité de la pâte, ce qui génère un aspect plus symétrique pour le pain cuit. Intérieurement, les pains ont une structure cellulaire à gaz plus fine avec des parois cellulaires plus minces, ce qui donne des miettes plus blanches et une texture plus fine et plus uniforme, plus douce et plus résistante (Cauvain, 2015) .

Pour les pains complets et aux céréales, la difficulté majeure est la perturbation du réseau de cellules à gaz par des particules plus grosses, comme le son et les graines. Cela peut être résolu en ajoutant du gluten de blé supplémentaire, utilisant DATEM ( ou esters DATA), ou en utilisant une combinaison des deux (Cauvain , 2015) .

#### **4.2.3. Lactylates : stéaroyl-lactylate de calcium (CSL) (E482) et stéaroyl-lactylate de sodium (SSL)**

Les esters de lactylates sont synthétisés à partir d'acides gras de qualité alimentaire et d'acide lactique comme émulsifiants, l'acide gras représente la partie non polaire et le polymère d'acide lactique ionique représente la partie polaire .(Boutte , Skogerson, 2015) .

Le stéaroyl-lactylate de calcium (CSL) et le stéaroyl-lactylate de sodium (SSL) sont des conditionneurs de pâtes typiques avec des valeurs HLB de 8–10 et 10–12, respectivement les deux sont couramment utilisés dans la fabrication de pain blanc et sont employés comme renforceurs de pâte. Aussi ils agissent comme agents anti-rassissement, aides à l'aération et agents complexants amidon/protéine. Leur dosage optimal est de 0,25 à 0,50 % (à base de farine) (De Leyn , 2014).

En raison de leur degré élevé d'hydrophilie, les sels de lactylate s'hydratent facilement dans l'eau à température ambiante. Les sels de sodium s'hydratent plus rapidement que les sels de calcium , conférant à SSL et CSL différentes fonctionnalités dans les procédés de cuisson courts (Boutte, Skogerson , 2015) .

L'effet fortifiant des lactylates est lié à leur capacité à agréger les protéines, ce qui contribue à la formation du gluten. On pense qu'ils interagissent avec les protéines par : (i) des liaisons hydrophobes entre les régions non polaires des protéines et la fraction acide stéarique

deslactylates ; et (ii) des interactions ioniques entre les résidus d'acides aminés chargés des protéines et la partie carboxylique des lactylates. Dans le cas de la pâte à pain, ces effets se traduisent par une augmentation de la viscosité de la pâte, une meilleure rétention des gaz et un plus grand volume de pain (Boutte , Skogerson , 2015) .

Les effets des lactylates sur les propriétés de manipulation de la pâte et le volume de la pâte levée sont également liés à la complexation des protéines. Au fur et à mesure que la pâte levée est chauffée au début de la phase de cuisson ,Les lactylates sont transférés de la protéine à l'amidon. Le revêtement sur l'amidon de manière significative retarde la gélatinisation de l'amidon, ce qui maintient la faible viscosité et permet une expansion supplémentaire de la pâte au four. La pâte obtenue est plus molle que la pâte non émulsionnée, elle permet un travail mécanique plus abusif sans causer de dommages irréversibles à la structure protéique .CSL et SSL fournissent tous deux de très bons effets de renforcement de la pâte levée à la levure (Boutte, Skogerson , 2015) .

SSL améliore la rétention de gaz dans la pâte, mais est moins efficace que d'autres émulsifiants renforçant la pâte tels que DATEM . Il a également des effets sur le ramollissement des miettes, prolongeant la durée de conservation en se liant à l'amylose, montrant une action similaire aux monoglycérides distillés. Cependant, les boulangers ont tendance à préférer le DATEM comme conditionneur de pâte pour une rétention maximale des gaz et à ajouter des Monoglycérides distillés au niveau souhaité lorsqu'une douceur supplémentaire est nécessaire (Cauvain , 2015) .

SSL peut être remplacé par CSL à des niveaux similaires, avec des effets similaires en panification. Le besoin de réduire le sodium dans les produits de boulangerie, pour des raisons de santé, a suscité un intérêt accru pour le CSL en tant que substitut SSL (Cauvain , 2015) .

#### **4.2.4. Polysorbates**

Les polysorbates sont des dérivés du sorbitol et il font partie d'un groupe d'émulsifiants connus sous le nom d'esters de sorbitan, qui peuvent être encore modifiés en polysorbates (Cottrel , van Peij , 2015) .

La famille de produits Polysorbates fait partie des émulsifiants les plus hydrophiles ou solubles dans l'eau autorisés dans les aliments, en raison de la longue chaîne de polyoxyéthylène, de sorte que l'ajout de petites quantités d'émulsifiants polysorbate à l'eau entraîne initialement une diminution spectaculaire de la tension interfaciale (Cottrel , van Peij , 2015) .

Les qualités uniques de chaque polysorbate sont attribuées aux différents acides gras utilisés dans chaque produit . La longueur de la chaîne d'oxyde d'éthylène est contrôlée à une moyenne de 20 moles et elle ne change pas entre les produits. Le polysorbate d'acide gras à chaîne courte 20 a le HLB le plus élevé à 16,7, suivi par les autres à chaînes plus longues, comme les polysorbates 40, 60, 65, 80 et 85 (Cottrel, van Peij, 2015) .

Les esters de sorbitan et les polysorbates sont des émulsifiants réglementés par les instances dirigeantes. Par exemple , en Amérique du Nord, le marché où ils sont les plus populaires, les applications spécifiques de ces composés dans les aliments sont définies et le niveau d'utilisation est contrôlé. La plupart des polysorbates sont utilisés dans les produits de boulangerie. Dans la plupart des applications de boulangerie, les polysorbates sont utilisés en dessous de 0,3 % (base farine)(Cottrel, van Peij, 2015) .

Les polysorbates sont ajoutés comme renforçateurs de pâte pour améliorer les performances de cuisson. Ils stabilisent la pâte en fin de pousse et en début de cuisson, lorsque les cellules de gonflement sont fortement sollicitées . Leur utilisation permet d'obtenir des pains plus volumineux et une structure de mie fine et homogène(Cottrel , van Peij , 2015)

Indépendamment de ses bons effets en panification, et du fait que les formes polymérisées de l'oxyde d'éthylène utilisé dans les polysorbates se sont révélées sûres , l'oxyde d'éthylène libre n'ayant pas réagi a été classé comme « cancérigène pour l'homme (catégorie 1) » par l'Agence internationale de recherche sur le cancer, et donc, le comité scientifique de l'alimentation de la Commission européenne sont concernés par ces impuretés. Ainsi, même si le risque potentiel d'impuretés dans les polysorbates est faible, un fabricant alimentaire responsable doit être conscient de ces préoccupations. Les producteurs alimentaires seraient prudent de s'approvisionner en polysorbates auprès d'un fournisseur réputé (Cottrel , van Peij, 2015) .

### **4.3.Hydrocolloïdes**

Les hydrocolloïdes sont largement utilisés dans l'industrie alimentaire, car ils modifient la rhéologie et la texture des systèmes aqueux. Ces additifs jouent un rôle très important dans les aliments, car ils agissent comme stabilisants, épaississants et gélifiants, affectant la stabilisation des émulsions, et mousses, et modifiant la gélatinisation de l'amidon(De Leyn , 2014) .

Pendant la cuisson, la gélatinisation de l'amidon et la coagulation des protéines ont lieu et la structure aérée obtenue lors de la levée se fixe, formant la mie de pain. Il a été indiqué que le gonflement des granulés peut être réduit par la présence d'hydrocolloïdes (en particulier à des concentrations élevées), qui peuvent interagir avec les molécules lessivées des granulés d'amidon, conduisant à un effet raidissant. Ainsi, du fait de ces interactions, la structure et la texture de la mie sont positivement influencées par la présence de gommes (Ferrero, 2016).

En boulangerie, les hydrocolloïdes sont très importants en tant qu'améliorants de panification, car ils améliorent les propriétés de manipulation de la pâte, améliorent la qualité du pain frais et prolongent la durée de conservation du pain stocké. Ils doivent être utilisés en petites quantités (<1% de farine) et devraient augmenter la rétention d'eau et le volume du pain, tout en diminuant la fermeté et la rétrogradation de l'amidon (De Leyn, 2014).

Les polysaccharides tels que la carboxyméthylcellulose, la gomme de guar et la gomme dexanthane sont utilisés comme stabilisants dans les produits de boulangerie notamment.

#### **4.3.1. Gomme xanthane**

La gomme xanthane est un polysaccharide anionique utilisé pour modifier les propriétés rhéologiques des produits alimentaires (Msagati, 2013). Il est produit industriellement à partir de sources carbonées par fermentation par la bactérie à Gram négatif *Xanthomonas campestris* (Habibi, Khosravi-Darani, 2017). Le plan structurel, il s'agit d'un polymère à squelette de D-glucose. Les chaînes latérales trisaccharidiques formées par l'acide glucuronique pris en sandwich entre deux unités de mannose sont liées à un glucose sur deux de la chaîne polymère principale. Les groupes carboxyle de la gomme xanthane peuvent s'ioniser en créant des charges négatives, augmentant la viscosité de la solution dans l'eau (Msagati, 2013).

La gomme xanthane se disperse facilement dans l'eau froide et chaude, produisant rapidement des solutions visqueuses. Ces solutions sont stables à l'acide, au sel et aux conditions de traitement à haute température, et présentent une bonne efficacité à des faibles concentrations autour de 0,1% (base farine). Aussi, les produits qui contiennent cette gomme ont une fluidité, une bonne sensation en bouche et une bonne adhérence. Ces avantages font de la gomme xanthane un épaississant, stabilisant et agent de suspension approprié dans de nombreux aliments (Habibi, Khosravi-Darani, 2017). Dans les produits de boulangerie, il améliore la stabilité de la pâte de blé lors de la levée. En outre, il a la capacité d'augmenter la stabilité de la pâte lors des cycles de congélation-décongélation en pâte congelée (De Leyn, 2014).

### 4.3.2. Gomme de guar

La gomme de guar est constituée de la poudre d'endosperme des graines de *Cymopsistetragonolobus*, une légumineuse. L'endosperme contient un polysaccharide complexe, un galactomannane, qui est un polymère de D-galactose et de D-mannose. Ce polymère riche en groupes hydroxyle forme des liaisons hydrogène avec l'eau, conférant une viscosité et un épaississement significatifs à la solution. Grâce à ses propriétés épaississantes, émulsifiantes, liantes et gélifiantes, solubilité rapide dans l'eau froide, grande stabilité de pH, pouvoir filmogène et biodégradabilité, la gomme de guar trouve des applications dans un grand nombre d'industries, y compris l'industrie de la boulangerie à hauteur de 0,5% (base farine) dans le pain, il améliore à la fois moelleux et volume du pain. Il est également utilisé pour augmenter le rendement de la pâte dans les produits de boulangerie (Thombare *et al.*, 2016).

### 4.3.3. Carboxyméthylcellulose (CMC)

La carboxyméthylcellulose (CMC) est un dérivé de la cellulose, également appelée gomme de cellulose. Il trouve des applications dans l'industrie alimentaire en tant que stabilisant et épaississant alimentaire. Il contient des groupes carboxy méthyle ( $-\text{CH}_2\text{COOH}$ ) attachés aux groupes  $-\text{OH}$  dans les monomères de glucopyranose formant un squelette de gomme carboxyméthyle. Ce polysaccharide anionique est souvent utilisé comme additif alimentaire sous sa forme sel de sodium (carboxyméthylcellulose sodique). Dans le carboxyméthyl-Cellulose sodique, certains des groupes carboxyle ont été remplacés par des groupes carboxylate de sodium. Le Degré de substitution par les ions sodium, la longueur de chaîne du squelette cellulosique et le regroupement des substituants carboxyméthyle déterminent la fonctionnalité CMC (Msagati, 2013).

La CMC a un effet combiné avec des enzymes et des émulsifiants sur les propriétés texturales de la pâte et pain frais. Par exemple, le CMC contribue à produire un volume élevé et à retarder le rassissement. La CMC et la gomme de guar se sont révélées bénéfiques dans la formulation de pains sans gluten (De Leyn, 2014).

#### 4.4. Conservateurs

Les conservateurs sont destinés à inhiber la croissance des moisissures et des bactéries thermophiles. Les conservateurs dont l'utilisation est autorisée dans le pain sont généralement limités par la législation (Cauvain , 2015). Les acides Propionique, sorbique et benzoïque (E280, E202 et E210, respectivement) sont parmi les conservateurs alimentaires les plus couramment utilisés. moules propioniques et spores de bacille, mais pas des levures dans la même mesure et ont donc été le choix traditionnel de la préservation du pain (Suhr, Nielsen, 2004) .

Les conservateurs sont souvent ajoutés sous leur forme saline, qui est plus soluble dans les solutions aqueuses .

Leur efficacité dépend du pH du système auquel ils sont ajoutés, car l'acide dissocié altère l'effet antimicrobien . Les valeurs de pKa (pH auquel se produit la dissociation) de l'acide propionique et de l'acide sorbique sont respectivement de 4,88 et 4,76. Le pH maximal pour leur activité est d'environ 6,0–6,5 et 5,0–5,5 pour le sorbate et le propionate, respectivement. À pH 6, seulement 7% de l'acide propionique sera non dissocié, contre 71 % à pH 4,5 (Suhr, Nielsen, 2004) .

