

**Faculté de Pharmacie**

Année 2024

Thèse N°

Thèse pour le diplôme d'État de docteur en Pharmacie

Présentée et soutenue publiquement

Le 4 juillet 2024

Par

Paul Jervaise

**LA BIÈRE : DE LA FABRICATION AUX IMPACTS SUR LA SANTE**

Thèse dirigée par Mr LABROUSSE Pascal

Examineurs :

**M. Franck SAINT-MARCOUX, Professeur des Universités, Toxicologie, Université de Limoges**

**M. Cédric DELMON, Docteurs en Pharmacie et en science, Université de Limoges**

**M. Roland LAWSON, Maitre de Conférence des Universités, Pharmacologie, Université de Limoges**

**M. Pascal LABROUSSE, Maitre de Conférence des Universités, Mycologie, Université de Limoges**



Thèse pour le diplôme d'État de docteur en Pharmacie

Présentée et soutenue publiquement

Le 4 juillet 2024

Par Paul Jervaise

## **LA BIÈRE : DE LA FABRICATION AUX IMPACTS SUR LA SANTÉ**

Thèse dirigée par Mr LABROUSSE Pascal

Examineurs :

**M. Franck SAINT-MARCOUX, Professeur des Universités, Toxicologie, Université de Limoges**

**M. Cédric DELMON, Docteurs en Pharmacie et en science, Université de Limoges**

**M. Roland LAWSON, Maître de Conférence des Universités, Pharmacologie, Université de Limoges**

**M. Pascal LABROUSSE, Maître de Conférence des Universités, Mycologie, Université de Limoges**

## **Personnel enseignant de la Faculté de Pharmacie de Limoges**

---

Le 1<sup>er</sup> janvier 2024

### **Doyen de la Faculté**

**Monsieur le Professeur COURTIOUX Bertrand**

### **Vice-doyen de la Faculté**

**Monsieur LÉGER David, Maître de conférences**

### **Assesseurs de la Faculté**

**Monsieur le Professeur BATTU Serge, Assesseur pour la Formation Continue**

**Monsieur le Professeur PICARD Nicolas, Assesseur pour l'Innovation Pédagogique**

### **Professeurs des Universités – Hospitalo-Universitaires**

<b>M. BARRAUD Olivier</b>	Microbiologie, parasitologie, immunologie et hématologie
<b>M. PICARD Nicolas</b>	Pharmacologie
<b>Mme ROGEZ Sylvie</b>	Microbiologie, parasitologie, immunologie et hématologie
<b>M. SAINT-MARCOUX Franck</b>	Toxicologie

### **Professeurs des Universités – Universitaires**

<b>M. BATTU Serge</b>	Chimie analytique et bromatologie
<b>M. COURTIOUX Bertrand</b>	Microbiologie, parasitologie, immunologie et hématologie
<b>M. DESMOULIÈRE Alexis</b>	Physiologie
<b>M. DUROUX Jean-Luc</b>	Biophysique et mathématiques
<b>Mme FAGNÈRE Catherine</b>	Chimie organique, thérapeutique et pharmacie clinique
<b>M. LIAGRE Bertrand</b>	Biochimie et biologie moléculaire
<b>Mme MAMBU Lengo</b>	Pharmacognosie

**Mme POUGET Christelle** Chimie organique, thérapeutique et pharmacie clinique

**M. TROUILLAS Patrick** Biophysique et mathématiques

**Mme VIANA Marylène** Pharmacie galénique

### **Maitres de Conférences des Universités – Hospitalo-Universitaires**

**Mme. CHAUZEIX Jasmine** Microbiologie, parasitologie, immunologie et hématologie

**Mme DEMIOT Claire-Élise (\*)** Pharmacologie

**M. JOST Jérémy** Chimie organique, thérapeutique et pharmacie clinique

### **Maitres de Conférences des Universités – Universitaires**

**Mme AUDITEAU Émilie** Chimie organique, thérapeutique et pharmacie clinique

**Mme BEAUBRUN-GIRY Karine** Pharmacie galénique

**Mme BÉGAUD Gaëlle (\*)** Chimie analytique et bromatologie

**M. BILLET Fabrice** Physiologie

**Mme BONAUD Amélie** Microbiologie, parasitologie, immunologie et hématologie

**M. CALLISTE Claude** Biophysique et mathématiques

**M. CHEMIN Guillaume** Biochimie et biologie moléculaire

**Mme CLÉDAT Dominique** Chimie analytique et bromatologie

**M. COMBY Francis** Chimie organique, thérapeutique et pharmacie clinique

**M. FABRE Gabin** Biophysique et mathématiques

**M. LABROUSSE Pascal (\*)** Botanique et cryptogamie

**Mme LAVERDET Betty** Pharmacie galénique

**M. LAWSON Roland** Pharmacologie

**M. LÉGER David (\*)** Biochimie et biologie moléculaire

<b>Mme MARRE-FOURNIER Françoise</b>	Biochimie et biologie moléculaire
<b>M. MERCIER Aurélien</b>	Microbiologie, parasitologie, immunologie et hématologie
<b>Mme MILLOT Marion (*)</b>	Pharmacognosie
<b>Mme PASCAUD-MATHIEU Patricia</b>	Pharmacie galénique
<b>M. TOUBLET François-Xavier</b>	Chimie organique, thérapeutique et pharmacie clinique
<b>M. VIGNOLES Philippe (*)</b>	Biophysique et mathématiques

**(\*) Titulaire de l'Habilitation à Diriger des Recherches (HDR)**

#### **Professeur associé en service temporaire**

<b>M. FOUGÈRE Édouard</b>	Chimie organique, thérapeutique et pharmacie clinique
---------------------------	---

#### **Assistant Hospitalo-Universitaire des disciplines pharmaceutiques**

<b>Mme MARCELLAUD Élodie</b>	Chimie organique, thérapeutique et pharmacie clinique
------------------------------	---

#### **Attachés Temporaires d'Enseignement et de Recherche**

<b>M. DELMON Cédric</b>	Microbiologie, parasitologie, immunologie et hématologie
<b>M. HAMION Guillaume</b>	Pharmacognosie, Botanique et Mycologie
<b>Mme SONDA Amar</b>	Chimie analytique et bromatologie

#### **Enseignants d'anglais**

<b>M. HEGARTY Andrew</b>	Chargé de cours
<b>Mme VERCELLIN Karen</b>	Professeur certifié

## Remerciements

---

Merci à vous, membres du jury, qui m'avez fait l'honneur de juger mon travail et d'être présents aujourd'hui pour ma soutenance.

J'aimerais tout d'abord remercier mon maître de thèse, M. Labrousse Pascal. Il a toujours été disponible, à l'écoute et investi dans cette thèse. Merci pour toutes vos corrections, vos remarques et vos « ref », cela m'a permis de pouvoir terminer ce projet. Pour faire simple, je vous remercie pour votre patience et votre accompagnement durant ces deux années.

À titre personnel, je voudrais dire un grand merci à ma compagne Maud pour m'avoir épaulé, supporté, remotivé, assisté, encouragé... Si aujourd'hui, je peux présenter cette thèse devant vous, c'est grâce à toi.

Merci à Mélanie, d'avoir pris le temps de partager ses connaissances du métier durant mon stage de cinquième année. Et dans un second temps, toute ma gratitude pour m'avoir régulièrement poussé à réaliser cette thèse.

Merci à M. Lagorce Florian, de m'avoir accompagné dans la réussite comme dans la défaite. Merci d'avoir partagé toutes ces années de révisions, de fêtes et de galères.

Enfin, je termine avec ma famille envers qui je suis très reconnaissant, merci de m'avoir soutenu durant toutes ces années de pharmacie.

## Droits d'auteurs

---

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :  
« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »  
disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



## Liste des abréviations

---

AA : Acide Aminé

Acc : Noyau accumbens

ADH : Alcool-DésHydrogénase

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

AJC : Apports journaliers recommandés

ALDH2 : ALdéHyde-DésHydrogénase

ARN : Acide RiboNucléique

ATP : Adénosine TriphosPhate

ATV : Aire Tégmentale Ventrale

DA : Dopamine

DMS : DiMéthyle de sulfure

EBC : European Brewing Convention

ENILBIO : École Nationale d'Industrie Laitière et des Biotechnologies

GABA : Acide Gamma-AminoButyrique

IgA : ImmunoGlobuline de type A

IgE : ImmunoGlobuline de type E

INSERM : Institut national de la santé et de la recherche médicale

IPA : India Pale Ale

MMP : MétalloProtéases Matricielles

NA : Noradrénaline

NADH : Nicotinamide Adénine Dinucléotide

SWK : Syndrome de Wernicke-Korsakoff

TH : Titre Hydrotimétrique

XO : Xanthine Oxydase

## Table des matières

---

Introduction.....	15
I. Historique .....	17
II. Les ingrédients .....	24
II.1. L'eau.....	24
II.2. Les levures .....	26
II.2.1.1. Les levures à fermentation haute.....	26
II.2.1.2. Les levures à fermentation basse .....	27
II.2.1.3. Les levures sauvages .....	28
II.3. Le malt .....	28
II.4. Le houblon.....	30
II.4.1. Nomenclature.....	30
II.4.2. Description botanique .....	31
II.4.2.1. La description botanique de la pharmacopée .....	32
II.4.3. Les composants d'intérêts pour une bonne bière.....	32
II.4.3.1. Acides alpha.....	32
II.4.3.2. Acides bêta .....	33
II.4.3.3. Xanthohumol.....	34
II.4.3.4. Les huiles essentielles .....	34
II.4.3.4.1. Hydrocarbures .....	34
II.4.3.4.2. Dérivés oxygénés et ester .....	35
II.4.3.5. Les tanins .....	35
III. Les procédés de fabrications et les risques.....	37
III.1. Le maltage.....	37
III.1.1. La préparation .....	37
III.1.2. Le trempage .....	37
III.1.3. La germination .....	37
III.1.1. Le touraillage.....	37
III.1.2. Le dégermage.....	38
III.2. Le concassage .....	39
III.3. Le brassage.....	40
III.3.1. L'empâtage .....	40
III.3.1.1. Les bêta-amylases.....	41
III.3.1.2. Les alpha-amylases .....	42
III.3.2. Le mash-out .....	42
III.3.3. La filtration .....	44
III.3.4. L'ébullition .....	44
III.3.5. Le houblonnage .....	45
III.3.6. Le refroidissement.....	45
III.3.7. La fermentation .....	45
III.3.8. La maturation .....	45

III.3.9. L'embouteillage .....	46
III.4. Les contaminations et leurs impacts .....	46
III.4.1. Les bactéries lactiques.....	47
III.4.2. Les bactéries acétiques .....	47
III.4.3. Les entérobactéries.....	48
IV. La composition de la bière.....	49
IV.1. Les oligoéléments .....	49
IV.1.1. Le chrome .....	49
IV.1.2. Le cuivre .....	50
IV.1.3. Le fer.....	50
IV.1.4. Le fluor .....	50
IV.1.5. Le manganèse .....	50
IV.1.6. Le sélénium.....	50
IV.2. Les sels minéraux .....	51
IV.2.1. Les cinq électrolytes de l'organisme .....	51
IV.2.1.1. Le magnésium .....	52
IV.2.1.2. Le calcium.....	52
IV.2.1.3. Le chlore .....	52
IV.2.1.4. Le potassium .....	52
IV.2.1.5. Le sodium .....	52
IV.2.2. Le phosphore .....	52
IV.2.3. Le soufre .....	53
IV.3. Les macronutriments.....	53
IV.3.1. Les glucides .....	53
IV.3.2. Les protides .....	54
IV.4. Les Vitamines.....	56
IV.4.1. La Vitamine B1 .....	56
IV.4.2. La Vitamine B2.....	56
IV.4.3. La vitamine B3 .....	57
IV.4.4. La vitamine B5 .....	57
IV.4.5. La vitamine B8 .....	57
IV.4.6. La vitamine B9 .....	58
IV.4.7. La vitamine B12 .....	58
V. Les effets sur l'organisme.....	59
V.1. Court terme .....	59
V.1.1. L'intolérance.....	59
V.1.2. L'allergie.....	59
V.1.3. L'activité digestive .....	61
V.1.4. L'impact sur le microbiote.....	61
V.1.5. L'activité antioxydante .....	62
V.1.6. L'alcool .....	64
V.1.7. La veisalgie .....	68

V.2. Long terme .....	68
V.2.1. Bière et uricémie .....	68
V.2.2. Bière et phytoœstrogène.....	70
V.2.3. Bières et carences .....	73
VI. Possible utilisation dans les futurs traitements.....	76
VI.1. Valorisation non médicale .....	76
VI.1.1. Alimentation humaine .....	76
VI.1.2. Produits cosmétiques .....	77
VI.1.3. Utilisation en tant que biomatériaux.....	77
VI.2. Valorisation médicale .....	78
VI.2.1. Bières et les enrichissements possibles .....	78
VI.2.2. Les possibilités du xanthohumol .....	79
VI.2.2.1. Potentiel antitumoral.....	80
VI.2.2.1.1. Cancer du sein .....	81
VI.2.2.1.2. Le glioblastome .....	82
VI.2.2.1.3. Cancer hématologique .....	82
VI.2.2.1.4. Cancer de la prostate.....	82
VI.2.2.1.5. Cancer du poumon.....	82
VI.2.2.2. Potentiel répulsif.....	83
VI.2.2.3. Potentiel antibiotique .....	84
VI.2.2.4. Potentiel anti-âge.....	84
Conclusion.....	86
Références bibliographiques .....	88
Serment De Galien .....	97

## Table des illustrations

---

Figure 1 - Grotte de Raqefet (2) .....	17
Figure 2 - Réfrigérant de Vauché (14) .....	20
Figure 3 - Le groupe ABinBev et ses marques les plus connues (17).....	21
Figure 4 - Le groupe Heineken et ses marques les plus connues (18) .....	22
Figure 5 - Le groupe Carlsberg et ses marques les plus connues (19).....	22
Figure 6 - Planche botanique (22) .....	29
Figure 7 - Comparatif de l'orge de printemps et l'orge d'hiver (23) .....	30
Figure 8 - Planche botanique - <i>Humulus lupulus</i> (26).....	31
Figure 9 - Acides alphas (23).....	33
Figure 10 - Acides bêtas (23).....	33
Figure 11 - Molécule du xanthohumol (23).....	34
Figure 12 - Différents hydrocarbures présent dans une bière (31).....	35
Figure 13 - Les dérivés oxygénés (31) .....	35
Figure 14 - Couleur des malts et leurs appellations (33).....	38
Figure 15 - Échelle de l'EBC (34) .....	39
Figure 16 - Molécules d'amylose et d'amylopectine (35).....	40
Figure 17 - Graphique présentant l'activité enzymatique en fonction de la température (35)	41
Figure 18 - Réaction des bêta-amylases (36) .....	42
Figure 19 - Graphique d'une réaction mono-palier (37) .....	43
Figure 20 - Graphique d'une réaction multi-paliers (38) .....	44
Figure 21 - Régulation de l'excitation-contraction-relaxation du muscle cardiaque (41).....	51
Figure 22 - Les différents type de glucides (45).....	53
Figure 23 - Compositions d'un protide (46).....	54
Figure 24 - Constitution d'un brin d'ARN et d'une chaîne d'ADN (47) .....	55
Figure 25 - Métabolisation de l'alcool par l'ADH et l'aldéhydes déshydrogénase (ALDH) (54) .....	59
Figure 26 - Mécanisme schématique de l'allergie, hypersensibilité de type I (57) .....	60
Figure 27 - Formules des composés phénoliques (67) .....	63
Figure 28 - Structure de base d'un composé flavonoïde (67).....	64
Figure 29 - Représentation schématique du circuit de la récompense (74).....	65
Figure 30 - Liens entre neurones dopaminergiques, sérotoninergiques et noradrénergiques (75).....	66

Figure 31 - Métabolisme de la purine en acide urique (80) .....	69
Figure 32 - Structures chimiques de l'estradiol (20), de l'isoflavones (21) et de la 8-prénylnaringénine (8-PN) (4) (90).....	71
Figure 33 - Analogie structurelle entre l'œstradiol et différents phytoœstrogènes (92).....	71
Figure 34 - Mécanisme des phytoœstrogènes dans la cellule (94) .....	73
Figure 35 - Assortiments de la marque Resurrection® (104) .....	77
Figure 36 - Produits disponible de la marque Instead® (74) .....	77
Figure 37 - Bière colorée à la phycocyanine (108).....	78
Figure 38 - Etiquettes de présentation des bières aromatisée aux champignons (109) .....	79
Figure 39 - Formule chimique du xanthohumol (111).....	80
Figure 40 - Profil mécanistique <i>in vitro</i> du xanthohumol sur divers cancers (74).....	81
Figure 41 - Organigramme représentant l'efficacité des répulsifs (114) .....	83
Figure 42 - Echantillon de produits cométiques que propose la marque Xantho ® (120).....	85

## Table des tableaux

---

Tableau 1 - Impact des ions sur la bière .....	26
Tableau 2 - Comparaison de la teneur totale en purine entre les boissons alcooliques (87)	70

## Introduction

---

Les premières cultures agricoles ont permis à l'Homme de passer de la chasse et de la cueillette à un mode de vie sédentaire. C'est dans le Croissant Fertile que les plus anciennes traces de culture, notamment de céréales telles que le blé et l'orge, ont fait leur apparition, il y a 10 000 ans. Les céréales ont longtemps été la source d'alimentation principale mais, pour conserver ces grains d'une saison à l'autre, cela nécessite une conservation dans un endroit propre et sec. A l'abri de l'humidité, tout risque de germination est évité. Si un début de germination était observé sur des grains, ceux-ci étaient consommés en bouillie. Cette bouillie se constituait d'un mélange de grains germés broyés et d'eau. L'hypothèse est qu'une de ces bouillies fut oubliée à l'air libre trop longtemps, le processus de fermentation spontanée aurait transformé les sucres en alcool mettant ainsi au point la première boisson fermentée à base de céréale.

Cette technique de fermentation est une méthode naturelle et efficace pour augmenter la durée de conservation des aliments et des boissons. C'est un processus utilisé depuis des millénaires dans diverses cultures pour préserver la nourriture et les boissons de manière sûre et efficace en améliorant leurs contenus nutritionnels. Cette réaction de fermentation est basée sur la production d'acides, d'alcool et de dioxyde de carbone, tout en favorisant le développement des micro-organismes bénéfiques. La fermentation crée un environnement qui prévient la croissance des agents pathogènes et la détérioration de l'aliment, permettant une conservation prolongée.

Les traces de boissons fermentées, telles que les jus de fruits, l'hydromel, le kéfir et le kombucha se retrouvent à travers le monde. Le kéfir, originaire des montagnes du Caucase en Europe de l'Est, est une boisson fermentée à base de grains de kéfir (le levain) et de lait. Le kombucha est une boisson fermentée à base de thé sucré, provenant du Nord-Est de la Chine. Datant de plus de 10 000 ans, l'hydromel serait la première boisson fermentée de l'Histoire. L'hydromel est composé de miel et d'eau. Cette boisson est considérée par de nombreux historiens comme l'ancêtre de la bière et du vin. Au fil du temps, cette boisson, très utilisée en tant que traitement médicinal ou encore dans les rituels funéraires et d'offrande aux dieux, a été perfectionnée pour donner naissance à des versions plus modernes. La recherche sur les boissons fermentées continue de progresser, visant à maximiser leurs bienfaits pour la santé en améliorant leurs qualités nutritionnelles et thérapeutiques, en optimisant les processus de fermentation et en découvrant de nouvelles souches probiotiques bénéfiques.

Dans l'univers riche et diversifié des boissons fermentées, deux élixirs se distinguent par leur histoire et leur complexité : la bière et le vin. La bière, boisson pétillante avec des arômes maltés, évoque la convivialité, les tavernes et les brasseries artisanales. Le vin, en revanche, incarne l'élégance et le raffinement. Bien souvent perçus comme opposés, ces deux « nectars » partagent un lien profond avec la richesse de nos traditions gastronomiques.

Ces deux boissons offrent des bienfaits pour la santé lorsqu'elles sont consommées avec modération. Cependant, le vin, et en particulier le vin rouge, a souvent été plus étudié et présenterait plus de bienfaits avérés. Toutefois, nous allons voir que la bière regorge elle aussi de nombreux secrets. Nous allons nous concentrer sur le meilleur de la bière en excluant les côtés négatifs tous en lien avec l'abus d'alcool et ses potentiels dangers. Ce travail se concentre sur les bienfaits d'une consommation modérée de bière car nous le rappelons ;

l'abus d'alcool est dangereux pour la santé et toute boisson alcoolisée est à consommer avec modération.

Comment cette boisson millénaire a su traverser les âges ? Comment les éléments constituant la bière, peuvent-ils l'impacter ? Quels seraient donc les bienfaits d'une consommation modérée de bière sur la santé ? Quelles seraient les molécules actives responsables de ces effets médicaux intéressants ?

Dans une première partie, nous allons voir comment, à travers les âges, la bière a su évoluer pour conduire au produit que nous connaissons aujourd'hui.

Dans une seconde partie, nous allons étudier les composants fondamentaux de cette boisson. Nous verrons qu'au fil du temps sa composition a évolué pour arriver à un rendu stable du point de vue de sa conservation mais aussi du point de vue gustatif. De l'eau au malt, en passant par le houblon et les levures, chaque ingrédient joue son rôle et détermine le caractère de la bière.

Dans une troisième partie, nous aborderons les techniques de brassage en se focalisant sur la plus classique permettant de comprendre tous les rouages d'un bon brassage. Nous allons voir comment les brasseurs peuvent jouer sur différents paramètres et sur les différentes étapes afin de se différencier.

Dans une quatrième partie, nous étudierons la composition nutritionnelle de la bière, en analysant ses macronutriments et micronutriments. Comprendre la composition est essentiel pour évaluer les impacts de la consommation de bière sur la santé.

Dans la cinquième partie, nous explorerons les bénéfices potentiels d'une consommation modérée de bière en lien avec les différentes molécules impliquées. Les effets reportés concernent, notamment, les potentiels anti-oxydants, anti-cancéreux et antibiotique. Les utilisations, à plus ou moins long terme, seront également présentées.

Enfin, dans la sixième partie, nous nous tournerons vers les ouvertures possibles d'une valorisation de la bière et de ses coproduits, que ce soit sur une valorisation médicale avec des molécules prometteuses, ou sur une valorisation non médicale avec les déchets issus du brassage.

## I. Historique

L'origine précise de la bière n'a pas encore été déterminée, son apparition a longtemps été associée à l'invention de l'agriculture vers 8000 Avant Jésus Christ (Av J.C) ou encore à l'invention de la poterie vers 6000 Av J.C. En 2018, une équipe internationale d'archéologues a découvert une sépulture de Nafoutiens en Israël. Une culture de transition entre l'Épipaléolithique et le Néolithique. La grotte de Raqefet renferme des mortiers en pierre avec des traces de bière datant de -11 000 Av J.C comme le montre la figure 1. (1)

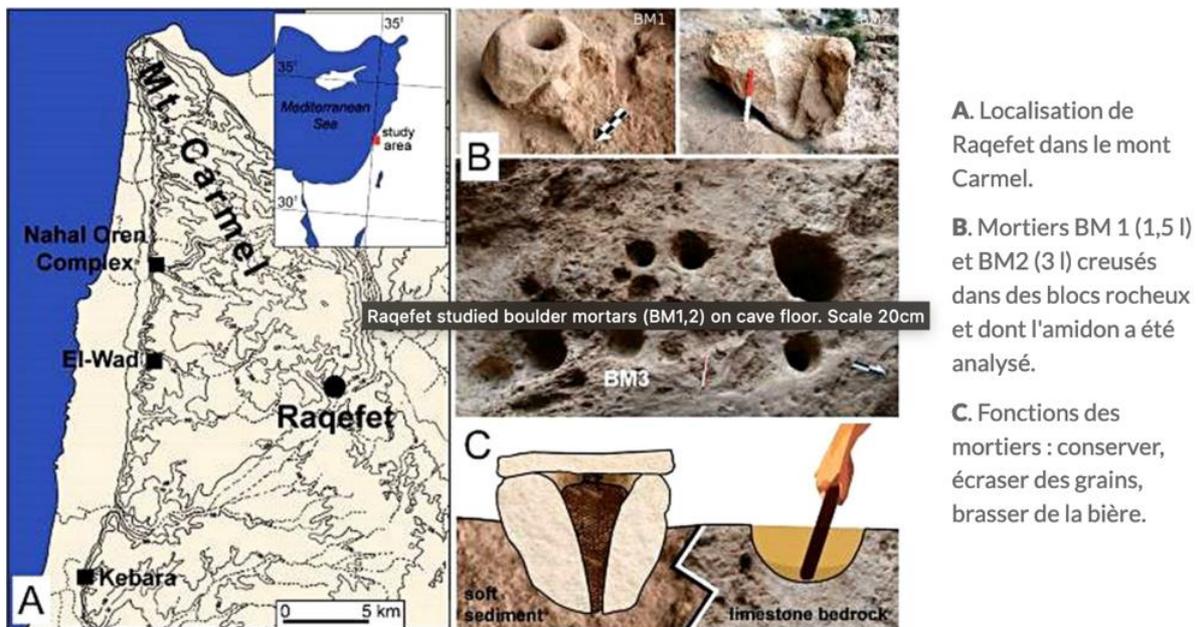


Figure 1 - Grotte de Raqefet (2)

Les premières traces écrites concernant la bière datent de 8000 Av J.C (3) et se localisent au niveau du croissant fertile se situant entre les fleuves Tigre et Euphrate actuellement Iran, Irak et Syrie. Elles décrivent la production en Mésopotamie de bière à base d'eau, de céréales germées (orge, épeautre, millet, blé etc...), écrasées et fermentées appelée « *Sikaru* » (4) qui se traduit littéralement par « pain liquide ».

Plus tard vers 3000 Av J.C, les Égyptiens développent l'art du brassage à base d'orge en ajoutant des épices tel que le safran, le gingembre, la genièvre etc...(4) véritable boisson nationale nommée « *zythum* ». Elle est utilisée comme monnaie dans les échanges commerciaux et également dans les offrandes aux Dieux. Ce breuvage est cité en tant que source de vitamines et d'acides aminées dans le « papyrus Ebers ». Ce papyrus est le plus ancien traité complet de médecine datant du second millénaire Av J.C. Le *zythum* est aussi citée dans « le livre des Morts » car elle accompagne le défunt dans l'au-delà en tant qu'offrande.(5)

Le *zythum* est fabriqué à base de céréales (blé ou orge), de dattes et de miel. Cette préparation débute par la fabrication de pâtons<sup>1</sup> frais. Ces pâtons frais, sont ensuite placés dans des moules brûlants permettant de cuire la croûte tout en laissant l'intérieur cru. Ces pains sont alors émiettés et ajoutés dans une cuve d'eau, de dattes, de miel. Le brasseur ajoute le levain et le laisse fermenter quelques jours. Il prélève ensuite l'écume de la cuve renfermant le levain pour le prochain brassage. Le contenu de la cuve est alors transféré dans des amphores quand il est prêt à la consommation. (6)

En Grèce antique vers 700 Av J.C, et jusqu'à l'Empire Romain au V<sup>ème</sup> siècle, la bière est boudée pour faire place au vin issu du raisin. La coutume de l'époque veut qu'un Grec consomme des mets chauds reflétant sa virilité. C'est alors que le vin consommé chaud à cette époque reflète la virilité tandis que la bière, elle consommée froide représente la féminité et la mollesse (4). Cela n'a pas empêché un certain perfectionnement du brassage. La bière peut être issue, de l'orge, du froment ou de l'avoine, maltée et aromatisée avec du miel et des herbes. Les Romains ne la consomment pas mais l'utilisent comme monnaie (4), ce qui permet une grande diffusion à travers l'Europe occidentale jusqu'aux pays nordiques. A cette époque le terme n'était pas « bière » mais « *cervesia* » dont l'étymologie provient de « *cérèse* » nom de la déesse des moissons et de « *vis* » en latin qui signifie la force. Une légende raconte que Cérès, déesse des moissons et des céréales, aurait découvert la boisson et en aurait fait bénéficier les peuples dont les terres ne se prêtaient pas à la culture de la vigne.(7)

Les Gaulois utilisaient la méthode de brassage traditionnel mais furent à l'origine du foudre<sup>2</sup> utilisé pour la fermentation et du tonneau de bois. En effet, le transport en bateau se faisait en jarres de terre cuite mais, pour les transports terrestres, celles-ci présentaient des faiblesses structurales. Pour résoudre ce problème, les gaulois inventèrent les tonneaux permettant un transport plus sûr, une manipulation plus aisée et une conservation améliorée. L'histoire retrace qu'ils furent inventés dans un premier temps pour le vin mais son utilisation pour la bière est bien retranscrite.(4) Les Gaulois ont également modifié l'assaisonnement avec le « gruit », en allemand signifiant « herbe » responsable de l'arôme de la bière. Il s'agit d'un mélange de plantes dans lesquels se retrouvent souvent la genièvre, le laurier, le thym, le romarin, l'hysope etc...(3) L'association avec d'autres plantes ou épices était propre à chaque brasseur.

C'est durant le Moyen-Âge que la bière prit un réel tournant dans sa production en France. La production autrefois réservée aux femmes (3) fut centralisée, dans les monastères sous l'intendance des moines. Le roi Dagobert (628-638) leur confia cette production. Plus tard, un descendant de Dagobert, le roi Charlemagne (768-814) continua les réformes en réunissant les brasseurs en corporation et créa une charte afin de régir la fabrication de la bière. Aujourd'hui encore, l'Association Internationale Trappiste (AIT) rassemble vingt abbayes trappistes<sup>3</sup>. (6)

---

<sup>1</sup> Boule de pâte qui est obtenue par pétrissage.

<sup>2</sup> Tonneau de très grande capacité, équivalent à plusieurs tonneaux.

<sup>3</sup> Label utilisé pour désigner des bières brassées au sein d'une abbaye appartenant à l'ordre des Trappistes.

Dans l'un des édits<sup>4</sup> royaux de Charlemagne, il exige que chaque métairie<sup>5</sup> royale, chaque monastère doit posséder une brasserie. Les moines, paysans et artisans produisaient surtout dans le nord de l'Europe des bières qui réconfortaient les pèlerins et les voyageurs de passage dans les monastères et les abbayes. (8)

C'est au XI<sup>ème</sup> siècle, que l'abbesse Hildegarde de Bingen (1098-1179), religieuse allemande, véritable botaniste, découvrit les propriétés du houblon dans la bière. Cette plante permet une meilleure conservation du produit, possède des vertus antiseptiques, antibactériennes et apporte de l'amertume.

Outre le fait que la bière ait joué un rôle de monnaie ou d'offrande, elle a également joué un rôle médical. Les Grecs recommandaient de la bière et de l'ail contre les morsures de vipère aspic ou encore pour purifier le sang (9), les Romains utilisaient de la bière tiède et du miel contre la toux ou bien encore de la bière et de la moutarde contre les blessures de flèches. Au Moyen-Âge, Saint Arnould de Tieghem (582-640) convainc les habitants d'Oudenburg en Allemagne de privilégier la bière plutôt que l'eau pour échapper à la peste (6). Cette pratique a persisté en France, des Gaulois au Moyen-Âge, ce qui permettait d'assimiler les calories essentielles pour une journée de travail. (3)

Il fallut attendre le XII<sup>ème</sup> siècle pour que la ville Hambourg en Allemagne abandonne le gruit au profit du houblon. Grâce aux propriétés du houblon, la conservation de la bière est nettement augmentée. Ceci déclenche l'abandon du gruit au profit du houblon.

En 1258, Louis IX (1214-1270) organisa la première corporation des « cervoisiers ». En 1268, le premier statut des "cervoisiers" est rédigé par Etienne Boileau, Prévôt de Paris. La première vente de cervoise apparaît à Paris au XIII<sup>ème</sup> siècle dans les cafés ayant une licence de bière. Jusqu'à cette période, la vente de cervoise était réservée aux brasseurs membres de la corporation fondé par Charlemagne. (8)

En 1420, la technique de fermentation basse est mentionnée pour la première fois, dans les minutes du conseil de la ville de Munich (10). Cantonné à la Bavière depuis le XV<sup>ème</sup> siècle, la fermentation basse est suivie d'une phase de stockage qui durait quelques mois, aujourd'hui quelques semaines. Les bières de fermentation basse sont appelées « Lager » terme qui vient de « lagern » en allemand qui signifie stocker.

C'est au XV<sup>ème</sup> siècle qu'apparaît l'appellation « Bière » en vieux français dans le statut des brasseurs de Paris qui est mis en place par une ordonnance du 1<sup>er</sup> avril 1435 sous le règne de Charles VII (1403-1461). (11)

La chute de la royauté et l'abolition des privilèges en 1789, entraînent la vente des biens d'abbaye et l'abolition des corporations. Les biens de l'Église deviennent « biens nationaux » (12). La chute des corporations permis l'essor des différents corps de métiers qui étaient autrefois réprimés sur les modalités de fabrication, les conditions de travail et le prix de revente afin d'éviter toute concurrence sur le territoire. (13)

---

<sup>4</sup> Acte législatif émanant des anciens rois de France.

<sup>5</sup> Propriété foncière exploitée selon un contrat qui engage le bailleur à cultiver contre partage des fruits et pertes.

Il fallut attendre la révolution industrielle du XIX<sup>ème</sup> siècle pour marquer un tournant dans la fabrication de la bière. Je vais vous citer les inventions qui ont permis de révolutionner le brassage en quelques siècles.

En 1731, René-Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757), inventa le thermomètre. Il mit au point une échelle de températures avec un thermomètre défini par la dilatation apparente de l'alcool en calibrant un intervalle de référence entre le point de congélation de l'eau (valeur 0) et le point d'ébullition de l'eau (valeur 80). Son thermomètre est utilisé en France avant l'adoption de l'échelle de Celsius par la Convention en 1794. (14)

En 1856, Jean Louis Baudelot de Sedan (1797-1881) inventa un refroidisseur de moût grâce auquel il est désormais possible, de fabriquer la bière toute l'année (Figure 2).

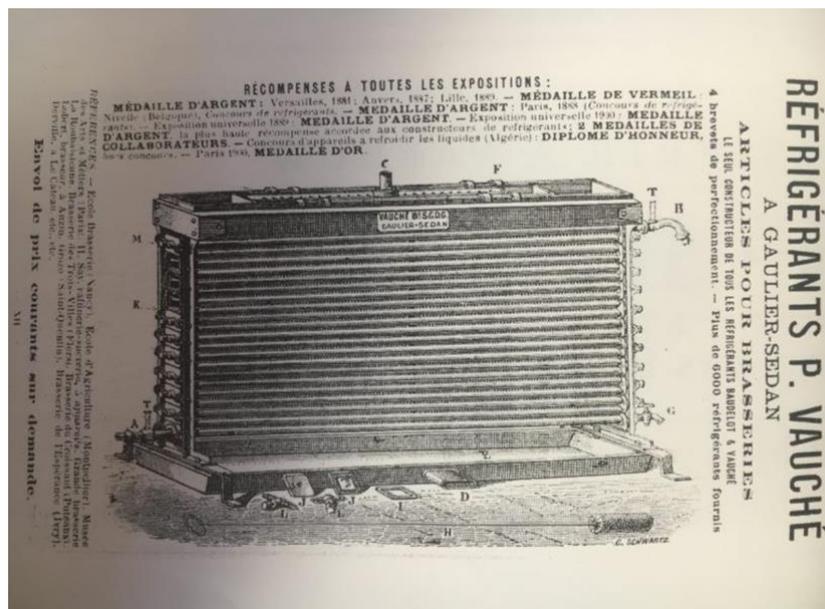


Figure 2 - Réfrigérateur de Vauché (14)

Il s'agit d'un système de refroidissement étanche immergé dans le moût dans lequel de l'eau circule à basse température. Ce système, révolutionnaire pour l'époque, permet un refroidissement plus rapide et plus propre. Avant cette invention le moût était refroidi par une personne : le brasseur, chargée de remuer pendant plusieurs heures au risque de nombreuses infections.

En 1870, Carl Von Linde (1842-1934) inventa la machine frigorifique. Cette invention révolutionnera le brassage en permettant l'expansion de la fermentation basse et en augmentant le temps de conservation.

En 1873, Louis Pasteur (1822-1895) après avoir été à l'origine du terme de « la pasteurisation ». Il conseilla une élévation de la température afin d'éliminer les germes indésirables contenus dans la bière. La pasteurisation est un traitement thermique compris entre 60 et 100°C ayant pour but de détruire la totalité des micro-organismes pathogènes non sporulés.

Peu après, Emil Christian Hansen (1842-1909), mycologue Danois, employé de Carlsberg identifia les levures basées sur les travaux de Pasteur et perfectionna leur culture. (6)

En 1879, Thomas Edison (1847-1931) construisit la première centrale électrique permettant d'alimenter les foyers et les usines. Le froid industriel associé à l'électricité permirent l'installation de chambres froides et de climatiseurs. Ces installations ont permis de ne plus se limiter aux cycles des saisons, faisant ainsi de chaque saison, une saison idéale pour la fermentation des bières. (15)

En 1892, William Painter (1838-1906) inventa la capsule couronne, qui permet l'automatisation de l'embouteillage.

Toutes ces évolutions ont permis d'obtenir une bière propre, limpide et de qualité constante.