##### 4.4.1. Propionates

Les sels de sodium, de potassium et de calcium de l'acide propionique sont utilisés comme conservateurs du pain dans de nombreux pays. Ces conservateurs ont deux fonctions : (i) retarder le rythme de développement des moisissures ; et (ii) pour prévenir l'altération bactérienne du pain connue sous le nom de « corde » causée par certains *Bacillus* spp . notamment *B. subtilis* et *B. licheniformis*. Le propionate de calcium (E282) est plus largement utilisé que l'acide propionique, car il est plus facile à manipuler le sel solide que l'acide liquide corrosif (Legan, 1993) . Son dosage régulier est d'environ 0,3% (base farine) .

Bien qu'efficace pour retarder les moisissures et empêcher la détérioration de la « corde », il existe certains inconvénients pratiques associés à l'utilisation du propionate de calcium, parmi lesquels l'effet sur le volume du pain . Une diminution du volume du pain est causée par la combinaison d'une activité réduite de la levure et d'une rhéologie altérée de la pâte (Legan, 1993).

En ce qui concerne l'acide propionique, des apports alimentaire élevés ont été associés à une Acidémiepropionique chez les enfants. Les complications de cette maladie peuvent inclure des troubles d'apprentissage, des convulsions, Arythmies, symptômes gastro-intestinaux, infections récurrentes et bien d'autres (Samapundo et *al.*, 2016) .

#### 4.4.2. Sorbates

Les sorbates sont plus efficaces pour inhiber la croissance des moisissures que les propionates en poids (Samapundo et *al.*, 2016) .

Cependant, l'acide sorbique et ses sels ont moins de valeur dans le pain et les produits à base de levure, en raison de leurs effets néfastes sur les caractéristiques de la pâte et du pain. Ils peuvent produire des pâtes collantes qui sont difficiles à manipuler ; et les produits de boulangerie peuvent avoir un volume réduit et une structure cellulaire irrégulière. L'utilisation d'acide sorbique encapsulé est une alternative pour pallier ces effets négatifs. De plus, l'acide sorbique ou ses sels peuvent être pulvérisés à la surface des pains après la cuisson (Suhr, Nielsen, 2004) . Dans la pâte, son dosage est d'environ 0,1% (base farine).

#### 4.4.3. Acétates

L'acide acétique sous forme de vinaigre est utilisé depuis de nombreuses années par les boulangers pour prévenir la détérioration bactérienne du pain connue sous le nom de « corde » et pour augmenter la durée de conservation sans moisissure. Il donne aux produits un attrait plus « naturel » et est efficace contre la « corde » à des concentrations équivalentes à 0,1–0,2 % d'acide acétique (à base de farine). Cependant, à de telles concentrations, son effet contre les moisissures est limité. Des concentrations significativement plus élevées conduisent à une odeur inacceptable de vinaigre dans le

Pain (Legan, 1993) .



#### 4.4.4. Fermentats

Un nombre croissant d'agents de conservation naturels sont commercialisés sous le nom de « clean label » ou « label friendly »

Des solutions de prolongation de la durée de conservation conviviales pour l'industrie de la boulangerie. Parmi ceux-ci figurent les fermentats, qui sont des ingrédients alimentaires produits par la fermentation d'une variété de matières premières par des micro-organismes de qualité alimentaire. Ces micro-organismes comprennent les bactéries lactiques ou les bactéries propioniques qui produisent des acides organiques faibles avec un effet conservateur. Cependant, il a été rapporté que les conservateurs à base d'acide organiques faible n'avaient aucun effet sur la durée de conservation des produits de boulangerie avec des valeurs de pH proches de 7 (Samapundo et *al.*, 2016) .

Les conservateurs inhibent la détérioration microbienne, mais ne détruisent pas les micro-organismes. Il est donc important de traiter les produits de boulangerie conformément aux bonnes pratiques de fabrication (BPF), y compris l'utilisation de matières premières de bonne qualité et de systèmes d'hygiène appropriés correctement surveillé(Cauvain, 2015) .

### 5 . Les enzymes de panification

Les enzymes, également appelées biocatalyseurs, sont des protéines aux propriétés particulières. Ils sont capables de catalyser les réactions chimiques à faibles besoins énergétiques sans être consommé par ces réactions ;et les effets qui en résultent modifient la structure et/ou les propriétés physico-chimiques d'environnement. Chaque type d'enzyme a son propre substrat spécifique sur lequel elle agit, ce qui permet un excellent contrôle du processus pour une utilisation en panification. Comme les enzymes utilisées ne sont pas actives dans les produits finis, une fois dénaturées au four, elles sont classées comme

« Auxiliaires technologique », et n'ont pas besoin d'être incluses dans la liste des ingrédients sur les étiquettes des produits, conformément aux exigences de la législation dans de nombreux pays. Le numéro de la Commission des Enzymes (CE) pour chaque enzyme mentionnée est présentée dans ce chapitre. Il s'agit d'une classification numérique internationale des enzymes, où les critères de classification sont les réactions chimiques que chaque enzyme catalyse .

Pour une compréhension logique, nous avons classé les enzymes alimentaires utilisées en boulangerie selon le substrat sur lequel chacune agit , comme suit.

### 5.1. Substrat : polysaccharides

Le principal polysaccharide présent dans la farine de blé est l'amidon, qui se présente sous forme de granules composés de deux fractions. Une fraction est l'amylose (25-28%), la fraction linéaire, composée de molécules de glucose liées par des liaisons  $\alpha$ -1,4 ; et l'autre fraction est amylopec-d'étain (72-75%) qui est une fraction ramifiée. L'amylopectine est également un polymère de glucose formé par des liaisons  $\alpha$ -1,4 et les ramifications sont liées au squelette linéaire par des liaisons  $\alpha$ -1,6. Lors du processus de mouture, certains granules d'amidon sont endommagés et il est nécessaire d'avoir entre 7 et 11% de cet amidon endommagé dans la farine de blé, une fois qu'il est le substrat de l'action de l' $\alpha$ -amylase (Geosaert, 2006 ; Stauffer, 1990).

#### 5.1.1. $\alpha$ -amylase fongique (EC 3.2.1.1)

Ce type d'endoamylase hydrolyse de manière aléatoire les liaisons  $\alpha$ -1,4 des granules d'amidon endommagés de farine de blé, générant des dextrines et des oligosaccharides de faible poids moléculaire et (maltose, Maltotriose, etc...). Chaque dextrine générée a sa propre extrémité non réductrice. Par la suite, La  $\beta$ -amylase endogène de la farine de blé hydrolyse les dextrines générées en maltoses, qui seront hydrolysées en glucose par l'enzyme maltase produite par la levure malto (Goesaert, 2006 ; Stauffer, 1990).

La plage de pH d'activité maximale de l' $\alpha$ -amylase fongique varie de 5 à 6 et correspond au pH de la plupart des pâtes à pain (Stauffer, 1990). Les  $\alpha$ -amylases fongiques sont principalement dénaturées par la chaleur avant que la plage de température de gélatinisation de l'amidon ne soit atteinte. Ce fait explique pourquoi il est nécessaire que l'amidon endommagé soit hydrolysé par cette enzyme : c'est un substrat plus facilement dégradé que les granules d'amidon natif. Le risque de suraction de l' $\alpha$ -amylase fongique est moindre en raison de sa plus faible thermostabilité (Geosaert *et al.*, 2006).

L'utilisation combinée d' $\alpha$ -amylase fongique avec de la  $\beta$ -amylase endogène produit des niveaux plus élevés de maltose, stimulant la fermentation des levures. Par conséquent, une grande production de gaz plus améliorant le volume de pain qui se produit (Stauffer, 1990).

L' $\alpha$ -amylase endogène est présente dans le blé non germé, mais son activité varie et peut être mesurée indirectement par l'indice de chute (IC). Son activité est faible dans le blé non germé, fournissant des résultats IC élevés. Au contraire, dans le blé germé, son activité est

élevée, provoquant résultats IC faibles, et cette situation peut être un désastre pour la panification. Il faut donc standardiser la farine avec l' $\alpha$ -amylase fongique pour garantir les mêmes bons résultats en boulangerie en termes de volume du pain, croûte, couleur et qualité générale du pain (Geosaert *et al.*, 2006).

L' $\alpha$ -Amylase contribue également à une meilleure texture de la mie. Une fois qu'il dégrade l'amidon endommagé, la consistance de la pâte diminue et l'usinabilité est améliorée (Goesaert *et al.*, 2006 ; Stauffer, 1990).

Une autre contribution importante de l' $\alpha$ -amylase fongique pour la panification est que les sucres réducteurs générés lors du mélange et de la fermentation participeront à la réaction de Maillard (combinaison des sucres réducteurs de bas poids moléculaire avec des protéines à haute température). La réaction de Maillard est responsable du brunissement non enzymatique de la croûte du pain et de la génération des caractéristiques du pain, y compris l'arôme et la saveur (Goesaert *et al.*, 2006; Stauffer, 1990).

Les amylases permettent également au ressort de four de se produire pendant une période prolongée. Le volume du pain est augmenté une fois qu'ils évitent l'augmentation rapide de la viscosité pendant la gélatinisation de l'amidon (Geosaert *et al.*, 2006).

### 5.1.2. $\beta$ -amylase (EC 3.2.1.2)

Cette enzyme endogène est présente dans le blé mûr non germé et n'hydrolyse que les granules d'amidon endommagés (Geosaert *et al.*, 2006).

En panification, cette exo-amylase agit séquentiellement à partir des extrémités non réductrices des fractions amyloacées (amylose et amylopectine) ou des dextrines, hydrolyse les liaisons A-1,4 et libère des maltoses et des dextrines  $\beta$ -limites. Les maltoses générés serviront de substrat à la fermentation des levures après action de la maltase, améliorant le pouvoir gazeux de la pâte (Sluimer, 2005). L'action de la  $\beta$ -amylase cesse une molécule de glucose avant une liaison  $\alpha$ -1,6 de l'amylopectine. La liaison  $\alpha$ -1,6 est le point de ramification de (Stauffer *et al.*, 1990). Cet effet contribue également à réduire la fermeté du pain. Les maltoses générés qui ne sont pas consommés par la levure contribuent à la couleur de la croûte (Sluimer, 2005).

### 5.1.3. Amylase bactérienne

Cette enzyme hydrolyse l'amidon plus agressivement que l' $\alpha$ -amylase fongique. Cet effet est dû à son efficacité à agir sur les régions amorphes des granules d'amidon, générant une dextrinisation excessive. avec une diminution excessive de la viscosité de la pâte, produisant une mie à texture ouverte (Stauffer, 1990) .

L'amylase bactérienne donne une mie plus molle, malgré une teneur en amidon recristallisé plus importante par rapport à un témoin . Cependant, le caractère collant a été vérifié dans la chapelure traitée avec cette enzyme. Cet effet se produit par une plus grande thermostabilité de l'amylase bactérienne , qui conserve sa capacité à hydrolyser l'amidon gélatinisé à l'intérieur du four, lorsque l' $\alpha$ -amylase fongique est déjà dénaturé, et son action peut se poursuivre pendant le stockage (Goesaert *et al.*, 2006 ; Stauffer, 1990 )

Il a été prouvé que l'amylase bactérienne était efficace pour prolonger la durée de conservation du pain. Cependant, un petit le surdosage provoque une modification importante et indésirable de la texture (Stauffer , 1990) .

### 5.1.4. $\alpha$ -amylase maltogène bactérienne (EC 3.2.1.133)

L' $\alpha$ -amylase maltogène bactérienne est obtenue à partir de *Bacillus stearothermophilus* génétiquement modifié.

Cette enzyme hydrolyse les liaisons  $\alpha$ -1,4 des molécules d'amidongélatinisées externes facilement accessibles, dans les fractions d'amylose et d'amylopectine, produisant de l' $\alpha$ -maltose et d'autres malto-Oligosaccharides (Whitehurst, Law, 2002), diminuant la vitesse de rassissement du pain. Les branches d'amylopectinehydrolysées se projettent dans les espaces intergranulaires gênant leur réorganisation, évitant la cristallisation et/ou les interactions amylose-amylopectine, fournissant une structure d'amidon plus faible et moins ferme, donnant un pain plus moelleux ( Geosaert *et al.*, 2006) .

Cette exo-enzyme est incapable d'hydrolyser les liaisons  $\alpha$ -1,6, elle arrête donc son action à une molécule de glucose avant la ramification de l'amidon. En outre, il existe des preuves d'endo-activité, illustrées par l'hydrolyse de l'amylose et de la dextrine  $\beta$ -limite. Les oligosaccharide ramifiés de poids moléculaire inférieur résultant de l'action de l' $\alpha$ -amylase maltogénique sur l'amylopectine, le maltotriose et/ou le maltot-Etralose, agissent comme

agents anti-raffermissants dans les produits de boulangerie (Goesaert et *al.*, 2006 ; Stauffer, 1990) .