Les trois guerres franco-allemandes, (1870-1871 Guerre Franco-Prussienne, 1914-1918 Première Guerre-Mondiale et 1939-1945 Seconde Guerre-Mondiale) ont entraîné un changement culturel dans la consommation de la bière en France.

Mais c'est durant la Grande Guerre (1914-1918), que les brasseries des territoires occupés, sont démontées par l'occupant allemand pour en récupérer le cuivre et limiter la consommation de grains par les civils. C'est tout une partie du patrimoine brassicole français qui est alors détruit. La propagande de guerre, associe le vin au Poilu et la bière au soldat Allemand. Cette propagande fait ainsi chuter la consommation du pays. En 1910, il y avait un total de 2 827 brasseries sur l'ensemble du territoire.

Puis en post-guerre (1939-1945), une lutte est menée contre l'alcoolisme qui favorise le déclin de la consommation de la bière au profit de l'eau et les sodas.

En 1976, il ne reste plus que 23 brasseries en France. L'apparition de grand établissement provoqua la fermeture de milliers de brasseries dans toute l'Europe. La fusion de ces brasseries a permis la formation des grands groupes que nous connaissons aujourd'hui. (16)

Le groupe « ABInBev », un géant belge, est le premier brasseur mondial. C'est une entreprise belgo-brésilienne avec plus de 500 marques de bières (Figure 3) dont le siège se situe à Louvain en Belgique.



Figure 3 - Le groupe ABInBev et ses marques les plus connues (17)

Le groupe « Heineken » fait partie du groupe international ABInBev qui possède plus de 300 marques de bières vendues dans le monde. ABInBev est premier en Europe et second au niveau mondial. « Heineken France » est à la fois brasseur et distributeur car la filiale possède 3 brasseries en France : Mons-en-Barœul, Schiltigheim et Marseille. (Figure 4)



Figure 4 - Le groupe Heineken et ses marques les plus connues (18)

Le groupe « Carlsberg », troisième brasseur mondial, détient plus de 140 marques de bières. Fondé par le brasseur danois J. C. Jacobsen en 1847, la brasserie Carlsberg s'est considérablement développée et a notamment racheté la brasserie française « Kronenbourg » en 2008. A savoir que « Kronenbourg » est un brasseur de tradition française fondé en 1664 par Jérôme IV Hatt en Alsace. (Figure 5)



Figure 5 - Le groupe Carlsberg et ses marques les plus connues (19)

Fin 2022, un recensement sur le territoire français métropolitain et en outre-mer dénombre plus de 2 513 brasseries produisant plus de 10 000 références (16). Sur les 2 milliards d'hectolitres (6) produit annuellement au niveau mondial, la production Française est estimée à 21,5 millions d'hectolitres (6) pour une consommation moyenne de 33 L/an/habitant ce qui nous classe au 27<sup>e</sup> rang sur 28, loin derrière les Tchèques avec 126 L/an/habitants qui sont les premiers consommateurs de bières au niveau Européen. (6)

## II. Les ingrédients

---

La bière est composée de quatre ingrédients essentiels : l'eau, la levure provoquant la fermentation, le malt qui est une céréale germée majoritairement de l'orge mais aussi du blé ou du seigle et le houblon permettant d'amériser et de parfumer la bière. Pour une meilleure compréhension de ce que je vais vous exposer, je prendrai comme céréale référente l'orge car c'est la plus ancienne et la plus largement utilisée.

### II.1. L'eau

L'eau est l'ingrédient essentiel puisqu'elle représente plus de 90% de la bière. Son utilisation intervient avant même le brassage de la bière puisqu'elle est d'abord utilisée dans la culture de l'orge - *Hordeum vulgare* qui est une céréale gourmande en eau et dans la culture du houblon – *Humulus lupulus* plante grimpante que je vous décrirai toutes deux plus bas. L'eau est utilisée dans le processus de maltage avec laquelle la « trempe » est réalisée permettant d'humidifier les grains facilitant la germination. Puis elle est utilisée dans la réalisation du brassage, ainsi que dans les étapes de fabrication des contenants tel que bouteilles de verre, canettes métalliques et produits cartonnés.

Pour un petit comparatif, il faut compter environ 298 litres d'eau nécessaire à la fabrication d'un litre de bières contre 872 litres pour un litre de vin. (17)

L'eau peut être douce, dure ou minérale ce qui va impacter la bière notamment au point de vue visuel, nutritionnel et gustatif. La dureté de l'eau représente une importance cruciale dans la fabrication de la bière. Tout d'abord il nous faut une eau potable.

La dureté de l'eau est liée à la quantité de sels de calcium et de magnésium présent dans l'eau. Le titre hydrotimétrique (TH) ou dureté de l'eau, permet d'obtenir une indication sur la teneur globale en calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et en magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). L'unité de mesure du TH est le degré français :  $1^\circ\text{f} = 10 \text{ mg/L de CaCO}_3 = 4 \text{ mg/L de Ca}^{2+}$ .

Un taux compris entre 50 – 150mg/L donne une eau douce tandis qu'un taux compris entre 150 – 200mg/L donnera une eau dure. (3)

La concentration en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  ont également un impact sur l'alcalinité de l'eau. L'eau se charge naturellement en dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) qui produit de l'acide carbonique ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) qui forme des ions bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) et carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ).



Plus une eau est dure, plus il y a de réactions avec les carbonates et l'acide carbonique. L'alcalinité représente la capacité de l'eau à neutraliser des acides donc à stabiliser le pH grâce au caractère amphotère<sup>6</sup> du bicarbonate, qui joue le rôle de tampon et permet de limiter les variations du pH de l'eau.

---

<sup>6</sup> Capable de se combiner aux acides comme aux bases.

Dans l'eau utilisée, nous allons nous concentrer sur six ions qui influent sur la qualité du brassage. Ils influent sur la réalisation et sur son rendu final par ses diverses possibilités de saveurs.

Nous simplifierons les réactions chimiques et dirons ici que les ions carbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) représentent le pH de l'eau. Un faible taux d'ions carbonates représente un pH bas donc une acidité importante. Nous chercherons à réaliser une alliance entre un malt qui donne l'acidité à la bière et son eau qui l'équilibrera nous permettant de rester dans l'intervalle de pH de 5,5 – 5,8.

Le sodium (Na) est responsable de la rondeur<sup>7</sup> et du corps<sup>8</sup> de la bière. Sa proportion classique se situe entre 10 et 70 milligrammes par litre (mg/L). Au-delà de 150mg/L, celui-ci donnera un gout salé, astringent<sup>9</sup>, acide et ferreux à la bière.

Le magnésium (Mg) participe à la dureté de l'eau et à son acidité. Il est essentiel pour les levures. Une dose minimale est requise pouvant aller de 5mg/L jusqu'à 40mg/L. Si la dose est au-delà de 50mg/L, celui-ci provoque une sécheresse, une acidité et une astringence de la bière.

Le calcium (Ca) permet de diminuer le pH et améliore la stabilité de la bière. Le taux de calcium désiré pour une bière légère est compris entre 50 et 150 mg/L du fait que cet intervalle traduit une eau douce. A contrario, nous préférerons une eau dure comprise entre 150 et 250 mg/L pour les bières brunes associées à un malt foncé.(3)

Le chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) a pour rôle de renforcer le gout malté et de donner du corps à la bière la rendant ainsi plus douce. Toutefois, un dosage optimal se situe entre 50 et 150mg/L et ne doit pas excéder 250 mg/L sous peine d'avoir un goût trop malté comme recherché pour les gammes tel que « NEIPA<sup>10</sup> » ou donner un goût de chlore dans la bière.

Le sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) lui accentue l'amertume du houblon. Son taux normal se situe entre 10 et 50 mg/L pour les bières blondes légères, entre 30 et 70 mg/L pour les bières classiques et jusqu'à 100-250mg/L dans les bières de type « pale ale » qui sont des bières claires, assez douces avec une pointe d'amertume et de type « India Pale Ale » (IPA) avec une amertume plus marquée. (19)

En résumé, le tableau 1 présente l'impact de chaque ion dans la fabrication de la bière.

---

<sup>7</sup> Terme servant à désigner une bière qui tient en bouche, qui a du goût.

<sup>8</sup> Terme utilisé pour caractériser la teneur en bouche de la bière.

<sup>9</sup> De goût ou d'odeur âpre.

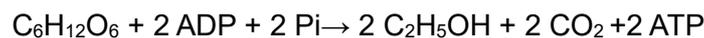
<sup>10</sup> New England India Pale Ale – version très fruitée et pigmentée l'IPA.

Ions Principaux	
Ions affectants la dureté et le pH	Ions affectants le goût
Calcium	Sodium
Magnésium	Magnésium
Bicarbonate	Sulfate
	Chlore

Tableau 1 - Impact des ions sur la bière

## II.2. Les levures

Les levures sont des petits organismes d'une dizaine de micromètres essentiels à la fabrication de la bière. Elles ont un métabolisme aérobie<sup>11</sup> et anaérobie<sup>12</sup> qui différencie leur mode de fonctionnement inter-espèce. En présence d'oxygène, la levure se multiplie jusqu'à arriver à 100 millions de cellules pour un brassin<sup>13</sup> de 20 litres en une dizaine d'heures. (3) En absence d'oxygène, la levure est responsable de la transformation des sucres du moût<sup>14</sup> en alcool et en CO<sub>2</sub> cela équivaut :



Il existe trois types de levures que je vais vous présenter. Les levures à fermentation hautes dites « **Ales** » - (*Saccharomyces cerevisiae*), les levures à fermentation basse dites « **Lager** » – (*S. pastorianus*, *S. uvarum*) et les levures à fermentation spontanée, les levures sauvages dites « **Lambic** ». (3)

Les levures sont déterminantes dans la caractérisation gustative de la bière. Elles créent des phénols qui contribuent au goût poivré, épicé et elles créent également des esters qui eux sont responsables d'un goût plus fruité. (20)

### II.2.1.1. Les levures à fermentation haute

Règne : *Fungi*



Division : *Ascomycota*



Classe : *Saccharomycetes*



<sup>11</sup> En présence d'oxygène.

<sup>12</sup> En l'absence d'oxygène.

<sup>13</sup> Le contenu d'une cuve où la bière est brassée.

<sup>14</sup> Solution liquide obtenue par mélange de malt concassé dans l'eau chaude.

**Ordre :** *Saccharomycetales*



**Famille :** *Saccharomycetaceae*



**Genre :** *Saccharomyces*



**Espèce :** *Saccharomyces cerevisiae*

Les levures à fermentation haute ont une température idéale de réaction comprise entre 15 et 25 degrés Celsius (°C) pour une durée moyenne allant de 3 à 5 jours (6). Une fois que la levure a transformé la totalité du glucose, celle-ci remonte à la surface de la bière qui lui confère son nom de « fermentation haute ». Cette technique de fermentation haute est la plus ancienne et ne permet qu'une conservation à court terme. Mais elle permet d'obtenir des degrés d'alcool plus important. En effet, le métabolisme de la levure n'est pas altéré par la présence d'alcool. De ce fait, cela entraîne une teneur en CO<sub>2</sub> inférieur à celle de la fermentation basse. En définitif, une **Ale** confère à la bière un profil plus parfumé et fruité qui donne du corps à la bière. C'est une bière qui se consomme de préférence aux alentours des 10-15°C dans un verre évasé pour une bonne diffusion des arômes. (6)

#### II.2.1.2. Les levures à fermentation basse

**Règne :** *Fungi*



**Division :** *Ascomycota*



**Classe :** *Saccharomycetes*



**Ordre :** *Saccharomycetales*



**Famille :** *Saccharomycetaceae*



**Genre :** *Saccharomyces*



**Espèce :** *S. pastorianus, S. uvarum*

Les levures à fermentation basse sont sensibles à une température comprise entre quatre et huit degrés Celsius pour une durée de quatre à sept jours. Elles représentent les levures utilisés dans plus de 80% des bières industrielles du niveau mondial.(6) Lors de la fermentation les levures **Lager** sédimentent au fond du moût d'où l'appellation de la fermentation basse. Cette technique offre un avantage certain face à la fermentation haute car la protection contre le développement de bactéries et de champignons se passe du fait de la température. Cependant, elle offre une teneur en alcool plus faible car ces levures se retrouvent freinées par la teneur d'alcool et concentre une teneur en CO<sub>2</sub> supérieur par rapport à la fermentation haute. La bière en résultat sera moins fruitée, cette technique limite le caractère de la levure, pour un rendu plus neutre afin de laisser place aux saveurs du malt et du houblon. Ces bières se consomment fraîches, généralement entre 4 et 7°C.

### II.2.1.3. Les levures sauvages

La fermentation spontanée est utilisée majoritairement à Bruxelles et donne le nom de bière « **lambic** ». Les bières belges de type **lambic** bénéficient d'une appellation d'origine protégée, attestant le brassage à Bruxelles et plus précisément dans la vallée de la Senne (6). C'est un brassage qui se déroule d'octobre à avril. Cette technique nécessite un refroidissement du moût à l'air ambiant. C'est durant ce refroidissement que l'ensemencement naturel se fait (6).

### II.3. Le malt

Le malt fait partie des quatre éléments indispensables à la bière. Celui-ci est responsable de la couleur de la bière. Le malt est un terme utilisé pour dire que la céréale utilisée, a subi des transformations lui permettant d'entrer dans la composition de la bière. De nombreux graminées sont « maltables » comme le blé – *Triticum Sp*, l'avoine – *Avena Sp*, l'orge – *Hordeum vulgare*, le seigle – *Secale cereale*, le sorgho etc...(6) Pour la suite de ma présentation, je me concentrerai uniquement sur l'orge car l'orge, est la céréale la plus utilisée. Ceci s'explique par sa richesse en fibres, en vitamines B, en sélénium, en phosphore, en fer, en zinc, en cuivre et en magnésium. (21) Le malt est responsable de l'apport en glucose durant le brassage. Outre le fait d'apporter les sucres, le malt est responsable des saveurs, des arômes tel que ceux de café, de pain grillé, d'amandes. Les céréales contiennent principalement entre 70 et 80 % d'amidon, ainsi qu'une petite quantité de sucres simples. Cette source d'énergie forme le corps de base de la bière et permet d'obtenir un produit à la fois nutritif et alcoolisé.

La sélection de l'orge est une science très rigoureuse que le malteur doit maîtriser. Le malteur doit prendre en compte des facteurs tels que la taille, le degré d'humidité et la teneur en protéines du grain. En plus de l'orge, il est possible d'utiliser d'autres ingrédients comme le miel, le sirop ou les jus de fruits pour apporter des sucres dans une bière. L'utilisation de substituant au malt doit rester secondaire, en France. En effet, la législation française précise que pour obtenir l'appellation « bière », celle-ci doit être composée d'au moins 50% de malt : « Le malt de céréales représente au moins 50 % du poids des matières amylacées ou sucrées mises en œuvre » décret n°92-307 du 31 mars 1992. (16)

L'orge commune (figure 6) – *Hordeum vulgare*

**Règne : *Plantae***



**Division : *Magnoliophyta***



**Classe : *Liliopsida***



**Ordre : *Cyperales***



**Famille : *Poaceae***



**Sous famille : *Pooideae***



**Genre : *Hordeum***

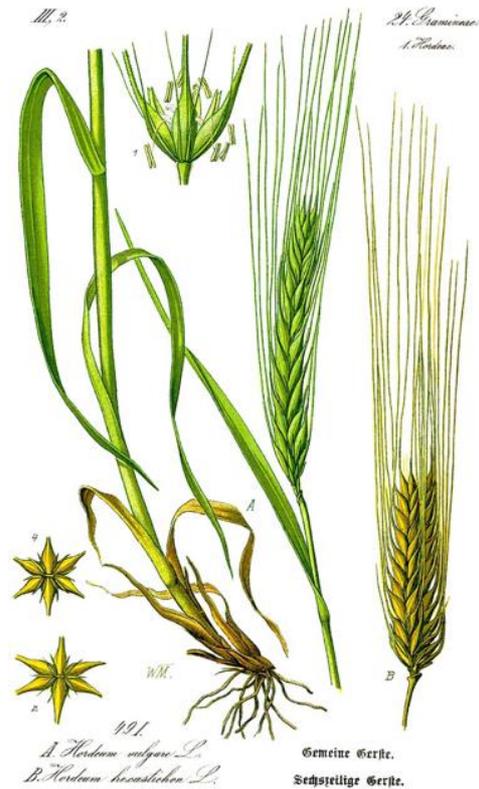


Figure 6 - Planche botanique (22)

L'orge est une plante herbacée annuelle, à tige dressée. Elle mesure aux alentours de 1 mètre (m) de hauteur. C'est une céréale à paille, l'une des plus anciennes cultivée. C'est une plante à feuilles alternes planes et auriculées donnant une inflorescence en épi terminal avoisinant les 20 centimètres (cm) de long nommée « épillets » visible sur la figure 7. (22)

L'épillet est une inflorescence caractéristique de la famille des Poacées. C'est un petit épi réduit à quelques fleurs incomplètes. Ces épillets sessiles donnent deux variétés. Une première variété à 6 rangs appeler « orge d'hiver » - *Hordeum vulgare Sp. Hexastichum* est une céréale moins riche en protéines. Une deuxième variété d'orge à 2 rangs dite « orge de printemps » - *Hordeum vulgare Sp. distichum* est la plus utilisée car son rendement est nettement supérieur.

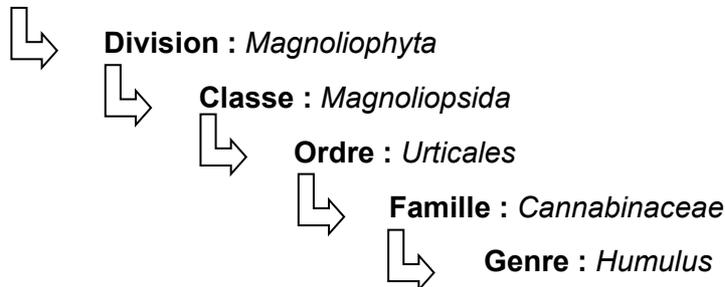


Figure 7 - Comparatif de l'orge de printemps et l'orge d'hiver (23)

## II.4. Le houblon

### II.4.1. Nomenclature

Règne : *Plantae*



La famille des *Cannabaceae* ne comporte que deux genres. Ces deux genres ne diffèrent que par leurs inflorescences et le port des feuilles. Les deux genres sont le chanvre - *Cannabis sativa*, avec une seule espèce et le genre Houblon – *Humulus* avec deux espèces, *Humulus lupulus* et *Humulus japonicus*.

Le houblon du japon - *Humulus japonicus*, est une espèce originaire de Chine et du Japon. C'est une plante annuelle vivace, ressemblant en tout point à son espèce voisine *Humulus lupulus* à l'exception du fait qu'elle ne présente aucune valeur brassicole. Il s'agit d'une plante d'ornement, grimpante. (24)

Le nom de « *Humulus* » est un diminutif de « *humus* » du latin qui signifie « sol » en référence à l'humus<sup>15</sup>. D'autres références indiquent que le mot « *humulus* » aurait une origine slave

---

<sup>15</sup> Terre provenant de la décomposition des végétaux.



#### **II.4.2.1. La description botanique de la pharmacopée**

L'identification se fait à l'aide de cônes qui sont de couleur verdâtre et mesurent entre 2 cm et 5 cm de longueur. Ces cônes sont pétiolés, ovoïdes, et composés de nombreuses bractées ovales, sessiles, et imbriquées, formant une structure complexe. Les bractées externes sont aplaties et symétriques, tandis que les bractées internes sont plus longues et asymétriques à la base, souvent repliées autour d'un fruit individuel (akène). Elle possède également des ovaires, à la base des bractées ainsi qu'un repli individuel, recouverts de petites glandes jaune-orangé. (27)

#### **II.4.3. Les composants d'intérêts pour une bonne bière**

Seul le cône présent chez les plants femelles est récolté. Un cône à sa récolte est chargé d'environ 80% d'humidité de la matière fraîche pour un rendu final après séchage entre 8 et 10%. Au-delà de ces valeurs, l'humidité présente dans le cône est trop importante et risque de détériorer sa qualité en accélérant son oxydation et en augmentant le risque de moisissure. En deçà de 8% d'humidité, le houblon sera trop friable, ce qui entraînera la perte de la lupuline et des huiles essentielles volatiles. La qualité du cône baisse et il perd sa valeur brassicole. (23) En termes de masse, il faut compter 3 à 4 fois plus de houblon frais pour obtenir la masse sèche souhaitée, prêt à être utilisée. (28)

Une fois sec, le cône du houblon est composé en moyenne de 40 à 50% de cellulose, de 12 à 18% de protéines, de 10 à 11% d'eau, de 2% à 15% d'acides alpha et beta, de 1 à 4% de polyphénols et d'environ 0,5 à 2% d'huiles essentielles.(29)

La lupuline contient des résines douces composées d'acides alpha et beta qui au cours du houblonnage subiront des transformations. La lupuline contient également des résines dures tel que le xanthohumol aux diverses propriétés que nous verrons un peu plus tard.

Les huiles essentielles contenues également dans la lupuline sont extraites durant le houblonnage et jouent un rôle d'aromate qui complexifie les caractéristiques gustatives de la bière.

##### **II.4.3.1. Acides alpha**

Le houblon contient des composés organiques appelés acides alpha, dont les trois principaux sont : l'humulone, la cohumulone et l'adhumulone (Figure 9). Lors du brassage, les acides alpha du houblon sont dégradés en acides iso-alpha, qui sont plus solubles et responsables en grande partie de l'amertume de la bière. Mais ces acides iso-alpha se détériorent au cours de la conservation et peuvent également réagir avec certains composés du malt comme la riboflavine et donner un goût désagréable. C'est pourquoi le verre des bouteilles est teinté et que la conservation se fait à l'abri de la lumière. (30)

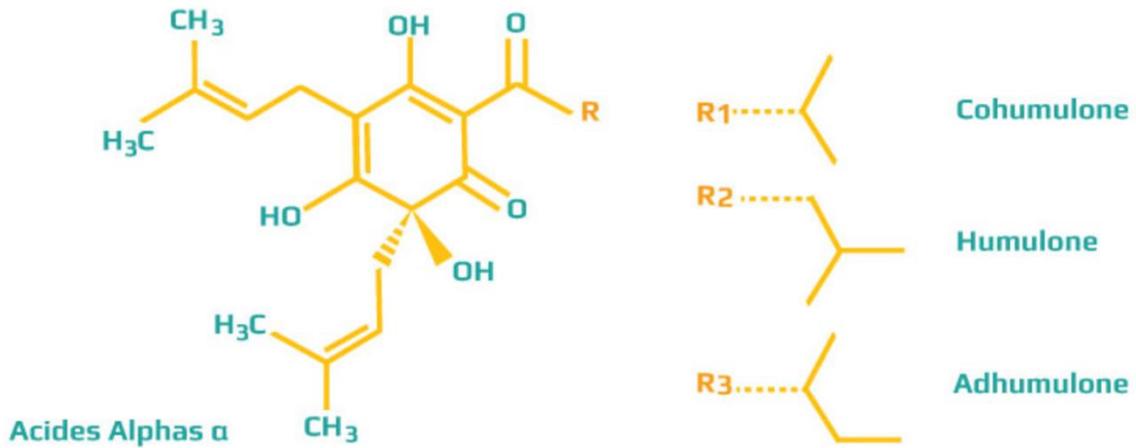


Figure 9 - Acides alphas (23)

### II.4.3.2. Acides bêta

Les trois principaux types d'acides bêta sont ; la lupulone, la colupulone et l'adlupulone (Figure 10). Ils confèrent une amertume plus prononcée que les acides alpha, mais leur contribution est moindre car ils sont insolubles. Contrairement aux acides alpha, ils ne s'isomérisent pas facilement lors de la fermentation, mais leur saveur amère se développe lentement par oxydation. Ce processus prend du temps et les effets deviennent plus intenses au cours de la fermentation et du vieillissement de la bière. (30)

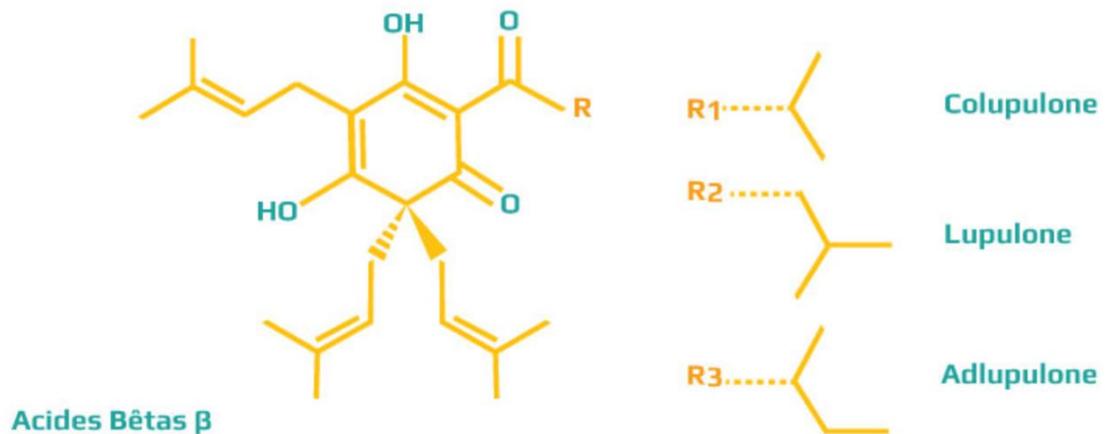


Figure 10 - Acides bêtas (23)

### II.4.3.3. Xanthohumol

Le xanthohumol est le principal composé des résines dures présentes dans la lupuline (Figure 11). Il est présent dans la bière sous forme de traces mais celui-ci possède des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, anti-cancéreuses, stimule la synthèse de collagène et d'élastine et empêche la dégradation cellulaire (26) permettant de ralentir directement le vieillissement cutané. (30) Nous parlerons plus en détail de cette molécule durant la cinquième et sixième partie de cette thèse.

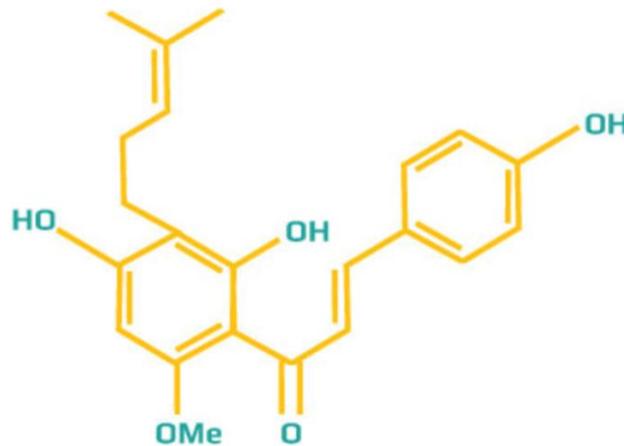


Figure 11 - Molécule du xanthohumol (23)

### II.4.3.4. Les huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des composés très volatils qui supportent peu l'ébullition. C'est pourquoi celles-ci sont ajoutées en fin d'houblonnage. Les huiles essentielles se composent d'hydrocarbures et de soufre qui permettent la synthèse de composés oxygénés responsables des saveurs. (30)

#### II.4.3.4.1. Hydrocarbures

Les hydrocarbures composent jusqu'à 90% des huiles essentielles dont proviennent les dérivés oxygénés.

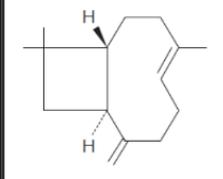
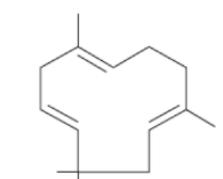
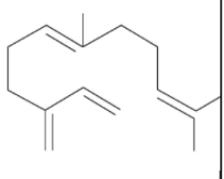
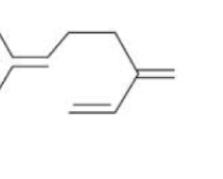
Les hydrocarbures				
Les sesquiterpènes			Les Mono-terpènes	
				
Nom	Caryophyllène	Humulène	Béta-Farnésène	Myrcène
Arômes	Épicés, poivrés	Fruités, floral	Herbacés, cannabis	Floral
Houblons	Golding, Hallertau	Nobles	Nobles	Amérisants, cascade
Existe dans	Giroflier, romarin	Sauge, gingembre	Pomme, poivre	Laurier, fenouil

Figure 12 - Différents hydrocarbures présent dans une bière (31)

#### II.4.3.4.2. Dérivés oxygénés et ester

Il y a plusieurs centaines de composés d'huiles essentielles dont on ignore encore le rôle. Ce sont de ces dérivés que découlent les arômes.

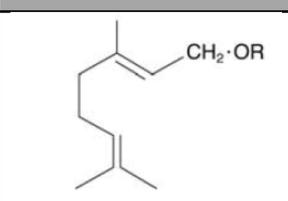
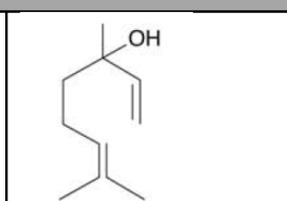
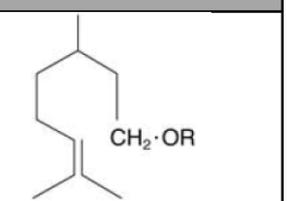
Dérivés oxygénés			
			
Nom	Geraniol	Linalol	Citronellol
Arômes	Floral, rose, géranium	Citron, Bergamote	Citron, pomme, pêche
Existe dans	Géranium	Citron, laurier	Citronnelle

Figure 13 - Les dérivés oxygénés (31)

#### II.4.3.5. Les tanins

Les polyphénols contribuent, dans un premier temps, à l'amertume et à l'astringence de la bière et dans un second temps, ces polyphénols participent à la stabilité des saveurs<sup>17</sup> grâce à leurs actions antioxydantes.

<sup>17</sup> Sensation provoquée conjointement par le goût et l'odeur d'un aliment.

Les houblons aromatisants ont une teneur en polyphénols plus importante que les houblons amérisants qui eux, contiennent plus d'acides alpha. (30)

### III. Les procédés de fabrications et les risques

---

Nous avons vu précédemment les 4 éléments qui entre dans la composition de la bière. Nous allons voir en détail comment ceux-ci réagissent et s'assemblent pour donner le produit fini. Il existe actuellement une multitude de techniques de brassages différentes. Ici je vais vous présenter la technique la plus ancienne et la plus utilisée par les brasseurs artisanaux.

#### III.1. Le maltage

##### III.1.1. La préparation

La préparation implique de faire mûrir le grain dans des silos où il est régulièrement oxygéné. Pendant ce processus, le grain respire et libère de l'eau et de la chaleur, qui sont évacuées. Ensuite, l'étape de nettoyage consiste à faire passer les grains à travers divers tamis pour éliminer les impuretés. (32)

##### III.1.2. Le trempage

Le trempage implique une série de bains d'eau d'environ douze heures chacun, alternés avec des périodes d'aération. Son but est de déclencher la germination des céréales. Cette phase dure de 40 à 60 heures, avec une température variant généralement entre 12°C et 15°C. (32)

##### III.1.3. La germination

Pour cette étape de germination, le grain est placé dans un germoir où il est constamment en mouvement pour éviter la pourriture. La salle doit maintenir un taux d'humidité de 45 % et une température comprise entre 12 et 15 °C. La germination provoque la croissance des radicelles à partir des grains, formant ainsi le germe. Cette phase dure de 4 à 8 jours. Le grain germé est alors appelé « malt vert » et peut contenir jusqu'à 45 % d'humidité. (32)

##### III.1.1. Le touraillage

Les grains sont transférés dans la touraille, un grand four où le grain germé est torréfié. La torréfaction est une étape de calcination, il s'agit de griller le grain. Cette étape permet au grain de développer sa coloration. Le grain reste généralement environ 30 heures dans la touraille, à une température d'environ 45 °C. Ensuite, l'étape cruciale est la pratique du « coup de feu » qui consiste à chauffer à une température allant de 70 à 220°C pendant environ 5 heures. La température conditionne la couleur et l'arôme du malt. Une bière blonde nécessite un grain peu torréfié, une température de 70°C suffit à les sécher. (6) Au-delà de 70°C, le malt va se colorer jusqu'à obtenir une couleur plus au moins brune. L'utilisation de ces malts colorés (Figure14) s'observe dans la fabrication de bière ambrée ou brune. (6)

Le touraillage se résume par une réaction chimique découverte en 1902 par un médecin, Louis Camille Maillard qui lui donna son nom. La réaction de Maillard décrit une réaction non enzymatique responsable de l'arôme et de la couleur caractéristique de la bière. (6)



Figure 14 - Couleur des malts et leurs appellations (33)

### III.1.2. Le dégermage

Le dégermage consiste à éliminer les grains non germés. Cette étape est suivie d'une période de latence, où les grains sont entreposés durant deux à trois semaines avant l'étape de brassage. Pour donner l'idée du rendement, il faut compter 100kg d'orge initial pour obtenir environ 75kg de malt. Cette perte de 25% est principalement due à l'élimination de l'eau et des germes. (12)

Comme expliqué précédemment, le maltage impacte directement la couleur de la bière. Le maltage est donc responsable de son aspect visuel mais comment différencier avec précision deux blondes ou une blonde d'une ambrée. Pour pallier ce problème et créer une hiérarchie dans le monde brassicole, un alsacien, Kreiss Philippe a créé en 1945 une échelle de calcul nommée « European Brewing Convention » (EBC). (6) C'est aujourd'hui une référence mondiale qui réunit un congrès tous les 2 ans permettant à tous les participants de se situer sur cette échelle (Figure 15). (6)

L'EBC se calcule par la mesure de l'atténuation de la lumière (430nm) dans 1 cm de bière. Un EBC bas traduit une bière très claire.

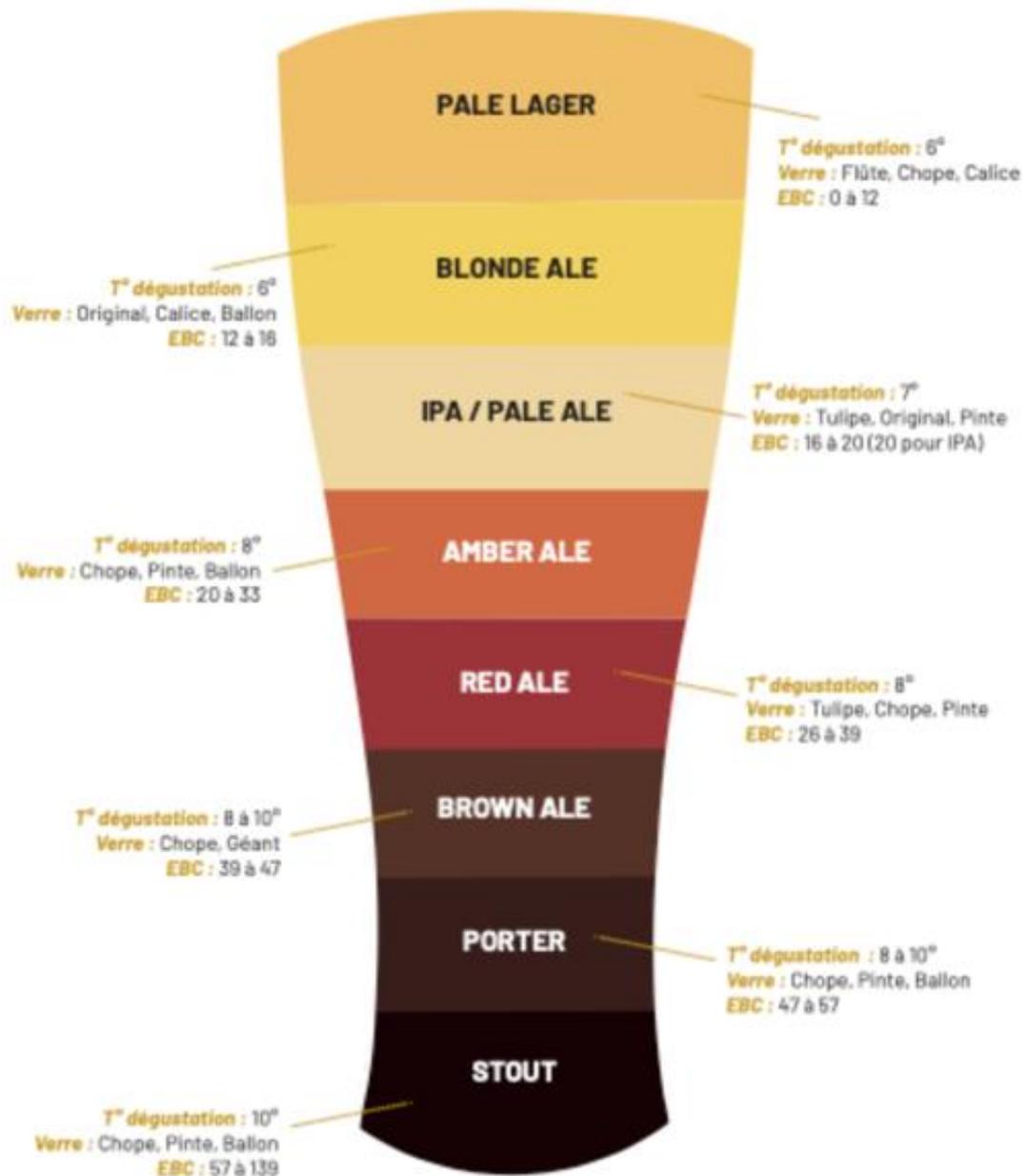


Figure 15 - Échelle de l'EBC (34)

### III.2. Le concassage

Les grains de malt sont concassés pour obtenir une mouture dans le but de faciliter l'action enzymatique après hydratation des particules qui contiennent l'amidon, les protéines et la cellulose. L'objectif est de concasser les grains de façon à ne pas laisser de dépôt à la fin du brassage (concassage trop fin) mais d'éviter également la perte d'extraction avec un concassage trop grossier car la surface de contact avec l'eau ne serait pas optimale. Ce concassage trop grossier entrainerait une perte de sucre emprisonné dans le grain concassé trop grossièrement. (6)

### III.3. Le brassage

#### III.3.1. L'empâtage

Une fois la mouture réalisée, elle est ensuite mélangée à de l'eau chaude pour obtenir « la maische », c'est l'étape de l'empâtage. Elle consiste à rendre les sucres non fermentescibles du malt en sucres fermentescibles. Pour obtenir la bière souhaitée, de nombreux paramètres vont intervenir lors de l'empâtage. Les paramètres comme la quantité d'eau, la qualité de l'eau et son pH comme nous l'avons vu précédemment mais aussi la température de la maische sont à choisir dépendamment du rendu souhaité.