Selon Gérard et al.(Gerrard*et al.*, 1997) . l'utilisation de l' $\alpha$ -amylase maltogène n'a pas affecté les propriétés rhéologiques de la pâte à pain en raison de sa faible activité aux températures de pétrissage (inférieures à 35°C).Son activité plus élevée est observée aux températures de gélatinisation de l'amidon lors de l'étape de cuisson, ce qui est suffisant pour l'hydrolyse des liaisons glycosidiques de l'amidon gélatinisé par cette enzyme.

L'inactivation de cette enzyme par des températures élevées se produit pendant le temps de cuisson l'hydrolyse de l'amidon produit une quantité limitée de dextrines solubles.

Les maltodextrines produites inhibent les interactions amidon-amidon et amidon-protéine ce qui retarde la réassociation et la rétrogradation de l'amylopectine, ce qui ralentit le processus de raffermissement de la mie. Cet effet est connu sous le nom d'anti-rassissement ( Geosaert et *al.*, 2006) .

#### **5.1.5. Amyloglucosidase ou glucoamylase (EC 3.2.1.3)**

Cette exo-amylase libère directement les molécules d' $\alpha$ -glucose des granules d'amidon natifs ou endommagés. Augmentant le taux de production de sucres fermentescibles dans la pâte, améliorant le taux de fermentation des levures ( Geosaert*et al.*, 2006) .Le niveau de sucres ajouté peut être réduit en utilisant l'amyloglucosidase, et la couleur de la croûte peut être améliorée, car l'activité enzymatique demeure après l'inactivation de la levure. Comme le glucose continue à être généré et n'est plus consommé par la levure, le glucose restant dans la pâte pendant la cuisson contribue au brunissement de la croûte et également à une augmentation de la douceur du pain ( Geosaert et *al.*, 2006) .

Cette enzyme a une action limitée sur les liaisons  $\alpha$ -1,6, supplantant les chaînes latérales. Cependant, certaines théories affirment que l'amyloglucosidase convertit complètement les molécules d'amidon en glucose ( Geosaert*et al.*, 2006) .

## 5.2. Substrat : protéines

Les protéines sont composées de séquences d'acides aminés liés par des liaisons peptidiques.

Les principales protéines de la farine de blé sont la gliadine (une prolamine) et la gluténine (une glutéline), qui forment, dans la présence d'eau et d'énergie mécanique, un réseau protéique cohésif appelé gluten. Cette structure est très importante pour la panification. Il possède des propriétés viscoélastiques particulières (extensibilité et élasticité) qui permettent à la pâte de s'écouler. En même temps, il est capable de retenir le CO<sub>2</sub> généré par la levure lors de l'étape de fermentation ( Geosaert et *al.*, 2006) .

### 5.2.1. Glucose-oxydase (EC 1.1.3.4)

La glucose-oxydase convertit le glucose (issu de l'hydrolyse de l'amidon) et l'oxygène (présent à l'intérieur de la Pâte) en gluconolactone et peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) .

La gluconolactone est naturelle et se transforme spontanément en acide gluconique. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxyde facilement les groupes thiol libres (—SH) des protéines de pâte de farine de blé, favorisant la formation de liaisons disulfures (S—S) entre la gliadine et/ou gluténine, qui renforcent le réseau de gluten. Ainsi, cette enzyme est très importante pour la panification ( Geosaert *et al.*, 2006) .

L'effet de réticulation des protéines est responsable du renforcement du réseau de gluten, qui contribue une meilleure structure de la mie et à l'amélioration du volume du pain . Néanmoins, des dosages élevés de glucose-oxydase produisent une rigidité excessive de la pâte réduisant la machinabilité, et doivent être évités (Sluimer , 2005) .

### 5.2.2. Hexose-oxydase (EC 1.1.3.5)

Ce type d'oxydoréductase a des effets similaires à ceux de la glucose-oxydase. Cependant, la plus souvent , ses substrats sont des mono et oligosaccharides, autres que le glucose. Les lactones correspondantes sont obtenues et le H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> généré agit exactement de la même manière que dans le cas de glucose-oxydase comme décrit dans la section 2.2.1, produisant des effets similaires en panification( Geosaert et *al.*, 2006) .

### 5.2.3. Transglutaminase (EC 2.3.2.13)

Ce type d'acyl transférase favorise la réaction entre les amines, telles que celles présentées par le  $\gamma$ -carboxamide de la l-glutamine avec le groupe  $\varepsilon$ -amino de la l-lysine. Cette enzyme catalyse la formation de liaisons croisées covalentes entre les protéines ayant ces résidus d'acides aminés. Il confère un effet de renforcement supplémentaire au réseau de glutineux constitué de liaisons disulfures . Le résultat est la formation de polymères de gluten plus gros et insolubles qui affectent non seulement les caractéristiques biochimiques de la pâte, mais aussi ses propriétés rhéologiques (Autio*et al.*,2005) .

Un tel effet permet de remplacer l'utilisation d'oxydants et même d'émulsifiants chimiques dans les formulations boulangères . Ainsi , la transglutaminase est parfois recommandée dans la production de pain riche en fibres et le pain de seigle . Les produits de boulangerie sans gluten constituent également un champ d'action prometteur, car l'utilisation de la transglutaminase améliore la formation du réseau protéique en panification ( Geosaert*et al.*,2006) .

Cette enzyme augmente l'absorption d'eau des pâtes à base de farine de blé, provoque la résistance de la pâte , améliore la stabilité de la pâte, réduit l'extensibilité de la pâte, améliore la texture de la mie et le volume du pain ( Geosaert *et al.*, 2006) .

La transglutaminase est recommandée pour renforcer les réseaux protéiques faibles, mais aussi pour améliorer la stabilité au gel et au dégel des pâtes surgelées, comme les croissants surgelés et les pâtes feuilletées surgelés ,car elle diminue leur détérioration pendant le stockage congelé ( Geosaert *et al.*, 2006) .

### 5.2.4. Protéase

Les protéines présentes dans les pâtes à pain sont des substrats pour les protéases, qui hydrolysent les liaisons peptidiques de manière irréversible, afin de réduire le temps de pétrissage des pâtes à pain, ou de réduire la résistance des pâtes à biscuits , améliorant leur usinabilité (Sluimer, 2005) . Les ponts disulfure du gluten ne sont pas affectés par les protéases et restent donc intacts. L'extension des effets de la protéase dépend de la quantité d'enzyme ajoutée et la période de temps laquelle elle est autorisée à agir avant son inactivation par les températures du four ou les changements de pH. Les principaux résultats de l'action de la protéase sont : (i) l'augmentation de l'hydrosolubilité des protéines ; (ii)

diminution de la viscosité de la pâte ; (iii) diminution de la masse moléculaire moyenne des fractions protéiques ; et, par conséquent, (iv) diminution de l'élasticité du complexe de gluten ( Geosaert et *al.*, 2006 ; Stauffer, 1990).

Les protéases neutres ou sulfhydryl ont été utilisées plus efficacement en raison de leur gamme de pH active (de 5 à 8), qui s'adapte au pH de la plupart des pains et pâtes à biscuits. Presque toutes les protéases fongiques d'*Aspergillus oryzae* sont de type neutre, tandis que les protéases végétales, comme la papaine et la bromélaïne, sont de type sulfhydryle (Stauffer, 1990) .

Pour les longs temps de fermentation, comme dans la production de craquelins salés, la pâte peut atteindre un pH de 4 ou inférieure, et dans ce cas, la protéase acide est mieux utilisée. Sinon, dans la production de biscuit de soda cracker, la pâte monte jusqu'à la région alcaline après addition de soude, ce qui rend la sérine protéase (trypsine) plus efficace pour la dégradation du gluten. Ce type de protéase est extrait principalement de sources bactériennes telles que *Bacillus subtilis* (Stauffer, 1990)

Des niveaux élevés de protéase provoquent un tel affaiblissement du réseau de gluten qui produit la texture grossière souhaitée pour les muffins anglais, ou favorise l'écoulement de la pâte à biscuits dans le four. Cependant, il faut veiller à éviter une protéolyse excessive dans les pâtes à pain, car les faibles réseaux de gluten génèrent une texture grossière indésirable et un faible volume de pain (Stauffer, 1990) .

Dans le procédé à la génoise, il est habituel d'ajouter de petites quantités de protéase au début du mélange permettant son action sur le réseau de gluten lors de la fermentation de l'éponge. A l'état frais la farine est incorporée à la génoise, la farine nouvellement ajoutée est mal hydrolysée lors du pétrissage de la pâte. Ce mélange de gluten hydrolysé et presque non hydrolysé génère une bonne pâte lisse dans le pétrin qui permet de diminuer le temps de pétrissage (Stauffer, 1990) .

Il est utile d'ajouter de petites quantités de protéase dans le processus de la pâte droite pour le pain pané, pour éviter les pâtes serrées qui donnent un remplissage incomplet du moule, ou pour éviter les cassures indésirables. De même, dans la production de pains à hamburger et à hot-dog, la pâte doit s'écouler pour remplir les moules pendant le court temps de fermentation. L'ajout de petites quantités de protéase dans le mélangeur améliorent l'écoulement de la pâte et améliorent la forme et la symétrie du pain (Stauffer, 1990) .



Dans la production de pâte à pizza, le travail de maquillage pour étaler et arrondir la pâte en une fine couche devient plus facile grâce à l'ajout de petites quantités de protéase pendant le mélange. Dans ce cas, l'enzyme est capable d'agir pendant le temps de pousse, réduisant de manière adéquate la force du réseau de gluten, en évitant la contraction de la pâte lors du laminage et en préservant le ressort du four désiré (Stauffer, 1990).

Les acides aminés libérés par l'action protéolytique réagissent avec les sucres réducteurs à haute température dans la réaction dite de Maillard, améliorant la couleur et la saveur des pains et biscuits (Geosaert *et al.*, 2006).

### 5.3. Substrat : lipides

Les lipides de la farine de blé sont composés de niveaux élevés d'acide linoléique (C18 :2) et de niveaux inférieurs d'acides palmitique (C16 :0) et oléique (C18 :1). Ces acides gras peuvent se présenter sous forme libre ou liés à l'amidon et aux protéines. Les lipides de l'amidon, principalement les lysophospholipides, forment des complexes avec l'amylose lors de la gélatinisation et ont peu d'importance pour la panification (Geosaert *et al.*, 2006).

Les lipides non amyliques (NSL) (75 % des lipides totaux de la farine de blé) sont divisés 1 :1 en lipides polaires et non polaires. La plupart des lipides non amyliques liés sont composés de triacylglycérols (non polaires). Les lipides non amyliques libres sont principalement composés de glycolipides et de phospholipides ; les deux sont des molécules polaires contribuant positivement aux propriétés de manipulation de la pâte. Ils ont un grand effet sur le volume du pain, en raison de leur effet sur la stabilité des cellules à gaz, car ils peuvent former de fines monocouches lipidiques à l'intérieur des cellules à gaz qui améliorent la rétention de CO<sub>2</sub> par la pâte (Geosaert *et al.*, 2006).

#### 5.3.1. Phospholipase (EC 3.1.4.3)

Les phospholipases sont un type particulier de lipase avec une spécificité plus élevée envers les phospholipides (fraction polaire), qui les convertit en lipides avec une polarité et une activité de surface encore plus élevée (Almeida, Chang, 2012). Ceux-ci agissent comme des émulsifiants de renforcement de la pâte, avec des propriétés de stabilisation de la pâte. Avec l'utilisation de phospholipases, les émulsifiants traditionnels comme le DATEM, CSL et SSL

peuvent être Totalement ou partiellement substitués en panification avec des résultats similaires (Almeida, Chang, 2012) .

Les phospholipase améliorent également l'usinabilité de la pâte, car le caractère collant est réduit et le volume du pain augmente considérablement .

### **5.3.2. Glycolipase (E.C. 3.1.1.26)**

Les glycolipases sont un type particulier de lipase avec une grande spécificité envers les glycolipides (fraction polaire ), qui, comme la phospholipase, les transforme en émulsifiants. Ayant des effets similaires en panification à ceux des phospholipases, ces enzymes augmentent la stabilité de la pâte . Cet effet est possible une fois que les lipides tensioactifs générés maintiennent des structuresde cellules gazeuses stables, en raison de l'interaction des lipides polaires avec les protéines au niveau des lamelles liquides qui entourent les cellules gazeuses(Almeida, Chang , 2012) .

### **5.3.3. Lipase (CE 3.1.1.3)**

Ce type d'enzyme est classé comme hydrolase d'ester de glycérol en raison de sa capacité à hydrolyser les liaisons ester d'acylglycérol, libérant de préférence les acides gras aux positions -1 et -3 de la structure du glycérol . Les produits formés comprennent des résidus de mono- et de diacylglycérol, qui agissent comme émulsifiants ramollissant la mie en panification. Cet effet est dû à la capacité des acylglycérolsà pénétrer la structure hélicoïdale de l'amylose formant des complexes amylose-lipides , retardant la rétrogradation de l'amylose, augmentant le volume du pain et offrant une meilleure structure et texture de la mie( Geosaert*et al.*, 2006) .

### **5.3.4. Lipoxygénase (EC 1.13.11.12)**

Les substrats de la lipoxygénase sont des acides gras polyinsaturés, tels que les linoacides (C18 :2) et linoléique (C18 :3) et le  $\beta$ -carotène et les chlorophylles de la farine de blé( Geosaert et *al.*, 2006 ;Sluimer, 2005).

Cette enzyme, présente dans la farine de soja à activité enzymatique, oxyde les pigments endogènes de la farine de blé, procurant un effet blanchissant, résultant en une mie plus blanche. De plus, le renforcement de la pâte se produit pendant la panification (Stauffer, 1990). Les groupements thiols ( $-SH$ ) accessibles des protéines de la farine de blé sont oxydés par les hydroxyperoxydes générés par l'action de la lipoxygénase sur les acides gras. Cette oxydation provoque la formation de liaisons disulfure intermoléculaires entre les protéines de gluten, augmentant la tolérance au mélange, améliorant l'usinabilité de la pâte, améliorant les propriétés rhéologiques pour la panification, augmentant le volume du pain et améliorant la texture interne. Néanmoins, des doses élevées de lipoxygénase produisent des saveurs indésirables dans les pains, dues à la décomposition des hydroxyperoxydes d'acides gras générés par l'action de la lipoxygénase, et doivent être évitées (Geosaert et al., 2006).

#### 5.4. Substrat : polysaccharides non amylacés (NSPS)

Il existe plusieurs polysaccharides non amylacés (NSPS) dans la farine de blé : les pentosanes, les  $\beta$ -glucanes et la cellulose, tous classés comme constituants des fibres alimentaires (Geosaert et al., 2006). Les pentosanes sont les NSPS les plus importants en raison de leur grande capacité d'absorption d'eau, malgré leur faible teneur (2–3%) dans la farine de blé.

Environ 50% des pentosanes sont solubles dans l'eau et 50% insolubles. Environ 75 % des pentosanes sont des Xylanes, et près de 25 % sont des galactanes. En raison de leur forte hydrophilie, les pentosanes affectent la viscosité de la pâte, et par conséquent, le volume du pain (Stauffer, 1990).

Les xylanes sont des polymères de xylose liés par des liaisons  $\beta$ -1,4. Ils peuvent avoir des molécules d'arabinose liées au squelette xylane par des liaisons  $\beta$ -1,3 ; on les appelle alors arabinoxylanes (AXs). Certains âges de liaisons peuvent être  $\beta$ -1,2, principalement dans les arabinoxylanes insolubles ou non extractibles dans l'eau (WU-AX). Les arabinoxylanes solubles ou extractibles à l'eau (WE-AX) présentent un rapport xylose : arabinose de 3 : 1, tandis que les WU-AX ont une plus grande proportion d'arabinose (Stauffer, 1990).

Les AX sont les principaux NSPS qui constituent les parois cellulaires de l'endosperme du blé et en solution fournissent des viscosités élevées, qui dépendent de la longueur des molécules d'AXs. Les WE-AX et les WU-AX ont une grande capacité de rétention d'eau, ce qui en

panification augmente la consistance, la rigidité et la résistance à l'extension de la pâte, tout en diminuant le temps de pétrissage et l'extensibilité de la pâte (Geosaert *et al.*, 2006)

Les WE-AX sont faiblement liés aux parois cellulaires de l'endosperme du blé et ont des propriétés gélifiantes dans la présence d'oxydants (Almeida, Chang, 2012). Les principaux composants responsables de l'augmentation de la viscosité des suspensions de farine sont les WE-AX, et cette capacité stabilise les films protéiques au cours de l'élévation de température (Geosaert *et al.*, 2006). Selon Wang *et al.*, les WE-AX sont considérés comme bénéfiques pour la qualité du pain.

Les WU-AX sont des composants structuraux des parois cellulaires du blé qui relient les AX, les protéines, la cellulose et la lignine, par des liaisons covalentes et non covalentes. Les expériences ont montré un meilleur volume et une meilleure qualité du pain lorsque la teneur en WU-AX diminue, et cet effet est dû à : (i) Les barrières physiques au développement du gluten représentées par le WU-AX, qui altèrent le rapprochement de la gliadine et de la glutenine ; (ii) capacité élevée d'absorption d'eau, rendant l'eau indisponible pour le développement du réseau gluten ; et (iii) la perforation des cellules à gaz par ces structures, provoquant leur coalescence (Geosaert *et al.*, 2006 ; Wang *et al.*, 2003).

Si les AX ne reçoivent pas un traitement enzymatique approprié pendant le traitement de la pâte, l'eau ajoutée à la farine de blé devient contrainte dans ces structures hydrophiles, provoquant une pénurie d'eau pour le développement du réseau de gluten, l'action enzymatique, l'activité des levures et la gélatinisation granules d'amidon altérant la qualité finale du pain.

#### **5.4.1. Xylanase fongique (EC 3.2.1.8)**

Cette enzyme est utilisée pour libérer l'eau des xylanes. Il a une grande influence sur la viscosité de la pâte. Ainsi, il améliore la tolérance de la pâte aux processus de panification, car l'élasticité de la pâte est réduite (Sluimer, 2005) ; et contribue à augmenter le volume du pain jusqu'à 20% par rapport à un témoin, principalement dans les pâtes riches en fibres, comme les pains à base de farine de blé entier et d'autres céréales complètes (Stauffer, 1990). Les xylanases améliorent la capacité de rétention des gaz de la pâte, contribuant à une pâte plus molle et une mie plus fine (Sluimer, 2005). Ce type d'endoxylanase est extrait d'*Aspergillus* spp. Et cette enzyme hydrolyse préférentiellement WE-AX, favorisant l'agrégation des

protéines de gluten (Courtin, Delcour, 2001) , en raison de sa capacité de libération d'eau qui est bénéfique pour la formation du réseau de gluten (Sluimer, 2005) .

Il faut éviter des dosages excessifs car, dans ce cas, des pâtes de farine de blé molles et collantes sont produites. Cet effet est causé par l'hydrolyse excessive de l'AX, provoquant la perte excessive de la capacité de fixation de l'eau (Sluimer, 2005).Les pains résultants présentent une structure appropriée de la mie, avec une distribution irrégulière des cellules à gaz, en plus d'une couleur de croûte inappropriée(Geosaert*et al.*, 2006) .

#### **5.4.2. Xylanase bactérienne (EC 3.2.1.55)**

Ce type d'endoxygénase est extrait de *B. subtilis*. Il hydrolyse préférentiellement WU-AX,Améliorant la stabilité de la pâte . Grâce à cet effet, la pâte est capable de garder un volume maximum plus longtemps au cours de l'étape de fermentation, elle maintient une grande résistance aux sollicitations mécaniques lors du processus de la panification (Geosaert *et al.*, 2006) . Le ressort du four est prolongé et le volume du pain est améliorée grâce à la relaxation de la pâte et d'une meilleure rétention des gaz (Sluimer, 2005 ;Courtin, 2001) ce qui produit des grains plus fins qui donnent une mie de pain plus moelleuse et plus homogène (Geosaert*et al.*, 2006) .

Pour la même raison que pour la xylanase fongique, des niveaux des dosages excessifs de xylanase bactérienne doivent également être évités(Geosaert*et al.*, 2006) .

#### **5.4.3. Cellulase (CE 3.2.1.4)**

Cette enzyme hydrolyse la cellulose (homopolysaccharide linéaire composé d'un squelette polymère de glucose lié par des liaisons  $\beta$ -1,4) des parois cellulaires du blé, principalement les couches externes du grain de blé .

Les chaînes cellulosiques sont organisées en régions cristallines et amorphes. Dans la structure cristalline de la cellulose, les molécules sont très ordonnées et la disposition des chaînes bloque la pénétration de l'eau et des enzymes dans les microfibrilles. Dans les régions non cristallines (amorphes),L'eau et les enzymes ont un meilleur accès , et ces sites sont plus facilement hydrolysés que les sites cristallines. Ainsi, les régions amorphes sont

d'abord attaquées et dégradées par les cellulases (Santos Fr da, 2014) . Cela produit des fragments de poids moléculaire inférieur qui peuvent lier plus d'eau.

L'action de la cellulase sur la cellulose présente de nombreux avantages dans le processus de panification ,(i)L'absorption d'eau augmente ; (ii) la viscosité de la pâte augmente ; (iii) le caractère collant de la pâte à haute teneur en fibres diminue ;(iv) l'usinabilité est améliorée ; (v) la libération de glucose augmente, et ; (vi) l'ouverture découpée pour les rouleaux français augmente (Santos FR da , 2014) .

## 6 . La législation des additifs alimentaires

Sur le rapport conjoint du ministre du commerce , du ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière , du ministre de l'industrie , de la petite et moyenne entreprise et de la promotion de l'investissement et du ministre de l'agriculture et du développement rural :

Vu la constitution , notamment ses articles 85-3° et 125 , (alinéa 2 ) ;

Vu la loi n° 85-05 du 16 février 1985 , modifiée et complétée , relative à la protection et à la promotion de la santé ;

Vu la loi n°87-17 du 1<sup>er</sup> août 1987 relative à la protection phytosanitaire ;

Vu la loi n° 88-08 du 26 janvier 1988 relative aux activités de médecine vétérinaire et à la protection de la santé animale ;

Vu la loi n° 04-04 du 5 Jomada El Oula 1425 correspondant au 23 juin 2004 relative à la normalisation ;

Vu la loi n° 09-03 du 29 Safar1430 correspondant au 25 février 2009 relative à la protection du consommateur et à la répression des fraudes , notamment son article 8 ;

Vu le décret présidentiel n° 10-149 du 14 JomadaEthania 1431 correspondant au 28 mai 2010 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 90-367 du 10 novembre 1990 , modifié et complété, relatif à l'étiquetage et à la présentation des denrées alimentaires ;

Vu le décret exécutif n° 92-25 du 13 janvier 1992 relatif aux conditions et aux modalités d'utilisation des additifs dans les denrées alimentaires ;

Vu le décret exécutif n° 04-319 du 22 Chaâbane 1425 correspondant au 7 octobre 2004 fixant les principes d'élaboration , d'adoption et de mise en œuvre des mesures sanitaires et phytosanitaires ;

Vu le décret exécutif n° 05-467 du 8 Dhou El Kaaba 1426 correspondant au 10 décembre 2005 fixant les conditions et les modalités de contrôle aux frontières de la conformité des produits importés ;

Après approbation du président de la République ;

### **Décète :**

Article 1<sup>er</sup>. \_ En application des dispositions de l'article 8 de la loi n° 09-03 du 29 Safar 1430 correspondant au 25 février 2009 , susvisée , le présent décret a pour objet de fixer les conditions et les modalités d'utilisation des additifs alimentaires dans les denrées alimentaires destinées à la consommation humaine .

Art 2. \_ Sont exclus du champ d'application du présent décret les additifs alimentaires incorporés dans les denrées alimentaires destinées à la consommation animale .

Art 3. \_ Au sens des dispositions du présent décret, il est entendu par :

**Additifs alimentaires** , toute substance :

—qui n'est normalement ni consommée en tant que denrée alimentaire en soi , ni utilisée comme ingrédient caractéristique d'une denrée alimentaire ;

—qui présente ou non une valeur nutritive ;

—dont l'adjonction intentionnelle à une denrée alimentaire dans un but technologique ou organoleptique à une étape quelconque de la fabrication , de la transformation , de la préparation , du traitement , du conditionnement , de l'emballage , du transport ou de l'entreposage de cette denrée affecte ses caractéristiques et devient elle-même ou ces dérivés , directement ou indirectement , un composant de cette denrée alimentaire.

—**additif alimentaire hallal** : tout additif alimentaire dont la consommation est autorisée par la religion musulmane.

—**addition indirecte d'un additif alimentaire** : c'est un transfert d'un additif alimentaire provenant des différents ingrédients d'une denrée alimentaire composée .

—**dose journalière admissible ( DJA )** : quantité d'un additif alimentaire , exprimée sur la base du poids corporel, qui peut être ingérée chaque jour pendant toute une vie sans risque pour la santé du consommateur .

—**concentration maximale d'un additif alimentaire** : concentration la plus élevée de l'additif alimentaire établie pour être efficace dans un aliment ou une catégorie d'aliment .

Elle est exprimée soit en milligramme d'additif alimentaire par kilogramme d'aliment (mg/kg) , soit en millilitre d'additif alimentaire par litre d'aliment (ml/l) .

—**Processus de mise à la consommation** : ensemble des étapes de production, d'importation, de stockage, de transport et de distribution aux stades de gros et de détail.

—**bonne pratique de fabrication (BPF)** : cette expression est utilisée lorsqu'aucune quantité maximale n'est sélectionnée. Toutefois, les additifs alimentaires doivent être utilisés à une dose la plus faible possible et absolument nécessaire pour obtenir l'effet désiré.