L'empâtage se résume en une action enzymatique d'hydrolyse nommé l'amylolyse. Cette réaction permet de transformer l'amylose et l'amylopectine d'amidon (Figure 16) en sucres moins complexes et assimilables par les levures. Comme nous pouvons l'observer sur la figure 17 ci-dessous, l'empâtage doit se faire à une température optimale en fonction des enzymes que nous souhaitons faire réagir. (12)

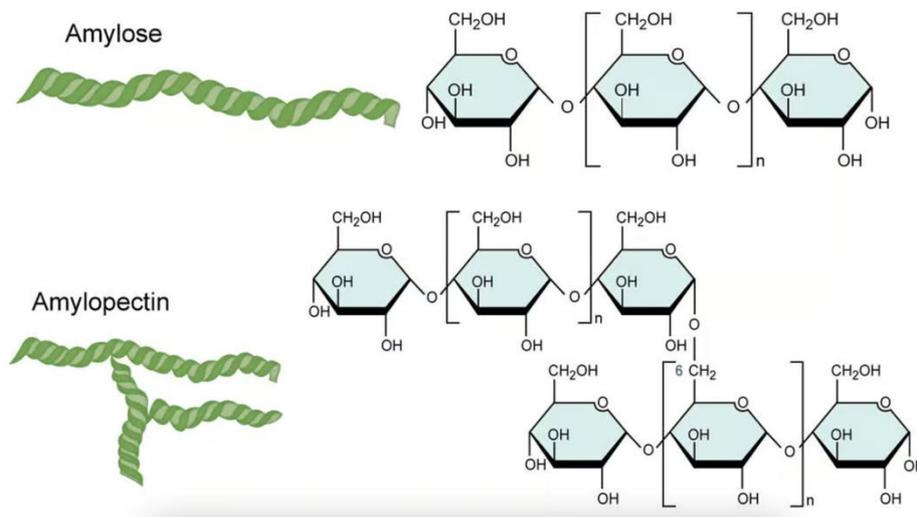


Figure 16 - Molécules d'amylose et d'amylopectine (35)

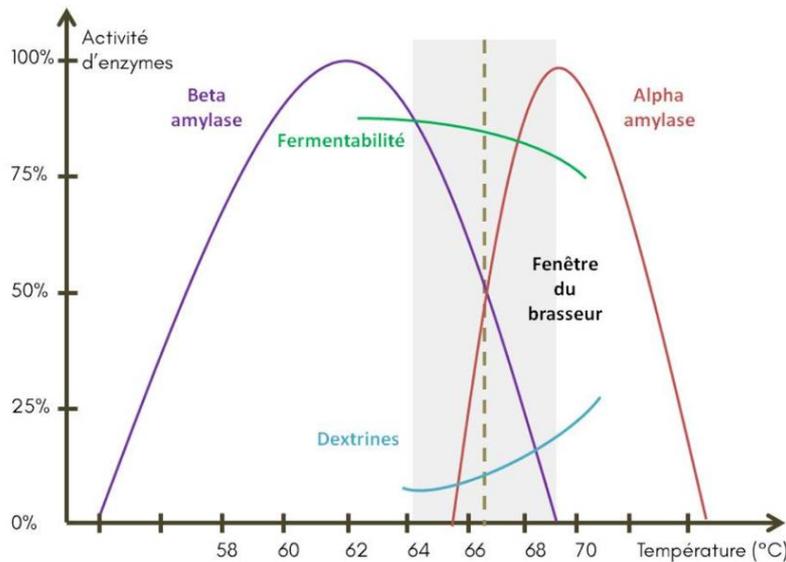


Figure 17 - Graphique présentant l'activité enzymatique en fonction de la température (35)

L'amylolyse est une réaction de saccharification qui transforme les sucres complexes en sucres simples le rendant plus facilement accessibles aux levures. Cette réaction va donner des sucres fermentescibles qui seront ensuite utilisés durant la fermentation pour produire l'alcool et le CO<sub>2</sub>, et des sucres non fermentescibles qui ne pourront pas être dégradés et seront présents dans le rendu final, la bière. Ils seront responsables du corps et de la rondeur de la bière.

Les enzymes contenues dans les malts et responsables de l'amylolyse sont les enzymes diastasiques : les alpha-amylases et les bêta-amylases.

Comme nous pouvons le voir sur la figure 16, les alpha amylases ont une température optimale se situant aux alentours de 65-75°C tandis que l'optimum des bêta-amylase se situe entre 55 à 65°C.

### III.3.1.1. Les bêta-amylases

Les bêta-amylases sont dites « constitutives » car elles sont naturellement présentes en grandes quantités chez les végétaux contrairement à l'alpha amylase que nous verrons plus tard.

Ces exo-enzymes<sup>18</sup> sont capables de couper les liaisons 1,4 glycosidiques à partir de l'extrémité terminale des chaînes saccharidiques. Les bêta-amylases vont produire du maltose : disaccharide formé de 2 unités (Figure 18) de glucose une fois que les conditions de l'empâtage le permettent.

<sup>18</sup> Enzyme active à l'extérieur de la cellule, ne s'activant qu'en milieu extracellulaire.

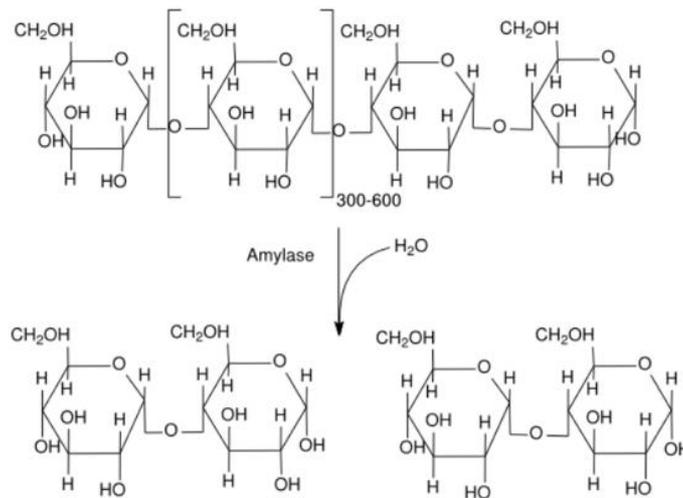


Figure 18 - Réaction des bêta-amylases (36)

Le maltose sera ensuite dégradé en alcool et  $\text{CO}_2$  lors de la fermentation. Les bêta-amylases seront dégradé de manière irréversible une fois la température au-dessus de  $70^\circ\text{C}$ .

### III.3.1.2. Les alpha-amylases

Alors que les bêta-amylases sont dites constitutives, les alpha-amylases sont dites « induites » car leur production résulte de l'étape vu précédemment lors du maltage. L'alpha-amylase est une endoglycosidase<sup>19</sup> qui coupe les liaisons alpha-1,4-glucosidiques en libérant des maltodextrines (sucre non fermentescible) mais elle produit également des sucres fermentescibles comme le maltotriose, le maltose et le glucose.

### III.3.2. Le mash-out

Le mash-out est le palier de température réalisé à la fin de l'empâtage. La température est montée jusqu'à  $76 - 80^\circ\text{C}$  pendant 10 à 15 minutes dans le but d'inactiver les enzymes. C'est une étape remise en question dans le monde des brasseurs mais recommandée à tout débutant.

Cette étape permet de fixer le profil des sucres du moût de solubiliser les sucres dus à la haute température facilitant ainsi l'étape de filtration en diminuant la viscosité et d'accélérer l'étape d'ébullition rendant la fabrication moins énergivore.

Sans mash-out, l'activité de l'alpha-amylase va continuer et éventuellement couper les dextrines en sucres fermentescibles plus courts ce qui influera directement sur l'étape de fermentation.

---

<sup>19</sup> Enzyme qui catalyse l'hydrolyse des chaînes poly-osidiques en rompant les liaisons à l'intérieur de la chaîne.

L'étape d'empâtage regroupe de nombreuses réactions enzymatiques mais il existe de nombreuses techniques différentes pour une multitude de rendus finaux. Les deux grandes techniques sont le mono-palier ou également appelé infusion et le multi-palier également appelé décoction.

Le mono-palier (Figure 19) est la méthode la plus simple qui consiste à créer un palier de température situé entre 65 et 67°C pendant toute la durée de l'empâtage.

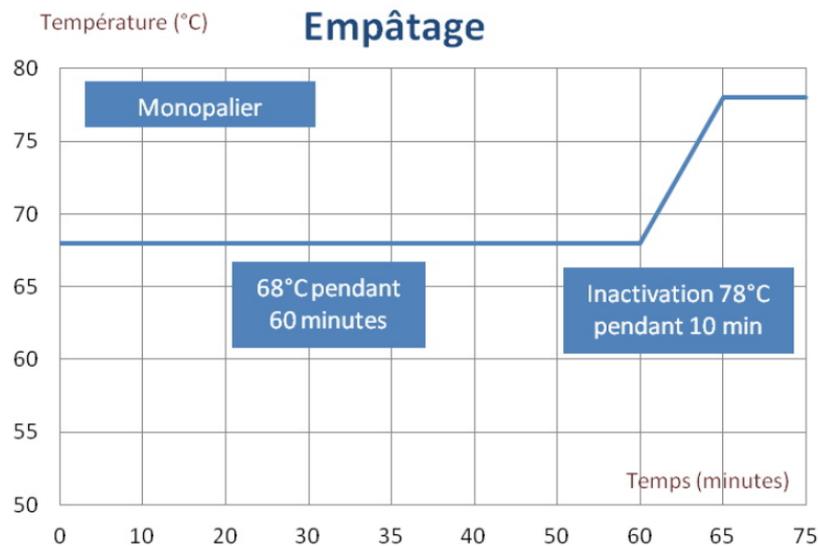


Figure 19 - Graphique d'une réaction mono-palier (37)

Le multi-palier (Figure 20) consiste à monter progressivement la température en réalisant des paliers plus ou moins longs afin de favoriser ou non certaines réactions. Cette technique permet la fabrication de bières aux arômes plus complexes.

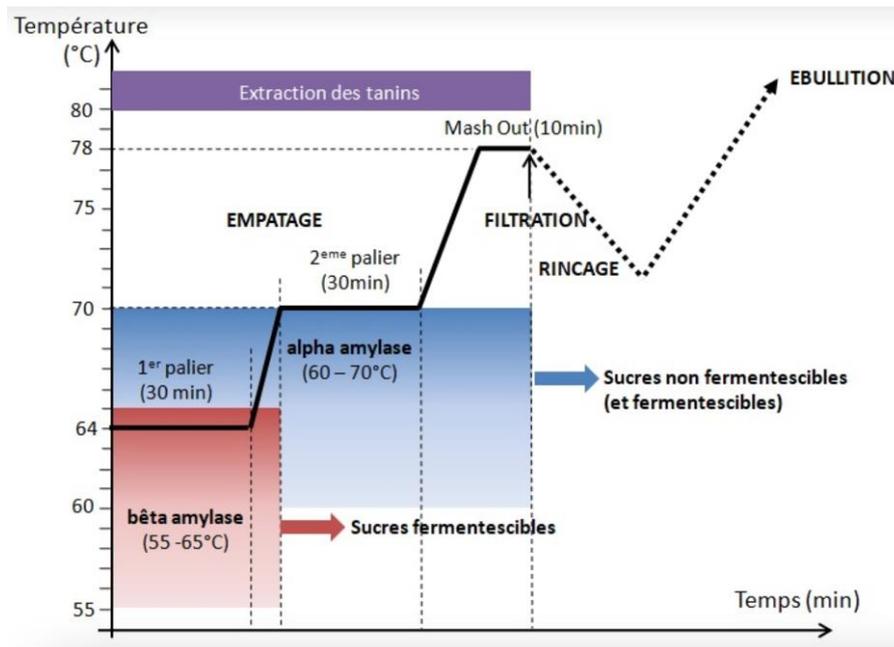


Figure 20 - Graphique d'une réaction multi-paliers (38)

### III.3.3. La filtration

La filtration consiste à séparer la partie de la mouture insoluble appelée « drêche » du reste du moût. La drêche sera ensuite rincée pour en extraire les derniers sucres emprisonnés. Afin d'éviter un choc thermique, l'eau de rinçage est préalablement chauffée à la température du moût. (3) Avec le rinçage, le moût s'éclaircit et plus aucune réaction d'alpha ou de bêta amylase n'est possible. En effet, le rinçage s'effectue une fois la température montée à 78°C. (3) La drêche contient des protéines dénaturées et des polyphénols qui sont responsables du trouble permanent et d'une mauvaise stabilité dans le temps de la bière, c'est pourquoi l'étape de filtration est importante.

### III.3.4. L'ébullition

Pendant l'ébullition, le moût est chauffé aux alentours de 100°C dans une grande cuve appelée la cuve de cuisson. L'ébullition dure généralement entre 60 et 90 minutes et a plusieurs objectifs.

Premièrement, l'ébullition aide à stériliser le moût en tuant les bactéries et les levures sauvages qui peuvent être présentes. Deuxièmement, l'ébullition aide à concentrer le moût en évaporant l'eau. Plus l'ébullition est longue, plus le moût sera concentré et plus la bière sera forte en alcool.

Après l'ébullition, le moût est refroidi rapidement avant d'être transféré dans une cuve de fermentation pour commencer la fermentation.

### III.3.5. Le houblonnage

Le houblonnage est effectivement effectué avant l'ébullition. Les houblons peuvent être ajoutés à différents moments du processus de brassage pour donner différents saveurs et différents arômes à la bière.

L'ajout de houblon avant l'ébullition est appelé houblonnage précoce. À ce stade, les acides alpha du houblon sont isomérisés et dissous dans le moût pour donner à la bière son amertume caractéristique.

L'ajout de houblon à la fin de l'ébullition est appelé houblonnage tardif. À ce stade, les huiles essentielles du houblon sont dissoutes dans le moût pour donner à la bière ses arômes et saveurs de houblon.

Il existe également une technique appelée « houblonnage à cru ». Cette technique consiste à ajouter les houblons après l'ébullition pendant l'étape de la fermentation. Cette technique donne à la bière un arôme et une saveur de houblon plus intense.

### III.3.6. Le refroidissement

Après l'ébullition du moût, il est important de refroidir rapidement le moût pour éviter la prolifération de bactéries et de levures sauvages. Il existe plusieurs techniques pour refroidir le moût, qui utilisent différents appareils :

- Le refroidisseur à plaques : Le moût est pompé à travers un échangeur de chaleur à plaques où il est refroidi par un liquide réfrigérant circulant dans l'autre sens.
- Le refroidisseur à immersion : Un serpentín en acier inoxydable refroidi à l'eau froide ou à la glace est plongé dans le moût bouillant.
- Le refroidisseur à contre-courant : Le moût chaud est pompé dans un refroidisseur à contre-courant, où il est refroidi par de l'eau froide ou de la glace circulant dans l'autre sens.

Ces techniques de refroidissement permettent de refroidir rapidement le moût en quelques minutes, ce qui permet de commencer rapidement la fermentation de la bière.

### III.3.7. La fermentation

C'est durant la phase de fermentation que le style de la bière va être défini. La fermentation est un processus biologique qui débute par l'ensemencement avec la levure choisie. Cette levure est responsable de la transformation du sucre du moût en alcool et en CO<sub>2</sub>. En présence d'alcool, la levure va se multiplier de manière exponentielle jusqu'à épuisement de l'oxygène, celle-ci passe à la transformation des sucres en alcool et CO<sub>2</sub>. La fermentation peut durer de quelques jours à plusieurs semaines, selon le type de bière et la température de fermentation. Pendant la fermentation, il est important de maintenir la température et les conditions sanitaires appropriées pour éviter la contamination bactérienne et pour obtenir une bière de qualité.

### III.3.8. La maturation

Après la fermentation, le liquide obtenu est appelé « bière verte ». Cette bière est généralement transférée dans un autre contenant, tel qu'un fût ou une bouteille, pour mûrir.

Cette étape permet à la bière de développer une saveur et un arôme plus complexes et de se clarifier. Pendant la maturation, les levures restantes dans la bière continuent de réagir en produisant de nouveaux composés apportant des saveurs et des arômes supplémentaires. La durée de la maturation dépend du type de bière et des conditions de stockage, mais elle peut varier de quelques semaines à plusieurs mois. Après la maturation, la bière est prête à être consommée.

### III.3.9. L'embouteillage

L'embouteillage est une étape qui permet de conserver la bière jusqu'à sa consommation. Le but de la refermentation en bouteille est de dissoudre le CO<sub>2</sub> dans la bière : il s'agit d'une carbonatation naturelle car le CO<sub>2</sub> reste cette fois enfermé dans la bouteille capsulée. Pour permettre la refermentation et donc une bonne carbonatation, il faut ajouter du sucre. Plus la concentration en sucre est grande, plus la carbonatation sera forte et plus la bière sera pétillante. Si un excès de sucre est apporté, la bière risque une surpression jusqu'à une ouverture spontanée de la capsule ou de se vider spontanément sous forme de mousse abondante dès l'ouverture. En moyenne, la recommandation est de 5 à 8 grammes de sucre par litre de bière.

Le sucre de betterave est relativement neutre et donne une belle mousse. Le sucre roux de betterave apportera aux bières blondes un léger goût de miel. Tandis qu'il apportera aux brunes un goût d'épices très doux. Le sucre de canne lui apporte une saveur corsée. Le sucre candi apportera une note sucrée à la mousse. Le miel apporte une mousse onctueuse.(3)

Si au contraire la décision est de limiter l'apport de sucre, une autre technique de carbonatation est possible. C'est un processus par lequel la bière est saturée de dioxyde de carbone. Cela donne à la bière son pétillant et sa mousse caractéristique. La carbonatation se produit naturellement pendant la fermentation lorsque les levures produisent du CO<sub>2</sub>. Cependant, le CO<sub>2</sub> peut également être ajouté artificiellement à la bière en utilisant un processus appelé "carbonatation forcée", dans lequel du CO<sub>2</sub> est injecté dans la bière sous pression. Le niveau de carbonatation peut varier selon le type de bière et les préférences personnelles. La plupart des bières, en particulier les bières de style « Pilsner, Lager et Ale », sont carbonatées aux alentours des 0°C car cette température permet de contenir plus de gaz. (3)

### III.4. Les contaminations et leurs impacts

Les bactéries sont des micro-organismes omniprésents dans la nature. La plupart des bactéries dans le milieu brassicole sont éliminés grâce à un nettoyage consciencieux du brasseur qui consiste à nettoyer tous les ustensiles de cuisine, les cuves et utiliser des contenant stériles. Certaines qui ne sont pas éliminées par le nettoyage le seront par la présence d'alcool ou par la présence du houblon. De plus, les bactéries qui pourraient se révéler pathogènes, ne peuvent pas survivre dans la bière en raison de son faible pH situé en 3,5 et 4,5 et de la présence d'alcool. En conclusion, une bière infectée par une bactérie n'est pas dangereuse pour la santé mais elle l'est pour la qualité de la bière.

Afin d'éviter ce genre de contamination l'École Nationale d'Industrie Laitière et des Biotechnologies (ENILBIO) a écrit un guide d'aide pour la maîtrise du risque microbiologique en brasserie.

Nous allons décrire les bactéries les plus communes et de leurs impacts.

### III.4.1. Les bactéries lactiques

Ce sont des bactéries à Gram positif. Les formes *Pediococcus* et *Lactobacillus* sont des bactéries anaérobiques<sup>20</sup> en forme de bâtonnets qui produisent de l'acide lactique en fermentant les sucres simples. Elles sont résistantes au houblon et à l'éthanol mais ne supportent pas la chaleur. Elles agiront donc au moment du refroidissement. Les *Lactobacillus* sont des bacilles Gram positif non sporulés. Les plus communs sont *L. lindneri* et *L. brevis* qui sont responsables de la production d'acide lactique par le biais de la fermentation des hydrates de carbone. Leurs activités sont responsables d'une faible odeur, d'un goût acide et d'un trouble la bière. Les *Pediococcus* sont des bactéries ovales à Gram positif responsables de la production d'acide lactique et de diacétyle à partir des dextrines. Ils produisent également du glucose mais aussi du maltose et du fructose. Cette production est responsable d'une odeur désagréable et d'un trouble de la bière.

De ce fait, les bactéries lactiques vont avoir un impact sur le goût, en le rendant plus acide.

### III.4.2. Les bactéries acétiques

Ces bactéries sont responsables de la création d'acides acétiques. Il y a deux espèces prédominantes, *Acetobacter* et *Acetomonas*.

**Domaine :** *Bacteria*



**Règne :** *Negibacteria*



**Embranchement :** *Proteobacteria*



**Classe :** *Alphaproteobacteria*

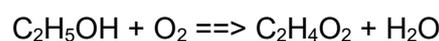


**Ordre :** *Rhodospirillales*



**Famille :** *Acetobacteraceae*

Toutes deux sont des bactéries à Gram négatif. Elles sont toutes deux présentes dans l'air, si celui-ci reste en dessous de 50°C. Grâce à leur présence dans l'air, elles s'introduisent dans le moût durant le refroidissement et l'embouteillage. La bactérie *Acetobacter* oxyde l'éthanol en présence d'oxygène produit de l'acide acétique selon la réaction ci-dessous. (39)  
Fermentation acétique :



---

<sup>20</sup> Bactéries qui ne peuvent vivre qu'en l'absence d'oxygène, ou dont le développement est possible en l'absence d'oxygène.

Ces bactéries sont responsables des goûts et arômes désagréables (acide, aigre dit de vinaigre) et de trouble. Cela donne un rendu avec un taux d'alcool inférieur car l'éthanol a été oxydé en acide acétique ce qui traduit une diminution du pH. (39)

### III.4.3. Les entérobactéries

Les Entérobactéries représentent une grande famille de bactéries. Ce sont des bactéries à bacilles<sup>21</sup> Gram négatif aéro-anaérobie<sup>22</sup>. Elles sont omniprésentes dans l'environnement. Ces microorganismes vont avoir un impact, notamment durant les premières étapes du brassage pouvant entraîner des arômes indésirables.

*Obesumbacterium proteus* et *Citrobacter freundii* sont des bactéries rencontrées durant la fermentation qui concurrencent les levures pour produire du sulfure de diméthyle (DMS) et des acides lactiques. Le DMS est responsable d'une saveur de panais caractéristique.

---

<sup>21</sup> De forme allongée dite « en bâtonnet ».

<sup>22</sup> Qui peuvent vivre et se multiplier avec ou sans oxygène.

## IV. La composition de la bière

---

Par sa forte teneur en eau et en sels minéraux à plus de 90%, la bière est une boisson désaltérante qui participe à l'équilibre hydrominéral de l'organisme. Nous y retrouvons des sucres simples, des vitamines hydrosolubles (des groupes B et H), des minéraux (Mg, Ca, K, Se), des oligoéléments, des polyphénols et des acides aminés.

A titre indicatif, un litre de bière apporte 300 à 500 kilocalories(kCal). En comparaison, un demi-litre de bière blonde apportera autant de calories que 100 grammes de pain, 300 grammes de pommes de terre ou encore 300 millilitres de vin à 12 °. (6)

Composition d'un litre de bière :

- 925 g d'eau
- 0,6 g d'acides organiques
- 1,55 g d'alcools
- 440 kilocalories
- 5 g de gaz carbonique
- 35 g de glucides
- 62 g de protides
- 0 g de lipides
- 70 à 135 mg de magnésium
- 30 à 70 mg de calcium
- 330 à 500 mg de potassium
- 30 à 70 mg de sodium
- 230 à 550 mg de soufre
- 370 à 800 mg de phosphore
- 150 à 400 mg de chlore
- Des vitamines B1, B2, B3, B5, B6, B12, H
- Des oligoéléments à quantités variables (cuivre, fer, fluor, manganèse, sélénium). (6)

### IV.1. Les oligoéléments

Nous allons parler ici des principaux oligoéléments essentiels retrouvés en quantité infime dans une bière. Le terme « essentiel » signifie que l'apport nécessaire pour l'organisme se fait par l'alimentation car l'organisme est incapable de les synthétiser par lui-même. Leur présence s'explique par leur présence dans l'eau potable et par l'apport via les levures et le houblon. Du fait de leur quantité infinitésimale nous ne parlerons que des effets bénéfiques sur la santé. Leur quantité varie en fonction de la bière choisi.

#### IV.1.1. Le chrome

Le chrome est un oligoélément essentiel à notre organisme. Il est nécessaire au métabolisme des acides gras, des protéines et des glucides. Le chrome augmente l'efficacité de l'insuline et contribue à la régulation du taux de sucre dans le sang.

L'apport journalier recommandé est de 50 à 200 microgrammes ( $\mu\text{g}$ ) par jour. (14)

#### **IV.1.2. Le cuivre**

Le cuivre est un anti-oxydant naturel. Il participe à la formation des tendons et des cartilages, à la minéralisation des os et à la production des globules rouges. Il est également impliqué dans la synthèse de mélanine qui est le pigment responsable de la coloration de la peau et des cheveux. Il est également nécessaire à la synthèse de certains messagers chimiques au niveau cérébral.

L'apport journalier recommandé est de 1,5 à 3 mg par jour. (15)

#### **IV.1.3. Le fer**

Il entre dans la composition de l'hémoglobine, protéine contenue dans les globules rouges qui est responsable du transport de l'oxygène. Il se retrouve également dans la myoglobine qui permet aux muscles de fixer l'oxygène.

L'apport journalier recommandé est de 9 à 16 mg par jour. (16)

#### **IV.1.4. Le fluor**

Le fluor est un oligoélément indispensable à la bonne santé des dents et des os. Il est présent dans la couche superficielle de l'émail dentaire et dans le squelette. Cet élément est essentiellement connu pour protéger les dents contre les caries.

L'apport journalier recommandé à ne pas dépasser est de 3,5 mg par jour. (17)

#### **IV.1.5. Le manganèse**

Le manganèse participe à la synthèse des cartilages, des protéines et de la myéline<sup>23</sup>. Il est indispensable à l'action de la superoxyde dismutase enzyme intervenant dans le piégeage des radicaux libres. Il joue ainsi un rôle dans le système antioxydant. Il est également indispensable dans le processus de coagulation par son assistance à la synthèse de prothrombine. Un apport régulier est très important car nous consommons en moyenne un tiers de nos réserves de manganèse chaque jour.

L'apport journalier recommandé est de 2 à 5 mg par jour. (18)

#### **IV.1.6. Le sélénium**

Le sélénium possède pour les cellules un rôle anti-oxydatif. En synergie avec la vitamine E, il participe à l'activité de la glutathion peroxydase, une enzyme qui protège les cellules contre l'oxydation liée au métabolisme. (40) Il contribue au fonctionnement normal du système immunitaire. Chez l'Homme il contribue à une spermatogenèse normale, c'est-à-dire à la formation des spermatozoïdes. Il entre dans la composition des enzymes nécessaires à la conversion de l'hormone thyroïdienne T4 en T3 (désiodases). Le sélénium intervient donc dans le métabolisme hormonal et le fonctionnement de la thyroïde.

L'apport journalier recommandé est de 55 µg par jour. (19)

---

<sup>23</sup> Gaine des cellules nerveuses.



## IV.2. Les sels minéraux

L'apport en sels minéraux découle en bonne partie du malt. Les sels minéraux entrent dans la composition de la bière mais en faible quantité (à quelques milligrammes par litre (mg/L)). (6)

Ils sont présents en faible quantité certes mais jouent un rôle important au niveau de la santé et du bien-être. En reprenant la composition de la bière citée précédemment, nous allons voir les principaux sels minéraux composant une bière.

### IV.2.1. Les cinq électrolytes de l'organisme

Les électrolytes sont impliqués dans de nombreux processus essentiels de l'organisme tel que l'influx nerveux, la contraction musculaire et la régulation du pH. Les électrolytes se présentent sous forme d'acides, de bases ou de sels. La variation du pH impacte sur leur conductivité et leur polarité. Cette variation permet ou non les différents échanges au sein de l'organisme. Pour vous expliquer avec un schéma (Figure 21), tous les échanges à travers une membrane cardiaque de l'organisme se fait via des polarités positives et négatives dans des proportions strictes. Ci-dessous le schéma représentant les échanges responsables de l'excitation-contraction-relaxation du muscle cardiaque.

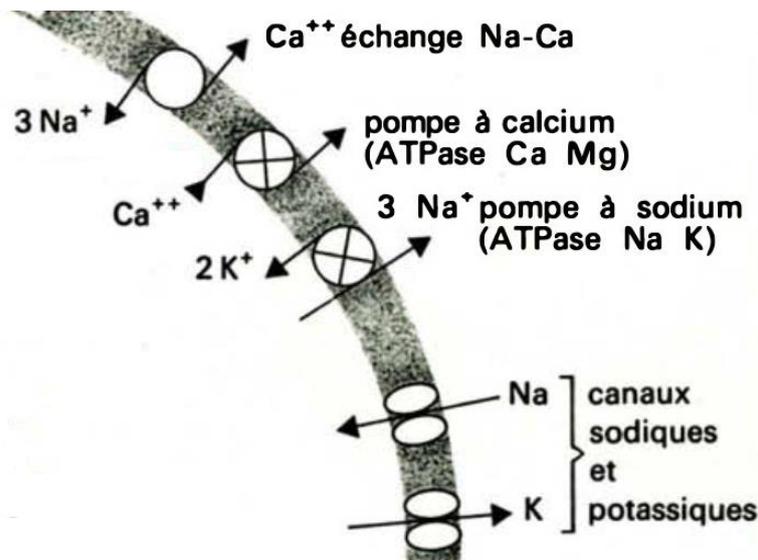


Figure 21 - Régulation de l'excitation-contraction-relaxation du muscle cardiaque (41)

Les principaux électrolytes utilisés par l'organisme sont le sodium (Na), le potassium (K), le magnésium (Mg), le calcium (Ca), le phosphore (P) et le chlorure (Cl).

Les quantités quotidiennes recommandées pour des adultes seraient :

- Sodium : 2 300 mg
- Potassium : 4 700 mg
- Magnésium : 420 mg (hommes), 320 mg (femmes)
- Calcium : 1 000 mg (hommes), 1 300 mg (femmes). (42)

#### **IV.2.1.1. Le magnésium**

Près d'un tiers de la quantité de magnésium présente dans l'organisme se localise dans le tissu osseux. Il a pour fonction d'être un régulateur du métabolisme glucidique et lipidique des tissus musculaires, cardiaques et nerveux. Le magnésium participe à la formation d'anticorps et à l'influx nerveux par sa charge électrique positive  $Mg^{2+}$ .

#### **IV.2.1.2. Le calcium**

La fonction principale du calcium est d'assurer la solidité des os en gérant l'édification et le renouvellement du squelette. Le calcium participe également par sa charge électrique positive,  $Ca^{2+}$  à la contraction musculaire et cardiaque, à la coagulation sanguine, aux échanges cellulaires, à la perméabilité membranaire, à la libération d'hormones, au fonctionnement digestif et à la transmission de l'influx nerveux.

#### **IV.2.1.3. Le chlore**

Le chlore est un gaz naturel mais sel de chlorure se trouve dans notre organisme. Très souvent associé au sodium (le sel de table) et au potassium, il participe à la répartition des liquides dans l'organisme puisqu'il est localisé dans les liquides extracellulaires de l'organisme. Le chlore est aussi impliqué dans la régulation du pH, en maintenant l'équilibre acido-basique permettant une répartition adéquate des liquides de l'organisme. Enfin, le chlore est un élément constitutif de l'acide chlorhydrique (HCl) sécrété par l'estomac donc participe à la bonne digestion. (43)

#### **IV.2.1.4. Le potassium**

Le potassium est nécessaire au bon fonctionnement des cellules, des nerfs et des muscles par sa charge électrique positive  $K^+$  permettant un échange d'ions à travers les membranes. Sa concentration est maintenue dans un intervalle de 3.5 à 4.5 millimoles par litre de sang (mmol/L). Si sa concentration est hors normes elle entraîne des problèmes cardiaques.

#### **IV.2.1.5. Le sodium**

Le sodium joue un rôle capital dans la régulation de la pression osmotique, de l'équilibre hydroélectrolytique et de la masse hydrique de l'organisme. Dès que le volume sanguin (volémie) est trop élevé, les vaisseaux sanguin et rénaux reçoivent l'information d'éliminer le sodium afin de diminuer la volémie et inversement. Les reins stimulent les surrénales pour produire l'aldostérone, une hormone responsable de l'augmentation de la rétention du sodium et l'excrétion du potassium par les reins. La rétention du sodium entraîne une baisse de la production d'urine et donc une augmentation de la volémie. L'hypophyse sécrète de la vasopressine qui est responsable de la conservation d'eau par les reins. (31) Le sodium est également chargé positivement ce qui lui permet la transmission de message à travers l'organisme.

### **IV.2.2. Le phosphore**

Le phosphore participe avec le calcium et le magnésium, à la constitution de la masse minérale du squelette osseux. Il entre dans la composition des molécules d'Acide DésoxyriboNucléique

(ADN) et d'Acide RiboNucléique (ARN). Les cellules utilisent le phosphore pour transporter l'énergie via l'adénosine triphosphate (ATP). C'est donc un élément essentiel pour l'activité de l'organisme.

### IV.2.3. Le soufre

Le soufre est un minéral permettant la synthèse de deux acides aminés essentiels : la méthionine et la cystéine. Il se retrouve principalement stocké dans les os, les ongles et les cheveux et assure aussi le maintien de leur état. Par le biais de la méthionine, il entre dans la synthèse de protéines de l'organisme.

## IV.3. Les macronutriments

Les macronutriments sont en biologie, les éléments ou composés organiques contenus dans les aliments nécessaire à la vie de l'organisme regroupant les protéines, les glucides et les lipides. (44)

### IV.3.1. Les glucides

Les glucides ou carbohydrates ou encore hydrates de carbone sont une classe de composés organiques (Figure 22). Les glucides correspondent à la principale source d'énergie de notre organisme. Il en existe deux types : les glucides simples ou sucres rapides et les glucides complexes ou sucres lents. (33)

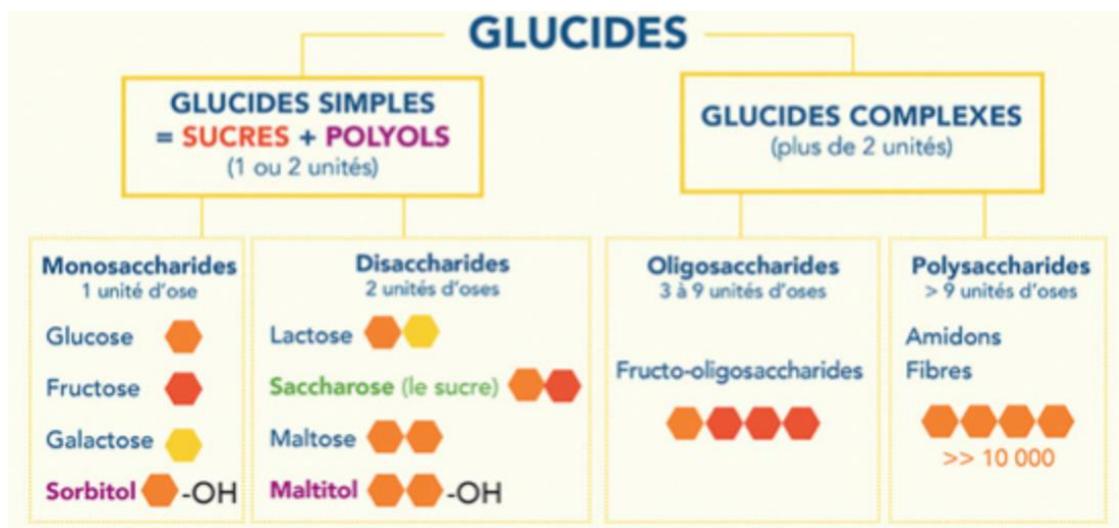


Figure 22 - Les différents type de glucides (45)

Les glucides simples sont de petite taille. Ils sont composés d'une à trois unités de base dénommées oses ( $C_n(H_2O)_n$ ) elles-mêmes composées de carbone, d'oxygène et d'hydrogène. (34) Les glucides simples comprennent des monosaccharides comme le glucose, le fructose et le galactose, des disaccharides comme le saccharose, le maltose et le lactose. Étant donné leur petite taille, l'organisme peu facilement les assimiler ce que traduit leur appellation de

« sucre rapide ». Ils permettent une augmentation rapide de la concentration en glucose dans le compartiment sanguin.