Art . 5.— L'utilisation d'un additif alimentaire doit répondre aux conditions énumérées ci après :

- préserver la qualité nutritionnelle de la denrée alimentaire ;
- servir de composant nécessaire dans les aliments diététiques ;
- améliorer la conservation ou la stabilité de la denrée alimentaire ou ses propriétés organoleptiques , à condition de ne pas altérer la nature ou la qualité de façon à tromper et induire en erreur le consommateur ; servir d'adjuvant dans une étape donnée du processus de mise à la consommation ;



—servir d'adjuvant dans une étape donnée du processus de mise à la consommation , à condition que l'additif alimentaire ne soit pas utilisé pour masquer les effets de l'utilisation d'une matière première de mauvaise qualité ou de méthodes technologiques inappropriées

Art . 6. —Seuls les additifs alimentaires énumérés à l'annexe 1 citée ci – dessous peuvent être mis à la consommation et incorporés d'une manière directe ou indirecte dans les denrées alimentaires , selon les conditions d'emploi fixées à l'annexe III citée ci – dessous , annexées à l'original du présent décret

Art . 7.— Les concentrations maximales pour les additifs alimentaires figurant à l'annexe III , annexée à l'original du présent décret , sont fixées pour le produit fini tel qu'il est consommé .

Art . 8.— Les additifs alimentaires prévus à l'article 6 ci – dessus , doivent répondre aux spécifications d'identité et de pureté fixées par les normes algériennes ou , à défaut , par les normes admises au plan international .

Art . 9.— Seuls des additifs alimentaires halal peuvent être incorporés dans les denrées alimentaires .

Art . 10.— Outre les cas d'addition directe , l'additif alimentaire peut résulter d'un transfert à partir d'une matière première ou d'autres ingrédients utilisés pour produire l'aliment , dans la mesure où :

—l'utilisation de l'additif alimentaire est autorisée par les dispositions du présent décret dans les matières premières ou d'autres ingrédients ;

—la quantité d'additif alimentaire présente dans les matières premières ou d'autres ingrédients ne doit pas dépasser la concentration maximale fixée par le présent décret ;

—l'aliment dans lequel l'additif alimentaire est transféré ne contient pas ce dernier en quantité supérieure à celle qui serait introduite par l'utilisation de matières premières ou d'autres ingrédients dans des conditions technologiques appropriées ou dans le respect des bonnes pratiques de fabrication et ce , conformément aux dispositions du présent décret

Art . 11.— Le transfert d'un additif alimentaire à partir d'une matière première ou d'un ingrédient n'est pas autorisé dans les denrées alimentaires appartenant aux catégories suivantes :

—préparations pour nourrissons , préparations pour enfants en bas âge et préparations destinées à des usages médicaux particuliers ;

—aliments complémentaires pour nourrissons et enfants en bas âge .

Art . 12.— Outre les prescriptions prévues par la réglementation en vigueur relative à l'information du consommateur , les additifs alimentaires incorporés dans les denrées alimentaires et ceux destinés à la vente au consommateur doivent comporter de manière lisible et visible sur leur emballage les mentions d'étiquetage suivantes :

### **1- additifs alimentaires incorporés dans les denrées alimentaires :**

—le nom de chaque additif alimentaire , qui doit être spécifique et non générique et / ou son numéro de système international de numérotation ( SIN ) , suivi de sa ( ses ) fonction ( s ) technologique ( s ) : l'expression « < à des fins alimentaires » ou toute autre indication de sens analogue ;

—l'expression « à des fins alimentaires » ou toute autre indication de sens de sens analogue ;

—la quantité maximale de chaque additif alimentaire ou groupe d'additifs alimentaires exprimée soit par :

- mesures de poids pour les additifs alimentaires solides ;
- mesures de poids ou de volume pour les additifs alimentaires liquides
- mesures de poids ou de volume pour les additifs alimentaires pâteux ou visqueux ;
- selon le principe de bonne pratique de fabrication ( BPF ) .

—lorsque deux additifs alimentaires ou plus sont présents dans une denrée alimentaire , leurs noms doivent figurer dans une liste où ils seront énumérés par ordre décroissant selon leur masse par rapport au contenu total de la denrée alimentaire :

—dans le cas d'utilisation d'un mélange de matières aromatisantes , il n'est pas nécessaire d'indiquer le nom de chaque aromatisant , l'expression générique « arôme » ou « aromatisant » peut être employée à condition qu'elle soit . accompagnée d'une indication de la nature de l'arôme .

L'expression arôme » ou « aromatisant » peut être suivie de différents adjectifs dont notamment , « naturel » ou « artificiel » , ou des deux , selon le cas .

—Lorsque les édulcorants incorporés dans les denrées alimentaires contiennent des polyols et / ou de l'aspartame et / ou du sel d'aspartame – acésulfame , l'étiquetage doit porter les avertissements suivants :

- polyols « une consommation excessive peut avoir des effets laxatifs » ;
- aspartame / sel d'aspartame – acésulfame : « contient une source de phénylalanine » .

—la mention « déconseillé aux enfants » dans le cas d'utilisation d'édulcorants ;

—la mention « déconseillé aux individus allergiques et / ou présentant une intolérance aux additifs alimentaires » .

## **2 - additifs alimentaires préemballés vendus au détail :**

—le nom de chaque additif alimentaire , qui doit être spécifique et non générique et son numéro de système international de numérotation ( SIN ) , suivi de sa ( ses ) fonction ( s ) technologique ( s ) :

— la nature de l'additif alimentaire ;

— l'expression « à des fins alimentaires » ou toute autre indication de sens analogue ;

— la quantité maximale de chaque additif alimentaire ou groupe d'additifs alimentaires exprimée soit par :

• mesures de poids pour les additifs alimentaires solides , autre que ceux vendus sous forme de tablettes :

• mesures de poids ou de volume pour les additifs alimentaires liquides ;

• mesures de poids ou de volume pour les additifs alimentaires pâteux ou visqueux :

• mesures de poids avec indication du nombre de tablettes dans l'emballage , pour les additifs alimentaires sous forme de tablettes ;

— lorsque deux additifs alimentaires ou plus sont présents dans un mélange d'additifs alimentaires leurs noms doivent figurer dans une liste où ils seront énumérés par ordre décroissant selon leur masse par rapport au contenu total du mélange ;

— dans le cas d'utilisation d'un mélange de matières aromatisantes , il n'est pas nécessaire d'indiquer le nom de chaque aromatisant , l'expression générique « arôme » ou « aromatisant » peut être employée à condition qu'elle soit accompagnée d'une indication de la nature de l'arôme .

L'expression « arôme » ou « aromatisant » peut être suivie de différents adjectifs dont notamment , « < naturel » > ou « artificiel » , ou des deux , selon le cas ;

— la mention « hallal » ;

— l'étiquetage des édulcorants de table contenant des polyols et / ou et / ou de l'aspartame et / ou du sel d'aspartame – acesulfame doit porter les avertissements suivants :

—polyols : « une consommation excessive peut avoir des effets laxatifs » ;

• aspartame / sel d'aspartame – acésulfame : « contient une source de phénylalanine » :

— la mention « déconseillé aux enfants » pour les édulcorants de table ;

—l'expression « déconseillé aux individus allergiques et / ou présentant une intolérance aux additifs alimentaires » .

Pour les additifs alimentaires destinés aux industries agroalimentaires , les mentions « hallal » et « nature de l'additif » alimentaire peuvent figurer soit sur l'emballage . soit dans les documents d'accompagnement du produit .

Art . 13.— La liste des additifs alimentaires autorisés , leurs définitions , leurs fonctions technologiques ainsi que leurs numéro de système international de numérotation ( SIN ) sont fixés à l'annexe 1 jointe à l' original du présent décret .

Art . 14.— La liste des catégories d'aliments dans lesquelles peuvent être incorporés les additifs alimentaires prévus à l'article 6 ci – dessus est fixée à l'annexe II jointe à l'original du présent décret .

Art . 15.— La liste des additifs alimentaires pouvant être incorporés dans les denrées alimentaires ainsi que leurs limites maximales autorisées sont fixées à l'annexe III jointe à l'original du présent décret .

Art . 16. Des copies des annexes I , II et III jointes à l'original du présent décret , ainsi que leurs mise à jour , sont disponibles au niveau des directions régionales du commerce , des directions de wilayas du commerce , du centre algérien du contrôle de la qualité et de l'emballage , des chambres de commerce et d'industrie et du site web officiel du ministère du commerce .

Art . 17.— Les infractions aux dispositions du présent décret sont punies conformément à la législation en vigueur notamment les dispositions de la loi n ° 09-03 du 29 Safar 1430 correspondant au 25 février 2009 , susvisée .

### **7.Les méthodes de détection des additifs alimentaires**

Analyse des additifs alimentaires :

L'utilisation d'additifs alimentaires nécessite une politique de sécurité alimentaire rigoureuse car certains composés peuvent présenter un risque pour la santé des consommateurs.

La consommation d'additifs alimentaires peut provoquer des allergies, du diabète, de l'obésité et des troubles métaboliques (Shibamoto&Bjeldanes, 2004). De ce fait, chaque pays dispose d'une législation spécifique, encourageant un contrôle qualité adapté des denrées alimentaires industrialisées, avec l'identification et la quantification des additifs alimentaires utilisés ou produits au cours du processus industriel.

Des techniques analytiques sont utilisées pour identifier et quantifier différents additifs alimentaires dans les matières premières, les ingrédients indépendants, les produits transformés et les produits finaux, et dans tous les composés intermédiaires formés au cours du processus de fabrication. Ainsi, il est nécessaire de mettre en œuvre des techniques qui apportent fiabilité, sélectivité, sensibilité, La rapidité, la sécurité opérationnelle et sont respectueux de l'environnement et, principalement, à faible coût, à utiliser dans le contrôle de la qualité et l'évaluation de la sécurité alimentaire .

Quelles que soient les techniques instrumentales (spectroscopique, chromatographique et Electroanalytique) employée, l'analyse des additifs alimentaires nécessite l'évaluation

adéquate des étapes d'échantillonnage et de prétraitement et l'interprétation des résultats, qui sont responsables du succès de l'analyse chimique (Mitra, 2004).

La procédure d'échantillonnage stricte est nécessaire pour garantir la représentativité de l'échantillon alimentaire, en reflétant tous ses constituants et en obtenant ainsi la fiabilité des résultats analytiques. Dans une procédure d'échantillonnage idéale, l'échantillon doit être identique compte tenu des propriétés intrinsèques des matières premières, des ingrédients indépendants, des produits transformés ou de l'analyse des produits finis.

Pour assurer la représentativité des échantillons et, par conséquent, la fiabilité des résultats analytiques, le protocole d'échantillonnage est optimisé par des techniques statistiques. Le protocole d'échantillonnage dépend de la taille de l'échantillon, de la variabilité des composants de l'échantillon, du coût de l'analyse de chaque échantillon. Le choix adéquat de la méthode de préparation de l'échantillon est basé sur la nature de l'échantillon alimentaire et sur l'analyse à effectuer. Mélange, homogénéisation, dilution, centrifugation, distillation, extraction assistée par micro-ondes...

Il existe de nombreuses techniques analytiques disponibles pour l'analyse des additifs alimentaires. Le choix ultime dépend de la nature des échantillons (solide, liquide ou Gaz), le niveau attendu de l'additif, l'expérience de l'analyste, le matériel et les réactifs disponibles, le moment de l'analyse, le nombre d'échantillons et, principalement, les niveaux de substances interférentes présentes dans les échantillons.

Chaque technique présentée a un ensemble de caractéristiques, permettant d'identifier et de quantifier l'additif d'intérêt, avec des avantages et des inconvénients typiques de la méthodologie utilisée. Les principales méthodes d'analyse utilisées dans l'analyse de l'aliment

Les additifs dans les denrées alimentaires sont classés en techniques spectroscopiques, chromatographiques et électroanalytiques.

- **Les techniques de spectroscopie :**

elles sont basées sur l'interaction du rayonnement électromagnétique. L'énergie de la chaleur, une décharge électrique ou la lumière favorise le moment des électrons à un état d'énergie accrue (état excité), et lorsque les électrons reviennent à l'état de l'énergie initiale (états fondamentaux), l'énergie est relâchée, précédemment absorbée, sous la forme de la lumière. Si l'intensité lumineuse mesurée est élevée que la lumière ajoutée de l'échantillon, une

émission de lumière plus élevée (spectroscopie d'émission) Si l'intensité lumineuse mesurée est inférieure à la lumière ajoutée de l'échantillon, l'absorption est inférieure et l'intensité de la lumière mesurée est inférieure (spectroscopie d'absorption) (spectroscopie d'absorption) (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2014). Structures chimiques des additifs alimentaires présents des groupes fonctionnels, tout ce qui est possible, l'absorption et / ou l'émission de rayonnement électromagnétique à une longueur d'onde connue, qui peut être utilisée pour quantifier les additifs alimentaires dans les matières premières et les aliments.

Les principales méthodes utilisées par les industries alimentaires sont la spectroscopie et la spectroscopie de rayonnement ultraviolets / visibles (spectroscopie de l'infrarouge (IR), qui sont utilisées pour déterminer la composition chimique, les paramètres de texture et les paramètres liés à la qualité.