Les glucides complexes sont de grosses molécules constituées de longues chaînes de glucides simples. Ils comprennent des polysaccharides digestibles tels que l'amidon, le glycogène, l'inuline et des polysaccharides non digestibles tel que les fibres alimentaires (celluloses). Tout comme les glucides simples, les glucides complexes doivent être décomposés avant d'être assimilés. Étant plus gros, ceci leur vaut le nom de « sucre lent ». (34)

Le rôle des glucides est essentiellement énergétique. Un gramme de glucides fournit 4 kilocalories (kcal) à l'organisme. Les glucides sont amenés à devenir glucose, forme sous laquelle les cellules de l'organisme peuvent l'assimiler ou le stocker. (35) Outre leur apport énergétique, les glucides provoquent la sensation de satiété. Ils jouent un rôle structural dans la composition moléculaire de notre organisme, ils participent au fonctionnement du système immunitaire et assurent le bon fonctionnement de notre cerveau. (35)

### IV.3.2. Les protides

Les protides font partie de la famille des macronutriments comme les glucides et les lipides. Ce sont les nutriments utilisés en grande quantité par l'organisme à des fins énergétiques. Les protides regroupent les acides aminés, les peptides et les protéines (Figure 23).

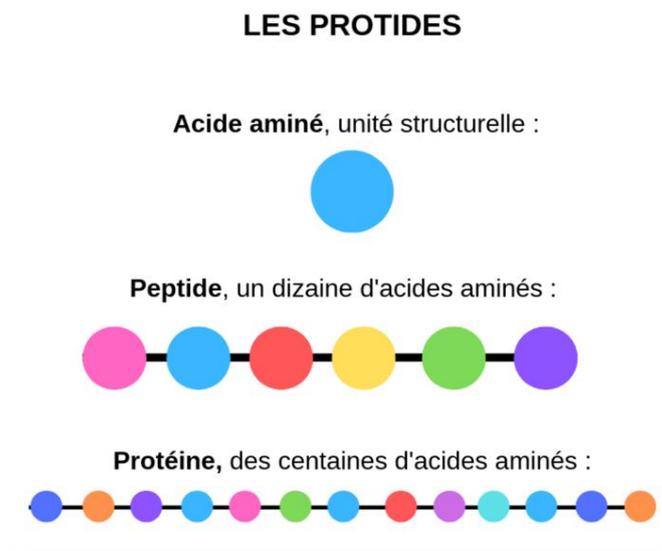


Figure 23 - Compositions d'un protide (46)

Les acides aminés (AA) sont l'unité structurelle des protides. Ils entrent dans la composition des protides plus grands comme les peptides (ensemble de deux à quelques dizaines AA) et des protéines (ensemble allant jusqu'à 30 000 AA).

Il existe plus de 500 acides aminés dans la nature, mais seulement 22 sont présents dans notre alimentation également appelé protéinogènes. Parmi eux, 9 sont dits « essentiels », c'est-à-dire que le corps est incapable de les synthétiser de lui-même. Ils doivent donc être

apportés par l'alimentation. Ils regroupent : la valine, l'isoleucine, la leucine, la méthionine, la lysine, la phénylalanine, le tryptophane, l'histidine et la thréonine. (36)

Les autres acides aminés « non essentiels » sont au nombre de 12 et regroupent : l'alanine, l'arginine, l'asparagine, l'acide aspartique, la cystéine, la glutamine, l'acide glutamique, la glycine, l'histidine, la proline, la sérine et la tyrosine. Deux autres acides aminés sont dits « semi-essentiels » car dans certaines conditions comme l'histidine chez le nourrisson, et l'arginine en pathologie ceux-ci sont essentiels. (37)

Après les peptides, le degré de polymérisation supérieur correspond aux protéines. Les protéines que nous utilisons sont assemblées dans notre corps à partir des acides aminés ingérés lors d'un repas et synthétisés par notre organisme. L'ordre des acides aminés au sein d'une protéine est alors déterminé par l'ordre des nucléotides constitués de 3 éléments qui sont : un groupe phosphate, un pentose et une base azotée (cytosine, thymine, adénine et guanine) comme le schématise la figure 24. Cet enchainement de nucléotides constitue l'acide désoxyribonucléique (ADN). C'est ce séquençage de nucléotide qui se nomme le code génétique. (38)

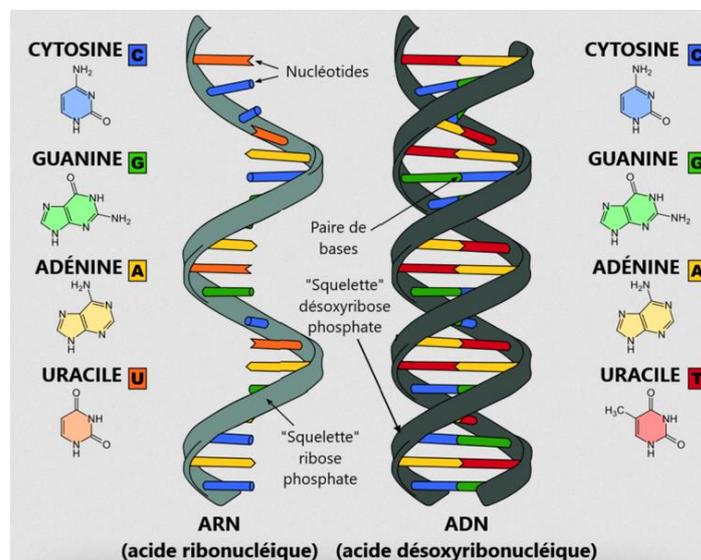


Figure 24 - Constitution d'un brin d'ARN et d'une chaîne d'ADN (47)

Les grandes chaînes d'acides aminés constituant l'ADN prennent alors différentes formes en se repliant sur elles-mêmes : en hélice, en feuille, en coude ...

Les protéines ont de nombreuses fonctions au sein de l'organisme. Elles constituent certaines hormones dites « peptidiques » comme l'insuline et le glucagon. Ces deux hormones régulent le glucose dans l'organisme. Elles constituent également certaines protéines hépatiques (HDL et LDL) et protéines thyroïdiennes.(48)

Vous l'aurez compris, ces protides constituent la base de notre existence.

Les protéines peuvent aussi être utilisées à des fins énergétiques, puisque 1g apporte 4kcal. Par manque d'apports énergétiques en alimentation, le corps ira puiser dans ses réserves. Les besoins protéiques d'un adulte sont de 0,83g/kg/Jour. (48)

A savoir que, contrairement aux idées reçues, la bière ne contient pas directement de lipides donc ne fait pas grossir.

#### **IV.4. Les Vitamines**

Les vitamines sont des substances sans valeur énergétique mais essentielles à l'organisme. Ces substances sont nécessaires à un grand nombre de processus physiologiques. L'organisme peut synthétiser certaines vitamines de lui-même à l'exception de deux d'entre elles, qui sont les vitamines K et D. Une alimentation équilibrée et diversifiée suffit à couvrir les besoins de l'organisme. Un apport trop élevé de vitamines n'améliore pas les performances d'un organisme mais peu, au contraire, à moyen ou long terme, avoir des effets toxiques. A l'inverse, un apport insuffisant entraîne des carences<sup>24</sup>. (49)

Treize familles de vitamines sont définies et classées en deux catégories. Les vitamines liposolubles qui regroupent les vitamines A, D, E et K. Elles sont solubles dans les graisses et stockées par l'organisme.

Les vitamines hydrosolubles sont les vitamines des groupes B et C. Elles sont solubles dans l'eau et doivent être apportées en permanence à l'organisme. (49)

La bière est un véritable cocktail de vitamines. Il n'y a pas de graisses dans la bière donc pas de vitamines liposolubles. Les vitamines de la bière sont toutes hydrosolubles. Ce sont les vitamines du groupe B (B1, B2, B3, B5, B7, B8 et B12) apportées par le malt, la levure et du houblon. (41,49,50)

Les vitamines B sont des régulateurs énergétiques et caloriques. Elles contribuent au métabolisme des glucides, des lipides et des protéines.

##### **IV.4.1. La Vitamine B1**

Aussi appelé thiamine, possède une action sur le stress en intervenant dans la transmission de l'influx neuro-végétatif orthosympathique. La thiamine lutte également contre la dégénérescence du muscle cardiaque. (51)

Une carence entraîne le « béribéri ». Cette carence est responsable de troubles psychiques, de lésions du système nerveux et du système cardiaque. A contrario, un excès de vitamines B1 n'est pas toxique pour l'organisme. Celle-ci sera évacuée naturellement par voie fécale. (50)

Les apports journaliers recommandés sont de (AJC) 0,5 mg à 1,3 mg par jour pour un adulte.

##### **IV.4.2. La Vitamine B2**

Aussi appelé riboflavine contribue à la régénérescence de l'œil par une action directe sur la cornée et la rétine. Elle participe donc à une meilleure vision et à la prévention de la cataracte. Elle agit au niveau de la peau, des muqueuses et des tissus en assurant le renouvellement et la trophicité<sup>25</sup> de ceux-ci. La riboflavine est un facteur de croissance indispensable pour la vie foetale et le nouveau-né. Une carence en vitamine B2 provoque une irritation des commissures

---

<sup>24</sup> Absence ou insuffisance d'éléments indispensables à la nutrition.

<sup>25</sup> Ensemble des mécanismes qui concourent à la nutrition et à la croissance des cellules, des organes et des tissus.

(perlèche), associée à des lèvres sèches et rouges (chéilite). Ces symptômes sont souvent associés à une dermatite séborrhéique au niveau des yeux et du nez. La langue est de couleur pourpre et décapillée. Ceci est associé à une hypervascularisation des conjonctions oculaires, à des larmoiements et à une photophobie. En excès de vitamine B2 n'a aucun effet sur l'organisme hormis une coloration des urines en jaune.(50)

Les AJC sont compris entre 0,8 à 1,5 mg / jour.

#### **IV.4.3. La vitamine B3**

Aussi appelé niacine ou vitamine PP (qui signifie « prévention de la pellagre »). Cette vitamine est un précurseur de la Nicotinamide Adénine Dinucléotide (NADH) ; elle est associée à l'aspartate et au tryptophane. Elle participe au bon fonctionnement des processus biologiques. Le NADH est considéré comme un coenzyme, molécule indispensable à l'activité de certaines enzymes. Le NADH est notamment associé à une activité indispensable à l'organisme, la respiration cellulaire. C'est un processus par lequel l'oxydation du glucose aboutit à la production d'énergie. Il est nécessaire au fonctionnement des cellules. (52) Une carence en B3 se traduit par un état dépressif, une insomnie, une lucite avec photosensibilité. Dans les cas extrêmes, cette carence évolue en pellagre qui se traduit par une couleur rouge foncé sur les parties découvertes, des diarrhées, des inflammations digestives et des troubles psychiques tel que la démence mais également des sensations de brûlures et des fourmillements des extrémités. (50)

Les AJC se situent entre 6 à 14 mg / jour.

#### **IV.4.4. La vitamine B5**

Aussi appelé acide pantothénique permet la croissance harmonieuse des cellules au sein des tissus qui favorise une bonne cicatrisation et la réparation des tissus. Elle entre dans la constitution du coenzyme A, responsable du métabolisme des acides gras essentiels polyinsaturés et dans le métabolisme d'hormones des glandes endocrines. Une carence se traduit le plus souvent par de la fatigue, des nausées et une diarrhée mais aussi à une tendance à l'hypotension, céphalée, crampes et alopecie à également été constaté. (50)

Les AJC se situent entre 2 à 5 mg / jour.

#### **IV.4.5. La vitamine B8**

Aussi appelé biotine ou vitamine H. Elle sert de coenzyme aux réactions métaboliques responsables de la fabrication d'ARN et également au métabolisme des protéines. Celle-ci participe donc à la fabrication de nos cellules et particulièrement des globules rouges et lymphocytes. L'apport en vitamines B8 participe également à l'entretien et à la repousse des cheveux. Une carence entraîne une dermatite séborrhéique localisée notamment au visage. Le nez et le menton deviennent particulièrement sec, une chute de cheveux est également observée. (50)

Un AJC se situent entre 12 à 50 µg / jour.

#### IV.4.6. La vitamine B9

Aussi appelé acide folique intervient dans la réplication de l'ADN. La réplication qui consiste en un dédoublement de l'hélice d'ADN du noyau cellulaire. Elle participe donc à la réplication cellulaire, ce qui en fait une vitamine essentielle lors de la grossesse afin d'assurer un bon développement du fœtus. Une supplémentation en vitamine B9 est à commencer avant même la conception afin de limiter les risques de *spina bifida*<sup>26</sup> et d'un accouchement prématuré. Une carence peut être induite par la prise de médicaments tel que des antibiotiques, des antiépileptiques et des contraceptifs. Cette carence se caractérise par une diminution de globules rouges, des lymphocytes et des plaquettes sanguines. La carence en vitamine B9 est associée également à des symptômes tel que l'insomnie, la perte de mémoire et des troubles du comportement. (50)

Les AJC se situent entre 100 à 350 µg / jour.

#### IV.4.7. La vitamine B12

Aussi appelée cobalamine intervient dans la fabrication de l'ADN, l'hématopoïèse<sup>27</sup> ainsi que dans la synthèse des acides gras. Une carence de cobalamine entraîne une anémie macrocytaire. C'est une diminution du taux d'hémoglobine dans le sang avec la présence de globules rouges dont la taille est anormalement grande. Ceci est souvent associé à des troubles de l'appétit, des troubles neurologiques et avec une perte de la sensibilité profonde. Des troubles psychiques comme un tendance dépressive, des pertes de mémoire et des troubles de l'humeur sont aussi décrit lors de cette carence. (49)

Les AJC se situent entre 0,8 à 2,4 µg / jour.

---

<sup>26</sup> Malformation qui se produit lors des 4 premières semaines, anomalie de fermeture du tube neural. (53)

<sup>27</sup> Ensemble des mécanismes qui assurent la production continue et régulière des différentes cellules sanguines.

## V. Les effets sur l'organisme

### V.1. Court terme

#### V.1.1. L'intolérance

L'intolérance alimentaire est un phénomène beaucoup plus répandu que les allergies alimentaires. Une intolérance alimentaire se traduit par une difficulté de l'organisme à digérer un certain type d'aliment. Cela touche le système digestif et non le système immunitaire ce qui est donc bien moins grave. Les symptômes sont souvent des ballonnements, des gaz, un transit irrégulier associés ou non à des crampes et à des nausées.

L'intolérance peut être provoqué par l'un des composants de la bière tel que la céréale utilisée avec la présence ou l'absence de gluten. Nous pouvons également présenter une intolérance à l'alcool due à l'absence de certaines enzymes permettant à l'organisme de métaboliser l'éthanol. Ce phénomène est connu chez la population asiatique qui est dépourvu d'enzymes de métabolisation. Comme l'Alcool-DésHydrogénase (ADH) qui est responsable de la métabolisation de l'alcool en acétaldéhyde, substance toxique pour l'organisme (Figure 25).

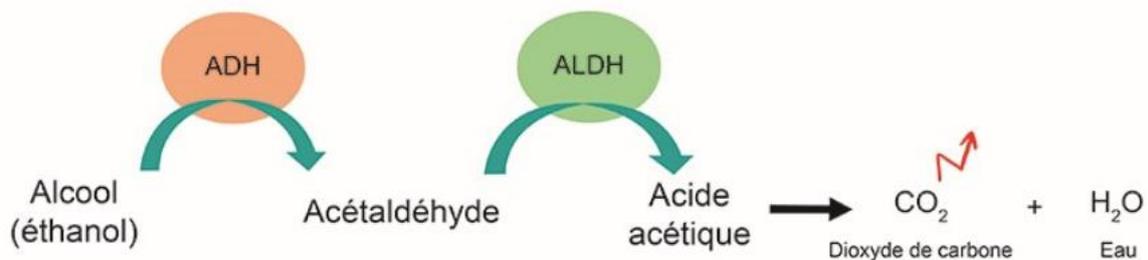


Figure 25 - Métabolisation de l'alcool par l'ADH et l'aldéhydes déshydrogénase (ALDH) (54)

L'ALdÉHyde-DésHydrogénase (ALDH2) quant à elle est responsable de la dégradation de l'acétaldéhyde en acide acétique qui sera lui-même éliminé facilement par l'organisme. (45) Dans le cas d'intolérance à l'alcool, c'est l'ALdÉHyde-DésHydrogénase qui fait défaut ce qui conduit à l'apparition de symptômes comme une rougeur de la face, une diminution de la tension, une atonie musculaire et des troubles digestifs. (55)

Pour une personne intolérante, il faut connaître l'élément mis en cause dans ce phénomène d'intolérance. Aujourd'hui, des bières sans gluten sont fabriquées à partir de céréales alternatives telles que le riz, le sorgho ou à base de pseudo-céréale tel que le sarrasin sont disponibles. Eventuellement, si c'est l'alcool qui est mis en jeu, de la bière sans alcool est disponible. Tout le monde peut s'offrir le plaisir de siroter une bière.

#### V.1.2. L'allergie

L'allergie, ou réaction d'hypersensibilité de type I (immédiate), est une exacerbation de la réponse immunitaire vis-à-vis de substances inoffensives communes qui s'appelle allergènes.