L'utilisation des UV / VIS dans le contrôle de la qualité est adéquate dans les additifs alimentaires de détermination, attribués à son efficacité, à l'approche à faible coût, à une approche non destructive et respectueuse de l'environnement, ainsi que de simplicité opérationnelle et est considérée comme adaptée à la mesure en ligne. Toutefois, dans l'analyse des denrées alimentaires, la composition des échantillons favorise une sélection indésirable en raison de la présence d'autres composés chimiques qui absorbent le rayonnement électromagnétique. Pour surmonter cette question, il est nécessaire de prêter d'abord l'échantillon, pour une efficacité et une sélectivité analytique supplémentaires (Skoog et al., 2014). L'utilisation de la réseaux de neurones artificiels METWORG METWORG METTWORK Absorbance des données d'absorbance et de l'analyse alimentaire des techniques UV / VIS (Santos & Schug, 2017, Esteki, Shahsavari et Simal – Gandara, 2018).

#### • Techniques chromatographiques :

Les techniques chromatographiques sont un ensemble de techniques analytiques utilisées pour séparer, identifier et quantifier les composés inorganiques et organiques, sur la base de la partitionnement ou répartition d'un échantillon entre une phase mobile et une phase stationnaire. La séparation est due à une série d'équilibres entre l'espèce d'intérêt et la phase mobile (gaz, liquide ou fluide supercritique) et stationnaire (solide ou liquide adsorbé sur un support solide).

Les techniques chromatographiques sont classées selon les principes physico-chimiques impliqués dans la séparation.

En chromatographie d'adsorption, la phase stationnaire est un solide sur lequel les composants de l'échantillon sont adsorbés, alors qu'en chromatographie de partage, la phase stationnaire est un liquide supporté sur un solide. La chromatographie échangeuse d'ions utilise un support échangeur d'ions comme phase stationnaire. La chromatographie d'exclusion sépare les molécules solvatées par leur capacité à pénétrer dans les poches et passages poreux de la phase stationnaire, associée à leur taille. Ces mécanismes de séparation fonctionnent dans les deux principaux types de chromatographie utilisés dans l'analyse des additifs alimentaires, la chromatographie en phase gazeuse (GC) et la chromatographie liquide (LC).

La **GC** est une technique polyvalente qui sépare et identifie des mélanges complexes de composés volatils et de composés organiques thermiquement stables, en utilisant un gaz inerte comme phase mobile et soit un liquide immobilisé, soit un solide emballé dans un tube fermé, comme phase stationnaire (Nielsen, 2014 ). L'instrumentation GC se compose d'une alimentation en gaz inerte, de régulateurs de contrôle de pression et de débit, d'un orifice d'injection des échantillons, d'une colonne . détecteur et un système d'enregistrement et de traitement des données.

Les analyses **LC** sont basées sur le choix adéquat d'une phase mobile, composée de solvants organiques et/ou de solutions tampons, qui favorisent une séparation appropriée des composés cibles en fonction de leur affinité différentielle entre une phase stationnaire solide et une phase mobile liquide .

La LC classique fonctionne à une pression proche de la pression atmosphérique en utilisant une pompe péristaltique ou un écoulement par gravité pour maintenir un écoulement constant du liquide de la phase mobile.

La **HPLC** est issue de la **LC** classique grâce à l'utilisation de pompes et de détecteurs spécifiques qui favorisent les progrès dans la séparation, l'identification et la quantification (Wrolstad et al., 2005). de composés organiques L'instrumentation HPLC de base est composée d'une pompe, d'un injecteur, d'une colonne, d'un détecteur et d'un système de données. La phase mobile, appelée éluant, utilise des solvants organiques très purs et des solutions tampons, qui sont pompés à flux constant à travers la colonne, favorisant la séparation des composants par différences d'affinités entre la phase mobile et la phase stationnaire. Les pompes permettent des montages en élution isocratique (proportion constante de solvants lors de la séparation) ou en gradient d'élution (variation du ratio de



solvants organiques et de solutions tampons lors de la séparation) (Christian et al. ), COERTED, MANUS Systèmes de pompage capables de faire fonctionner un gradient contenant jusqu'à quatre composants sont largement utilisés dans les laboratoires de contrôle de la qualité . Les injecteurs sont utilisés pour placer l' échantillon dans la phase mobile en écoulement , pour l' introduction sur la colonne . nombre d'échantillons, comme dans les analyses de contrôle alimentaire.

#### •Techniques électroanalytiques :

Les deux dernières décennies ont connu une augmentation considérable de la popularitédestechniques électroanalytiques dans le contrôle de la qualité des aliments, en raison de la simplicité opérationnelle, du faible coût et du nombre minimal d'étapes de préparation des échantillons. Ces techniques mesurent les propriétés électriques, telles que le courant, le potentiel, la charge, la résistance, la conductance, l'impédance et la conductivité, pour identifier et quantifier les composés organiques, comme les propriétés électriques sont proportionnelles aux composés cibles.

Dans l'analyse des aliments, Les techniques électroanalytiques qui utilisent les applications de potentiel pour favoriser une réaction de transfert d'électrons suite à une mesure de courant, appelées techniques voltamétriques, peuvent être utilisées pour identifier et quantifier les additifs alimentaires dans des échantillons complexes, tels que les matières premières et les denrées alimentaires (Wang, 2001).

Dans les techniques voltammétriques, le potentiel est modifié pour favoriser une réaction de transfert d'électrons, et le courant résultant est enregistré en fonction du potentiel appliqué, produisant un voltammogramme qui peut être utilisé dans l'identification et quantification des composés cibles, mais seulement si ce composé est électroactif (réductible ou oxydable).

Les techniques voltamétriquessont classées selon la manière dont le potentiel est imposé à l'électrode. La voltampérométrie à impulsions différentielles (DPV) et la voltampérométrie à onde carrée (SWV) sont généralement utilisées à des fins analytiques car les réponses sont basées sur l'élimination supérieure du courant capacitif/de fond, favorisant une sensibilité à la chromatographie.

**• Techniques électroanalytiques :**

Les deux dernières décennies ont connu une augmentation considérable de la popularité Des techniques électroanalytiques dans le contrôle de la qualité des aliments, en raison de la simplicité opérationnelle, du faible coût et du nombre minimal d'étapes de préparation des échantillons. Ces techniques mesurent les propriétés électriques, telles que le courant, le potentiel, la charge, la résistance, la conductance, l'impédance et la conductivité, pour identifier et quantifier les composés organiques, comme les propriétés électriques sont proportionnelles aux composés cibles.

Dans l'analyse des aliments, Les techniques électroanalytiques qui utilisent les applications de potentiel pour favoriser une réaction de transfert d'électrons suite à une mesure de courant, appelées techniques Voltamétriques, peuvent être utilisées pour identifier et quantifier les additifs alimentaires dans des échantillons complexes, tels que les matières premières et les aliments alimentaires (Wang, 2001).

Dans les techniques voltammétriques, le potentiel est modifié pour favoriser une réaction de transfert d'électrons, et le courant produit est enregistré en fonction du potentiel appliqué, produisant un voltammogramme qui peut être utilisé dans l'identification et la quantification (poids maximal) des composés ciblés, mais seulement si ce composé est électroactif (réductible ou oxydable).

Les techniques voltamétriques sont classés selon la manière dont le potentiel est imposé à l'électrode. La voltamétrie à impulsions différentielles (DPV) et la voltamétrie à onde carrée (SWV) sont généralement utilisées à des fins analytiques car les réponses sont basées sur l'élimination supérieure du courant capacitif de fond favorisant une sensibilité à la chromatographietechniques.

# **Chapitre 3**

## **Les effets secondaires des additifs alimentaires**

**Chapitre 3 : Les effets des additifs alimentaires sur la santé****1 . Introduction**

L'origine, les aliments étaient cultivés et consommés directement à partir d'une Terre relativement non polluée. Des océans, des lacs et des rivières plus propres nous ont nourris de poissons nutritifs. Au fur et à mesure que la population humaine se multipliait, le monde s'étendait, l'agriculture progressait, les spécialités commerciales se développaient et les marchés des villes partageaient une variété de biens entre une diversité de personnes. Des techniques de préparation et de conservation des aliments, telles que le marinage, le salage et le fumage, ont été développées pour faire face aux nouveaux problèmes de stockage, de gaspillage et de maladies d'origine alimentaire. Grâce à la technologie de pointe, la dépendance de notre industrie alimentaire moderne à l'égard de la transformation et des additifs continue d'augmenter. Depuis des décennies, l'industrie alimentaire a continuellement créé de nouveaux produits chimiques pour manipuler, conserver et transformer nos aliments. Grâce à l'utilisation de produits chimiques, les scientifiques sont capables d'imiter les saveurs naturelles, de colorer les aliments pour leur donner un aspect plus "naturel" ou "frais", de conserver les aliments pendant des périodes de plus en plus longues et de créer des versions modifiées de pains, craquelins, fruits, légumes, viandes, produits laitiers et de nombreux aliments plus couramment utilisés. Aujourd'hui, il existe même des « aliments » entièrement fabriqués à partir de produits chimiques. Les crèmes à café, les succédanés du sucre et les bonbons sont presque entièrement composés d'ingrédients artificiels. Une telle manipulation de notre nourriture peut avoir un effet profond sur l'équilibre biochimique unique de notre corps. Un additif alimentaire est une substance qui n'est pas communément considérée ou utilisée comme un aliment, qui est ajoutée à, ou utilisée dans ou sur un aliment à n'importe quel stade pour affecter sa qualité de conservation, sa texture, sa consistance, son goût, sa couleur, son alcalinité ou son acidité. Les additifs alimentaires utilisés aujourd'hui peuvent être grossièrement divisés en trois types principaux : les cosmétiques, les conservateurs et les auxiliaires technologiques, totalisant actuellement environ 3 794 différents additifs, dont plus de 3 640 sont utilisés uniquement comme cosmétiques, 63 comme conservateurs et 91 comme auxiliaires technologiques. La croissance de l'utilisation des additifs alimentaires a énormément augmenté au cours des 301 dernières années, totalisant maintenant plus de 200 000 tonnes par an. Par conséquent, il a été estimé qu'aujourd'hui. Environ 75% de l'alimentation occidentale est composée de divers aliments transformés, chaque personne l'est maintenant. consommant en moyenne 8 à 10 livres d'additifs alimentaires par an, certains

mangeant peut-être beaucoup plus. Avec la forte augmentation de l'utilisation d'additifs alimentaires, de nombreuses données scientifiques ont également émergé liant l'intolérance aux additifs alimentaires à divers troubles physiques et mentaux, en particulier à l'hyperactivité infantile. L'additif alimentaire est également très dangereux pour la santé. La consommation d'aliments mélangés à des additifs peut avoir des effets négatifs tels que l'insomnie, la nervosité, l'agitation, l'irritabilité et les changements d'humeur. mme Alzheimer ou Parkinson.

## **2. Les dangers des additifs alimentaires sur la santé**

### **2.1. Les additifs alimentaires et le cancer**

Le cancer est une maladie multifactorielle impliquant des facteurs individuels, comportementaux et environnementaux qui peuvent concourir à son déclenchement. C'est aussi une maladie multiphasique. Le cancer n'est pas une maladie unique, il existe de nombreux types de cancers touchant pratiquement tous les organes et tissus. Les cancers présentent d'une part des caractéristiques communes liées aux mécanismes fondamentaux intervenant dans la cancérogenèse, et d'autre part des caractéristiques spécifiques liées aux propriétés de l'organe ou du tissu, ou aux facteurs de risque associés (cancers hormonodépendants) (**Doll et al., 1966**).

Listes des additifs alimentaires qui provoquent de cancer :

**E131** : Bleu patente V. Colorant bleu synthétique

**E141** : Vert brillant BS ou Vert Liss amine ( Colorant vert synthétique) .

**E210** : Acide benzoïque (Conservateur chimique).

**E212** : Benzoate de potassium

**E213** : Benzoate de calcium

**E214** : P-Hydroxybenzoate d'éthyle – Parabènes (Conservateur chimique).

**E215** : Dérivé sodique de l'ester Éthylique de l'acide P-HY-Droxybenzoïque

**E230** : Diphényle ou Biphényle (Conservateur chimique)

**E240** : Acide borique (Conservateur chimique)

**E249** : Nitrite de potassium (Conservateur chimique)

**E310** : Gallate de propyle (Antioxydant de synthèse)

**E950** : Acesulfame-K (édulcorant et exhausteur de goût de synthèse)

**E951** : Aspartame

## 2.2. Les additifs alimentaires et l'Allergie

Une allergie alimentaire est une réaction d'hypersensibilité immédiate de type I (classification des réactions d'hypersensibilité en 4 types de Gell et Coombs). Elle est provoquée par l'ingestion d'une substance alimentaire qui inclut aussi les additifs alimentaires qui sont listés les principaux dans le tableau suivant .

**Tableau 2** : Additifs pouvant dans de rares cas provoquer des allergies ou des réactions D'intolérance non définies (Pichler et al ., 2011).

Code	Nom del'additifalimentaire
<b>E102</b>	Tartrazine(Colorantsynthétiquejaune).
<b>E110</b>	JauneOrange"S"ouSunsetYellowFCF(Colorantjauneazoïque).
<b>E122</b>	Azorubine,Carmoisine(Coloranrougeazoïqueetsynthétique).
<b>E123</b>	Amarante(Colorantazoïqueorange).
<b>E124</b>	Ponceau4R(Colorantazoïqueorange).
<b>E128</b>	Rouge2G(Coloranrougesynthétique).
<b>E129</b>	RougealluraAC(Colorantsynthétique).
<b>E155</b>	BrunHT(Colorantazoïquebrun).
<b>E180</b>	Pigmentrubis(Coloranrougeazoïquechimique).
<b>E200-203</b>	Acidesorbique-Sorbatedecalcium(Conservateurchimique).
<b>E201-213</b>	Sorbatedesodium-Benzoatedecalcium(Conservateurchimique).
<b>E214-219</b>	Éthylparabène-Methylparabènesodique(Conservateurchimique).
<b>E321</b>	Butylhydroxytoluène(Antioxydants).
<b>E320</b>	Buthylhydroxytoluène(Antioxydantdesynthèse).
<b>E1105</b>	Lysozyme,Lysozymechlorhydrate
<b>E620-625</b>	Acideglutamique-Diglutamatedemagnésium(Exhausteursdegoût).

### 2 .3. Les additifs alimentaires et l'hyperactivité

Un enfant hyperactif est un enfant dont l'activité motrice est augmentée et désordonnée, accompagnée d'impulsivité, de réactions agressives et de troubles de l'attention qui perturbent son efficacité scolaire. Ces troubles doivent être en décalage net par rapport à l'âge et au niveau de développement de l'enfant pour qu'on puisse parler d'hyperactivité. Plusieurs termes sont employés pour désigner l'hyperactivité :

- Syndrome hyperkinésie (ou trouble hyperkinétique).
- Dysfonction cérébrale minime.
- Troubles déficitaires de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH).

Il y a plus de trente ans, le pédiatre américain Ben Feingold évoquait le rôle délétère que les additifs pouvaient avoir sur le comportement des enfants (hyperactivité) (Goughet,2011). Une étude de l'université de Southampton montre qu'un mélange de colorants et d'un conservateur peut rendre les enfants hyperactifs. Les colorants incriminés sont les E102 (tartrazine), E104 (jaune de quinoléine), E110 (jaune orangé), E122 (carmin), E124 (Ponceau 4R) et E129 (rouge allura). Le conservateur est le E211 (benzoate de sodium). Ces produits sont surtout présents dans les sucreries et les boissons préférées des enfants ; voir liste ci-dessous :

E210 : Acide benzoïque

E212 : Benzoate de potassium

E214 : Ethylparabène, Hydroxybenzoate d'éthyle

E215 : Ethylparabène sodique, Hydroxybenzoate d'éthyle sodique

E216 : Propylparabène, Hydroxybenzoate de propyle

E217 : Propylparabène sodique, Hydroxybenzoate de propyle sodique

E218 : Méthylparabène, Hydroxybenzoate de méthyle

E219 : Méthylparabène sodique, Hydroxybenzoate de méthyle sodique

E250 : Nitrite de sodium

E251 : Nitrate de sodium, Salpêtre du Chili

E252 : Nitrate de potassium, Salpêtre

### 3. Les autres maladies liées aux additifs alimentaires

Les additifs alimentaires sont extrêmement dangereux et doivent être évités pour se prévenir des symptômes, maladies et autres troubles qu'ils génèrent comme :

#### 3.1 urticaire

est une maladie fréquente qui touche les enfants et les adultes. C'est une allergie qu'est liée à un mode d'activation particulier des mastocytes par des anticorps appelés immunoglobulines E (IgE) dirigés contre un aliment, un médicament ou encore un venin de guêpe ou d'abeille. Les données chez l'enfant sont éparées et souvent extrapolées à partir des informations obtenues chez l'adulte (Church et al., 2011). Les additifs alimentaires les plus fréquents sont les protéines du lait de vache, l'arachide, l'œuf, le blé, les crustacés, le soja et accessoirement des additifs (plus particulièrement les sulfites) (Liu et al., 2010). En voici cependant une liste non exhaustive des additifs à éviter (Gouget, 2005).

**E102** : Tartrazine. Colorant synthétique jaune

**E123** : Amarante. Colorant azoïque rouge. Produit chimique dangereux

**E124** : Ponceau 4R. Colorant azoïque rouge. Produit chimique très dangereux

**E127** : Erthrosine. Colorant rouge synthétique

**E128** : Rouge 2G. Colorant rouge synthétique **E133** : Brun FK. Colorant azoïque brun.

**E154** : Brun HT. Colorant azoïque brun

**E214** : P-Hydrox benzoate d'éthyle- Parabènes. Conservateur chimique dérivé de le E210

**E239** : Hexaméthylènetétramine. Conservateur de synthèse dérivé d'ammoniaque

**E310** : Gallate de propyle. Antioxydant de synthèse

**E311** : Gallate d'octyle. Antioxydant de synthèse

**E320** : Buthylhydroxytoluène. Antioxydant de synthèse



### 3.2. Rhinite allergique

La rhinite allergique correspond à l'ensemble des manifestations fonctionnelles du nez engendrées par le développement d'une inflammation IgE dépendante de la muqueuse nasale en réponse à l'exposition à différents allergènes respiratoires (appelés pneumallergènes) (Braun et al., 2010). Le (Tableau 3) ci-dessous regroupe les additifs pouvant entraîner rhinite allergique (Gouget, 2005).

**Tableau 3** : les additifs alimentaires causes la rhinite allergique (Gouget, 2005).

Code	Nom de l'additif alimentaire
<b>E102</b>	Tartrazine (Colorant).
<b>E122</b>	Azorubine, Carmoisine (Colorant).
<b>E154</b>	Brun FK (Colorant).
<b>E201</b>	Sorbate de sodium (Conservateur chimique).
<b>E202</b>	Sorbate de potassium (Conservateur chimique).
<b>E203</b>	Sorbate de calcium (Conservateur chimique).

### 3.3 Nausées

Nausées : sensation subjective désagréable non douloureuse provenant du tractus digestif haut , associée au besoin de vomir ou à la sensation que les vomissements son imminents (Masson, 2012) . Les principaux additifs alimentaires responsables des nausées sont regroupés au niveau du ( Tableau 4) (Gouget, 2005) .

**Tableau 4:** additifs alimentaires responsables de nausées

Code	Nomdel'additifalimentaire
<b>E509</b>	Chloruredecalcium(seldel'acidechlorhydriquecombinéaveclectalcium)
<b>E510</b>	Chlorured'ammonium
<b>E132</b>	IndigotineouCarmind'Indigo(Colorantbleusynthétique).
<b>E230</b>	DiphényleouBiphényle(Conservateurdesynthèsedérivédegoudronsde houille).
<b>E235</b>	Natamycine(Conservateur).
<b>E250</b>	Nitritedesodium(Conservateurchimique/minéral).
<b>E251</b>	Nitratedesodium(Conservateurchimiquedangereux).
<b>E264</b>	Acétated'ammonium(Acidifiant).
<b>E421</b>	Mannitol(Edulcorantetanti-agglomérant).
<b>E509</b>	Chloruredecalcium(Produitdesynthèse).
<b>E510</b>	Chlorured'ammonium
<b>E511</b>	Chloruredemagnésium
<b>E512</b>	Chlorured'étain
<b>E513</b>	Acidesulfurique
<b>E514</b>	Sulfatesdesodium
<b>E515</b>	Sulfatesdepotassium
<b>E517</b>	Sulfated'ammonium
<b>E518</b>	Sulfatedemagnésium

### 3.4 Vomissements

Vomissements : mécanisme actif de contractions cycliques violentes de la musculature abdominale, du diaphragme et des muscles respiratoires conduisant au rejet brutal par la bouche du contenu de l'estomac. Les vomissements peuvent être provoqués ou spontanés. Ils sont souvent précédés de haut-le-cœur : contractions synchrones du diaphragme, des muscles abdominaux et des muscles intercostaux externes, contre-glotte fermée (Masson, 2012). Le (Tableau 5) ci-dessous regroupe les additifs pouvant entraîner les vomissements (Gouget, 2005).

**Tableau 5** : Additifs alimentaires causant les vomissements.

Code	Nom de l'additif alimentaire
<b>E110</b>	Jaune Orange "S" ou Sunset Yellow FCF (Colorant jaune azoïque)
<b>E264</b>	Acétate d'ammonium (Acidifiant).
<b>E230</b>	Diphényle ou Biphényle (Conservateur de synthèse).
<b>E235</b>	Natamycine (Conservateur).
<b>E385</b>	<b>EDTA</b> (Antioxydant et séquestrant de synthèse).
<b>E507</b>	Acide chlorhydrique (Acidifiant).
<b>E508</b>	Chlorure de potassium (Exhausteur de goût, de synthèse).
<b>E509</b>	Chlorure de calcium (Produit de synthèse).
<b>E510</b>	Chlorure d'ammonium
<b>E511</b>	Chlorure de magnésium
<b>E512</b>	Chlorure d'étain.
<b>E513</b>	Acide sulfurique
<b>E514</b>	Sulfate de sodium.
<b>E515</b>	Sulfate de potassium
<b>E517</b>	Sulfate d'ammonium
<b>E518</b>	Sulfate de magnésium

### 3.5. Diarrhée

Elle est la conséquence d'une accélération du transit intestinal, notamment dans le côlon (Masson, 2014). Parmi Les principaux additifs alimentaires pouvant causés la diarrhée :

**E235** : Natamycine (Conservateur).

**E284** : Acide borique (Conservateur synthétique).

**E385** : Ethylène-diamine-tétra-acétate de calcium disodium ou EDTA (Antioxydant).

**E425** : Konjac ou Glucomannane de Konjac (Gélifiant, épaississant).

**E473** : Sucroesters d'acides gras (Emulsifiant).

**E474** : Sucroglycérides (Emulsifiant).

**E508** : Chlorure de potassium (Exhausteur de goût) (Gouget, 2005).

### 3.6. L'eczéma

Est une forme particulière de réaction d'hypersensibilité retardée à médiation cellulaire secondaire à l'application sur la peau d'une substance exogène (Albes et al.,2002).

Les principaux additifs alimentaires qui provoquent l'eczéma :

**E104** : Jaune de Quinoléine (Colorant).

**E107** : Jaune 2 G ou Sunset Yellow FCF (Colorant).

**E120** : Cochenille, acide carminique (Colorant) (Gouget, 2005).

## 3.7. Asthme

L'asthme est une maladie chronique inflammatoire des voies Cette inflammation provoque des épisodes récidivants de toux, sifflements, oppression thoracique et des difficultés respiratoires. Elle rend les voies aériennes sensibles à des stimuli tels que les allergènes, les irritants chimiques, la fumée de tabac, l'air froid ou l'exercice et les additifs alimentaires (Grainat, 2010). Le (Tableau 6) ci-dessous regroupe les additifs pouvant entraîner l'asthme :

**Tableau 6:** Additifs alimentaires provoquant l'asthme.

Code	Nomdel'additif alimentaire	Code	Nomdel'additifalimentaire
<b>E102</b>	Tartrazine(Colorant).	<b>E104</b>	Jaunedequinoléine(Colorant).
<b>E107</b>	Jaune2G(Colorant).	<b>E110</b>	Jaune Orange"S"(Colorant).
<b>E120</b>	Cochenille,Coloranrouge	<b>E123</b>	Amarante(Colorantazoïquerouge).
<b>E124</b>	Ponceau 4R (Colorant azoïque rouge).	<b>E127</b>	Erthrosine (Colorant rouge synthétique)
<b>E128</b>	Rouge2G(Colorantsynthétique).	<b>E131</b>	Bleu patenté V (Colorantsynthétique).
<b>E180</b>	Pigment rubis (rouge azoïqueChimique).	<b>E201</b>	Sorbate de sodium (Conservateur chimique).
<b>E202</b>	Sorbate de potassium(conservateur)	<b>E203</b>	Sorbate de calcium (conservateurchimique).
<b>E210</b>	Acide benzoïque (Conservateur chimique).	<b>E211</b>	Benzoatedesodium(conservateur)
<b>E212</b>	Benzoatedepotassium	<b>E213</b>	Benzoatedecalcium
<b>E214</b>	P-Hydrox benzoate d'éthyle-Parabènes	<b>E220</b>	AnhydridesulfureuxouDioxydedeSoufre
<b>E240</b>	Acide borique (Conservateurchimique).	<b>E250</b>	Nitrite de sodium (Conservateurchimique)
<b>E251</b>	Nitrate de sodium(conservateur dangereux)	<b>E310</b>	Gallatedeprophyle(antioxydantdesynthèse).
<b>E311</b>	Gallate d'octyle (Antioxydant desynthèse)	<b>E320</b>	Buthylhydroxytoluène (antioxydant desynthèse)

**4 . Comment éviter les additifs alimentaires**

En limitant les produits industriels transformés et en privilégiant les aliments faits maison . Regarder les étiquettes avec une règle simple en tête ; plus la liste des ingrédients est longue il faut se méfier , donc il faudrait favoriser les produits dits « sans colorants » et « sans conservateur » pour limiter l'ajout des additifs alimentaires dans les aliments de notre consommation .

On peut également utiliser des applications ( Yuka , BuyorNot , Open Food Fact , Kwalito ... ) qui en scannant les produits , indiquent la présence d'additifs nocifs et orientent , pour certaines ( Yuka ) , vers des aliments similaires qui en contiennent moins ou pas du tout .

# **Conclusion**

## Conclusion :

---

### Conclusion

L'agriculture ne peut se passer d'utiliser des composés chimiques car c'est bien de cela dont il s'agit pour garantir une production suffisante en qualité et en quantité en luttant contre les ravageurs et en enrichissant les terres .

De même notre alimentation ne peut se passer de l'appui technologique des additifs alimentaires tant nous recherchons de nouveaux produits , de nouvelles saveurs , de nouvelles saveurs , tant nous avons besoin de conserver et d'assurer une hygiène irréprochable de nos aliments .

Il y a actuellement une énorme pression sur l'industrie alimentaire pour produire des produits plus sains. Les étiquettes « propres » Ou « conviviales », avec des listes d'ingrédients plus courtes et plus simples sont une tendance forte.

Dire que les additifs alimentaires sont néfastes pour la santé , procède d'une méconnaissance des effets . des conditions d'emploi , des structures et réglementations qui régissent leurs utilisations pour la plus grande sécurité des consommateurs .

Puisse ce dossier convaincre les réticents , et éclairer les professionnels de l'agroalimentaire sur l'intérêt des additifs alimentaires et le niveau de sécurité élevé atteint dans leur utilisation .

Celles-ci Incluent la recherche d'alternatives plus naturelles et plus saines aux additifs chimiques qui ont un impact négatif sur l'acceptation par les consommateurs. L'industrie de la boulangerie essaie d'éliminer les ingrédients de numéro E de ses formulations en utilisant, par exemple,

- (i) Des enzymes et du gluten de blé vital (un ingrédient) pour éliminer les émulsifiants et les oxydants chimiques ;
- (ii) (ii) les hydrocolloïdes en tant que choix plus « convivial » que les autres additifs ;  
et
- (iii) (iii) des conservateurs naturels tels que la ferments, pour le contrôle des moisissures. Cependant, dans certains cas, ces alternatives sont coûteuses et pas aussi efficaces comme les additifs chimiques.

Les enzymes n'ont pas besoin d'être déclarées comme auxiliaires technologiques sur les étiquettes des produits alimentaires dans de nombreux pays. Elles constituent donc une stratégie intéressante pour les « labels propres ». Certaines enzymes sont sous développement



## Conclusion :

---

et seront probablement bientôt disponible dans le commerce pour être utilisées dans la fabrication de pain. Un exemple est la laccase (EC 1.10.3.2), une enzyme oxydante qui oxyde différents types de composés phénoliques, augmentant la stabilité et la résistance de la pâte, favorisant une pâte plus rapide , La formation et la réduction du caractère collant de la pâte .

# **Références Bibliographiques**

## Références bibliographique :

---

### Références bibliographiques :

- Alais, C . et Linden, G. (1994). Abrégé de biochimie alimentaire. 4 ème édition. Paris : Masson .
- Albes, B., Mazereeuw-Hautier, J., Bazex, J., Bonafé, J., 2002. . allergies cutaneomuqueuses . 38p.
- Almeida EL , Chang YK . Effect of the addition of enzymes on the quality of frozen pre – baked French bread substituted with whole wheat flour . LWT – Food Science and Technology . 2012 ; 49:64-72 . DOI : 10.1016 / j.lwt.2012.04.019
- ANSES, 2011, Nutrition et cancer. Rapport d’expertise collective. 14p .
- Autio K , Kruus K , Knaapila A , Gerber N , Flander L , Buchert J. Kinetics of transglutaminase – induced cross – linking of wheat proteins in dough . Journal of Agricultural and Food Chemistry . 2005 ; 53 : 1039-1045 . DOI : 10.1021 / jf0485032
- Boutte T , Skogerson L. Stearoyl - 2 - lactylates and oleoyl lactylates . In : Nom V , editor . Emulsifiers in Food Technology . 2nd ed . Chichester : Wiley - Blackwell ; 2015. pp . 251-270
- Braun, J., Devillier, P., Wallaert, B., Rancé, F., Jankowski, R., Acquaviva, J-L., 2010. Recommandations pour le diagnostic et la prise en charge de la rhinite allergique (épidémiologie et physiopathologie exclues) . Texte long. Rev Fr Allergol .P:3-27 .
- Calvel, R.1984 . La boulangerie moderne. 10 ème édition. Paris : Eyrolle . 460p
- Cauvain S. Technology of Breadmaking . 3rd ed . Switzerland : Springer , 2015. 408 p . DOI : 10.1007 / 9783319146874
- Cottrell T , van Peij J. Sorbitan esters and polysorbates . In : Norn V , editor . Emulsifiers in Food Technology . 2<sup>nd</sup> ed . Chichester : Wiley – Blackwell ; 2015. Pp . 271-295
- Courtin CM , Delcour JA . Relative activity of endoxylanases towards water – extractable and water.

## Références bibliographique :

---

- Church, M.K, Weller, K, Stock, P, Maurer, M., 2011 . Chronic spontaneous urticaria in children: aitching for insight. *Pediatr Allergy Immunol* 22 (1) 1–8 . doi.org/10.1111/j.1399-3038.2010.01120.x.
- CZAJKA M. , SAWICKI K. , SIKORSKA K. , POPEK S. , KRUSZEWSKI M .. KAPKA – SKRZYPCZAK L. , Toxicity of titanium dioxide nanoparticles in central nervous system , Elsevier , 2015.
- Doll, R., Payne, P., Waterhouse, J., 1966. Editors. *Cancer incidence in five continents*, vol. I. Geneva: Union International Contre le Cancer .
- Ferrero C. Hydrocolloids in wheat breadmaking : A concise review . *Food Hydrocolloids* . 2017 : 68 : 15-22 . DOI : 10.1016 / j.foodhyd.2016.11.044-
- fuillet , P. (2000). *Le grain de blé : composition et utilisation*. Paris : INRA. 308p.
- Gaupp R. Adams W. Diacetyl Tartaric Acids of Monoglycerides ( DATEM ) and associated emulsifiers in bread making . In : Norn V , editor . *Emulsifiers in Food Technology* . 2<sup>nd</sup> ed . Chichester : Wiley – Blackwell ; 2015. Pp . 121-145
- Gouget, C., 2005. *Additifs alimentaires danger*, 5 ème édition , Chariot d’Or. Paris, 150p. ISBN-10 :2911806697.
- Gouget, C., 2011. *Additifs alimentaires : danger* . 12 ème édition, Chariot d’Or, Paris, 154p. ISBN :9782911806698.
- GOUGET C .. *Additifs alimentaires : Danger ( 15<sup>ème</sup> édition )* , 2014
- GOUGET C. *Additifs alimentaires : Danger ( 15<sup>ème</sup> édition )* , 2014
- Goesaert H , Gebruers K , Courtin CM , Brijs K , Delcour JA . Enzymes in breadmaking , In : Hui YH , Corke H , Leyn ID , Nip WK , Cross N , editors . *Bakery Products Science and Technology* . Ames : Blackwell Publishing : 2006. Pp . 337-364
- Gomes – Ruffi CR , Cunha RH , Almeida EL , Chang YK , Steel CJ . Effect of the emulsifier sodium stearyl lactylate and of the enzyme maltogenic amylase on the quality of pan bread during storage . *LWT – Food Science and Technology* , 2012,49 : 96-101 . DOI : 10.1016 / Iwt . 2012.04.014

## Références bibliographique :

---

- Guinet, R. et Godon, B. 1994. La panification française. Paris : Tec et Doc, Lavoisier 522p.
- Grainat, N., 2012. Vèmes Journées Auresiennes Internationales.
- Grandvoinnet, P. et Praty, B. 1994 . Les ingrédients des pâtes : farines et mixes . In Guinet, R. et Godon, B. La panification française. Paris : Tec et Doc , Lavoisier. P100-130.
- Habibi H , Khosravi – Darani K. Effective variables on production and structure of xanthan gum and its food applications : A review . Biocatalysis and Agricultural Biotechnology . 2017 : 10 : 130-140 . DOI : 10.1016 / j.bcab 2017.02.013
- Hout M. Antifungal activity of fermentates and their potential to replace propionate in bread . LWT – Food Science and Technology . 2017 : 76 : 101-107 . DOI : 10.1016 / j.lwt.2016Recommendations of the Nomenclature Committee of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology ( NC – IUBMB ) on the nomenclature and classification of enzymes by the reactions they catalyze [ Internet ] . 2017 . Available from : <http://www.chem.qmul.ac.uk/iubmb/enzyme/> [ Accessed : 06-03-2017 ]
- Legan JD . Mould spoilage of bread : The problem and some solutions International Biodeterioration & Biodegradation . 1993 ; 32 : 33-53 . DOI : 10.1016 / 0964-8305 ( 93 ) 90038-4
- Liu, T., Lin, Y., Yang K ., Tsai , Y.,Fu, Y., Wu, T.,2010. Significant Factors associated with severity and outcome of an initial episode of acute urticaria in children. *Pediatr Allergy Immunol.* P: 51-1043.
- Li Z , Dong Y , Xinghua Z , Xiao X , Zhao Y , Yu L. Dough properties and bread quality of wheat – barley composite flour as affected by  $\beta$  – glunacase . *Cereal Chemistry* . Nov./Dec . 2014,91 ( 6 ) : 631 . DOI : 10.1094 / CCHEM – 01-14-0019
- Masson, E., 2012. Vomissements. In : Mestier, L., Hépto-gastro-entérologie. 3 ème édition, Health Sciences. Paris. 190p. ISBN: 978-2-294-73855-5.
- Moonen H , Bas H. Mono- and diglycerides . In : Norn V , editor . *Emulsifiers in Food Technology* . 2<sup>nd</sup> ed . Chichester : Wiley – Blackwell ; 2015. Pp . 73-91
- Msagati TAM . *The Chemistry of Food Additives and Preservatives* . 1st ed . Chichester : Wiley – Blackwell ; 2013. 322 p . -De Leyn 1. Other Functional Additives . In : Zhou W ,

## Références bibliographique :

---

editor . Bakery Products Science and Technology . 2<sup>nd</sup> ed . Chichester . Wiley – Blackwell ; 2014. Pp . 295-306

-NIGGJ.T . , LEWIS K. , EDINGER T. , FALK M. , Meta – Analysis of Attention – Deficit / Hyperactivity Disorder or Attention Deficit / Hyperactivity Disorder Symptoms , Restriction Diet , and Synthetic Food Color Additives , Journal of the American Academy of Child B .. Artificial food dyes and attention deficit hyperactivity . disorder , Nutrition reviews , 2011

- Roussel, P et Bartolucci, J.C. 1997. Comportement des pâtes boulangères au façonnage. Industries des céréales, 01 Mai 1997, N° 102. P5-15 .

-Sahi SS . Ascorbic acid and redox agents in bakery systems . In : Zhou W , editor . Bakery Products Science and Technology . 2nd ed . Chichester : Wiley - Blackwell ; 2014. pp . 183-197

-Samapundo S , Devlieghere F , Vroman A , Eeck-Thombarea N , Jha U , Mishra S , Siddiqui MZ . Guar gum as a promising starting material for diverse applications : A review . International Journal of Biological Macromolecules . 2016 : 88 : 361-372 . DOI : 10.1016 / j.ijbiomac 2016.04.001 0141-8130

-Suhr KI , Nielsen PV . Effect of weak acid preservatives on growth of bakery product spoilage fungi at different water activities and pH values . International Journal of Food Microbiology . 2004 : 95 : 67-78 . DOI : 10.1016 / j.ijfoodmicro.2004.02.004

-Sluimer P. Principles of Breadmaking . Minnesota , USA : American Association of cereal Chemists , Inc . ; 2005 , 212 p , Scientific Reports , 2017

-Santos FR da S. Production and characterization of cellulases and hemicellulases by mesophilic fungal strains isolated from South Mato – Grosso state's Cerrado [ thesis ] . Dourados , Brazil : Federal University of Grande Dourados ; 2014

-Stauffer CE . Functional Additives for Bakery Foods . New York , USA : AVI Book ; 1990 , 280 p

– unextractable arabinoxylan . Journal of Cereal Science . 2001 : 33 : 301-312 . DOI : 10.1006 / jcrs.2000.0354

## Références bibliographique :

---

-Whitehurst RJ , Law BA . Enzymes in Food Technology . Boca Raton : Sheffield Academic Press , 2002.255 p

-Wang M , Hamer RJ , Van Vliet T , Gruppen H , Marseille H , Weegels PL . Effect of water unextractable solids on gluten formation and properties : mechanistic considerations . Journal of Cereal Science . 2003 ; 37 : 55-64 . DOI : 10.1006 / jcrs.2002.0478

-Zhou W. Therdthai N , Hui YH . Introduction to baking and bakery products . In : Zhou W , editor . Bakery Products Science and Technology . 2<sup>nd</sup> ed . Chichester : Wiley – Blackwell ; 2014. Pp . 3-16 .