Elle intervient chez des individus prédisposés génétiquement à produire ce genre de réponse dans des conditions d'exposition particulières. Ces conditions mettent en jeu l'allergène lui-même, sa structure, sa dose, son mode d'entrée, sa voie d'entrée, sa fréquence d'administration, son moment d'entrée et l'individu par son statut immunologique au moment de la sensibilisation. Après une première phase de rencontre avec l'allergène, appelée sensibilisation, une réponse immunitaire préférentielle de type lymphocytes T Helper de type 2 (Th2) s'engage (Figure 25). (56)

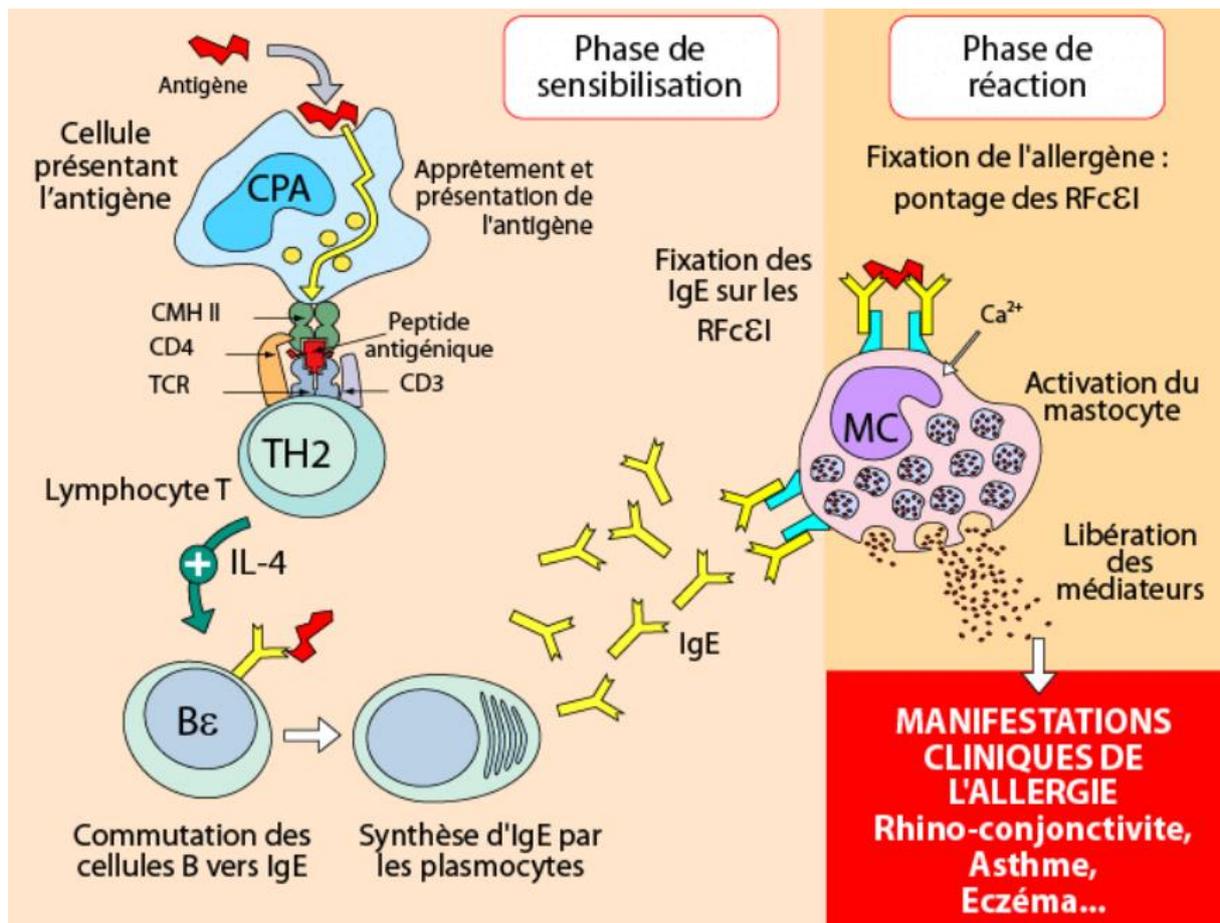


Figure 26 - Mécanisme schématique de l'allergie, hypersensibilité de type I (57)

La réponse immunitaire Th2 est caractérisée par la production de certaines cytokines<sup>28</sup> polarisant la réponse immune et conduisant, entre autres, à la production d'ImmunoGlobuline de type E (IgE), spécifiques de l'allergène. Les IgE peuvent ensuite se fixer sur leurs récepteurs de haute affinité (RFcεI) exprimés par différentes cellules spécialisées de la lignée hématopoïétique contenant de nombreux granules intracytoplasmiques. Ces dernières peuvent être des basophiles, cellules circulantes, ou bien des mastocytes, leurs homologues tissulaires. Les allergènes, lors de leurs réintroductions, se fixent sur les IgE spécifiques liées

<sup>28</sup> Substance élaborée par le système immunitaire, régulant la prolifération de cellules.

à leur récepteur membranaire. Ceci induit une cascade de signalisation aboutissant à la dégranulation c'est-à-dire la libération des médiateurs immunitaires et de l'inflammation (telle que l'histamine) contenus dans les granules des cellules. Ces médiateurs (amines biogènes et cytokines) ont des effets immédiats, (vasodilatateurs et/ou broncho-constricteurs), et retardés de type inflammatoires (recrutement de cellules sur les lieux de l'inflammation). Ils sont à l'origine des symptômes observés : asthme, rhino-conjonctivite, kératite, prurit, eczéma, ou de l'expression la plus aiguë de l'allergie : l'anaphylaxie. (56) Les allergies à la bière artisanale peuvent être causées par différents types d'allergènes tels que le gluten, le houblon, la levure, les sulfites, les protéines du malt et les résidus de pesticides. (46) Le traitement de l'allergie peut se faire par la prise d'antihistaminiques associée ou non à des corticoïdes.

### V.1.3. L'activité digestive

La bière agit sur le péristaltisme intestinal mais aussi sur la sécrétion et la libération d'acide gastrique. L'action sur les cellules musculaires lisses de l'intestin se fait par une molécule isolée de la bière : la N-méthyltyramine qui se fixe sur les récepteurs muscariniques M3 et provoque la contraction de ces cellules. (58) La N-méthyltyramine est également responsable de la libération de gastrine, hormone protéique produite et stockée au niveau des cellules G de l'antrum de l'estomac. La digestion stimule la sécrétion d'acide chlorhydrique par les cellules pariétales de la muqueuse gastrique. (59) Outre le fait d'une amélioration de la fonction digestive par une action mécanique et sécrétrice, la bière protège également la santé intestinale.

### V.1.4. L'impact sur le microbiote

D'après l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM), le microbiote représente l'ensemble des micro-organismes ; les bactéries, les virus, les parasites et les champignons non pathogènes dits commensaux, qui vivent dans un environnement similaire. Il existe différents microbiotes surs et dans notre corps comme sur la peau, dans la bouche, le vagin, les poumons... Le microbiote intestinal est le plus important de tous, abritant près de  $10^{12}$  à  $10^{14}$  micro-organismes. (60) Il est principalement localisé dans l'intestin grêle et le côlon. A savoir que le microbiote intestinal est aussi unique qu'une empreinte digitale, il est propre à chaque individu. En moyenne, le microbiote regroupe 160 espèces de bactéries et seulement 15 à 20 espèces seraient communes à tous les être humain. (60)

Parmi les bactéries du microbiote 4 embranchements bactériens peuvent être différenciés : *Actinomycetota*, *Bacillota*, *Bacteroidota* et *Pseudomonadota*. Les *Bacillota* et les *Bacteroidota* constituent la partie dominante du microbiote avec une proportion respective de 60–75 % et 30–40 %. C'est un écosystème bactérien très sensible et précieux puisque plus de 90 % des espèces du microbiote intestinal ne sont pas cultivables. (61) Le microbiote assure de nombreuses fonctions au sein de l'organisme. Il impacte la protection immunitaire de l'organisme en induisant la production des Immunoglobulines de type A (IgA) sécrétées qui sont responsables d'une homéostasie de la diversité de notre flore bactérienne. Outre son rôle de barrière, le microbiote intestinal joue un rôle fondamental dans le développement et la maturation du système immunitaire. (62)

Les principales sources d'énergie du microbiote intestinal sont les glucides et les protéines qui se retrouvent dans la bière, dans l'alimentation ainsi que dans les fibres alimentaires non digérées situées dans le tractus digestif supérieur et qui parviennent dans le côlon. Différents

groupes bactériens du microbiote colique avec des activités complémentaires forment une chaîne trophique<sup>29</sup> de dégradations, des polymères glucidiques en métabolites fermentaires. La biodégradation des protéines est, quant à elle, moins importante que celle des glucides mais elle est fondamentale car les protéines représentent la principale source azotée des bactéries coliques. Les lipides de la lumière colique comprennent les lipides non absorbés dans l'intestin grêle et les lipides bactériens. Ces acides gras sont transformés par diverses bactéries du microbiote colique. Le microbiote converti le cholestérol en coprostanol qui n'est pas absorbé par l'organisme mais éliminé dans les fèces. Le microbiote est également responsable du métabolisme des gaz. Ils peuvent être excrétés par voie rectale ou par voie pulmonaire, mais la plus grande partie de l'hydrogène est transformée par des bactéries du microbiote colique dites hydrogénotrophes. (62)

La bière est généralement un produit pasteurisé du fait d'une large consommation de bière industrielle. En revanche, les bières artisanales, contiennent encore des bactéries et ont le potentiel d'influencer le microbiote intestinal. Pour une efficacité optimale, il est recommandé de plutôt consommer des bières sans alcool, car malgré la faible teneur en alcool des bières, (souvent aux alentours des 5% d'alcool), une consommation excessive d'alcool impacte le microbiote intestinal est cause une dysbiose<sup>30</sup>. Il est prouvé que plus le pourcentage d'alcool dans la bière est élevé, plus l'impact nocif de la bière sur le microbiote intestinal et la santé en général est élevé. (63)

Une étude (63) financée par le Centre de la bière, de la Santé et de la nutrition de Roumanie, menée par Hernandez-Quiroz consistait à administrer 355 mL de bière par jour pendant 30 jours à des sujets sains divisés en 2 groupes ; l'un ayant reçu de la bière sans alcool et l'autre de la bière avec alcool. Cet auteur a pu mettre en évidence une influence positive de la bière sans alcool sur le microbiote intestinal par une augmentation de la croissance de sa diversité de ce microbiote grâce aux polyphénols contenues dans la bière.

Le microbiote augmente la biodisponibilité des polyphénols qui, à leur tour, modulent la population des micro-organismes du côlon, en inhibant les micro-organismes pathogènes et en stimulant le développement de micro-organismes bénéfiques par une action prébiotique. Au contraire, le groupe ayant reçu la bière alcoolisée n'a pas présenté d'effets positifs aussi marqués sur la flore intestinale mais a présenté des effets négatifs sur la glycémie. (64)

### **V.1.5. L'activité antioxydante**

Selon une étude menée en Espagne par Martinez-Gomez A. (65), il a été démontré que la consommation modérée de bière procure des effets bénéfiques sur la santé grâce à la propriété antioxydante qui a pour rôle de piéger les radicaux libres, inhiber les enzymes pro-oxydatives et de chélater les ions métalliques notamment. Les antioxydants présents dans la bière participent à l'amélioration des symptômes de certaines maladies tel que l'ostéoporose

---

<sup>29</sup> Ensemble des relations qui s'établissent entre des organismes en fonction de la façon dont ceux-ci se nourrissent.

<sup>30</sup> Déséquilibre du microbiote.

mais ils offriraient également une protection cardiovasculaire et immunologique ainsi qu'une amélioration de l'état inflammatoire de l'organisme.

Les antioxydants sont des composés importants qui nous aident à rester en bonne santé en atténuant le stress oxydatif. Les radicaux libres sont produits dans des conditions physiologiques normales dans notre organisme mais peuvent être produit en excès dans des conditions pathologiques telles que les maladies cardiovasculaires, les cancers, le diabète de type II, les maladies neurodégénératives ou l'ostéoporose.

Les antioxydants issus de la bière proviennent principalement du malt et du houblon. La capacité antioxydante de la bière dépend des teneurs en antioxydants de ces deux ingrédients et de différents paramètres impliqués dans le brassage, à savoir la variété d'orge et du houblon utilisé, le procédé de maltage, les températures utilisées tout au long de la fabrication et de la levure utilisée. Environ 70 à 80 % des composés phénoliques présents dans la bière sont dérivés du malt (le malt foncé a une activité supérieure car plus riche en mélanoidines<sup>31</sup> que le malt blond), tandis que les 30 à 20 % restants proviennent du houblon. (47) Les principaux composés antioxydants dans la bière sont les composés phénoliques et les mélanoidines.

Les composés phénoliques (Figure 27) sont caractérisés par la présence dans leur structure d'un ou de plusieurs groupements phénoliques, c'est-à-dire 1 ou plusieurs cycles aromatique (cycle benzénique) porteur de un ou plusieurs hydroxyles, capables de réduire les espèces réactives de l'oxygène et divers substrats organiques et minéraux.

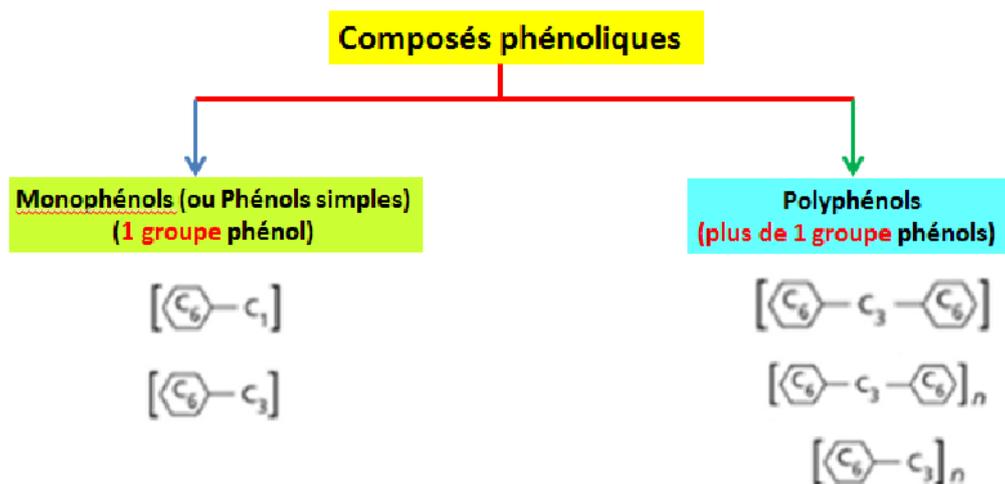


Figure 27 - Formules des composés phénoliques (66)

Ces propriétés d'oxydoréduction ou « potentiel redox » expliquent leur rôle dans la prévention de plusieurs grandes maladies chroniques associées au stress oxydatif. Les phénols présents dans la bière aident à abaisser la pression artérielle et à augmenter la concentration de monoxyde d'azote dans le plasma, réduisant ainsi le risque de maladie cardiovasculaire. (67)

<sup>31</sup> Les mélanoidines sont des polymères hétérogènes bruns de haut poids moléculaire qui se forment lorsque les sucres et les acides aminés se combinent par la réaction de Maillard.

Ces saines propriétés sont en partie, dues à un type spécifique de composés phénoliques présents dans la bière, les flavonoïdes (Figure 28).

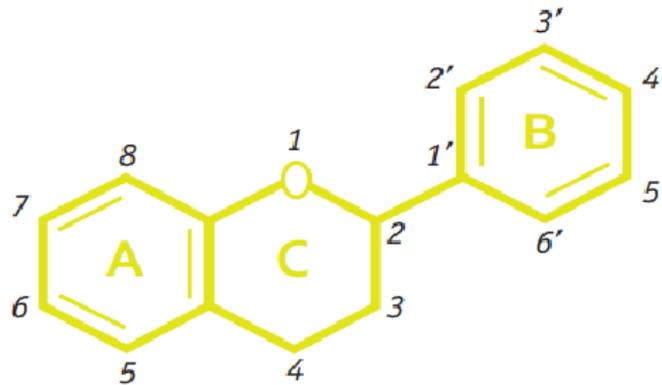


Figure 28 - Structure de base d'un composé flavonoïde (66)

Ces composés possèdent des propriétés anti-inflammatoires, antioxydantes et hypocholestérolémiantes. Cette action hypocholestérolémiante s'explique par l'absence d'oxydation des lipoprotéines de basse densité (VLDL) en bloquant les radicaux libres qui sont responsables de l'oxydation des graisses dans l'organisme. Les polyphénols peuvent impacter positivement le microbiote intestinal en favorisant la croissance de *Lactobacillus spp.* et de *Bifidobacterium spp.* (68)

En ce qui concerne les mélanoidines, plusieurs travaux, ont montré qu'en plus de leur capacité à affecter la couleur, la saveur et le corps de la bière, ces composés peuvent exercer un certain effet sur la santé. (69) Les difficultés à attribuer des propriétés strictes aux mélanoidines sont causées par leur diversité, leur complexité, leurs inconvénients de la purification et de l'identification. Cependant une étude (47) a montré que les mélanoidines possèdent des propriétés antioxydantes, antimicrobiennes, antihypertensives, anti-allergéniques et prébiotiques. Les mélanoidines présentent également la capacité de se lier aux ions métalliques tels que le  $Fe^{2+}$  et sont considérées comme des composés antimutagènes et inhibiteurs de la croissance tumorale. (47)

#### V.1.6. L'alcool

L'alcool est un produit aux effets variés sur le Système Nerveux Central (SNC) ; il fait partie des psychotropes. Cet impact sur le SNC se fait en impactant la transmission de l'influx nerveux entre les cellules nerveuses. Ces impacts sont dits biphasiques puisque selon, la quantité ingérée, l'effet ne sera pas le même. Ces effets regroupent : les déprimeurs et les stimulants.

Il faut noter que l'intoxication éthylique est dépendante de la dose ingérée. C'est-à-dire qu'à une faible dose, l'alcool a un effet psychotrope excitant responsable de la désinhibition comportementale. A dose plus forte, l'effet est sédatif accompagné d'un syndrome cérébelleux responsable de troubles de l'équilibre et de la parole. Et à de très fortes quantités ingérées, il peut y avoir perte de connaissance avec un effet sédatif pouvant nous plonger dans un coma plus communément appelé coma éthylique. (70)

L'effet dépressur de l'alcool agit sur la libération de l'Acide Gamma-AminoButyrique (GABA) qui est le neurotransmetteur inhibiteur le plus important. Il agit de la même manière que certaines benzodiazépines. C'est par ce biais que l'alcool provoque le sentiment de désinhibition. (70)

L'absorption d'alcool provoque, sur le système cérébelleux, de nombreuses variations notamment sur ses neurotransmetteurs et récepteurs. Ces variations ont un impact sur le système de récompense que nous allons détailler.

Le système de récompense, également connu sous le nom de système mésolimbique, se compose de structures cérébrales responsables du traitement physiologique et cognitif de la récompense. La récompense est un processus naturel au cours duquel le cerveau associe divers stimuli (substances, situations, événements ou activités) à un résultat positif ou souhaitable. (71) Ceci impacte le comportement de l'individu, ce qui conduit à terme, à la recherche du stimulus positif. La récompense nécessite la libération de dopamine (DA), neurotransmetteur principal du système de récompense. (72)

La voie dopaminergique est formée par des projections de neurones dopaminergiques du cerveau moyen de l'Aire Tégmentale Ventrale (ATV) au striatum, au cortex préfrontal, à l'amygdale, à l'hippocampe et à de nombreuses autres structures du système limbique. Dès lors qu'un stimulus récompensant est vécu, le système mésolimbique dopaminergique est activé, ce qui provoque la libération de dopamine vers les noyaux ciblés. Le noyau accumbens (Acc) participe au traitement des récompenses comme représenté sur la figure 29 et dans l'évaluation et l'apprentissage par l'incitation. (71)

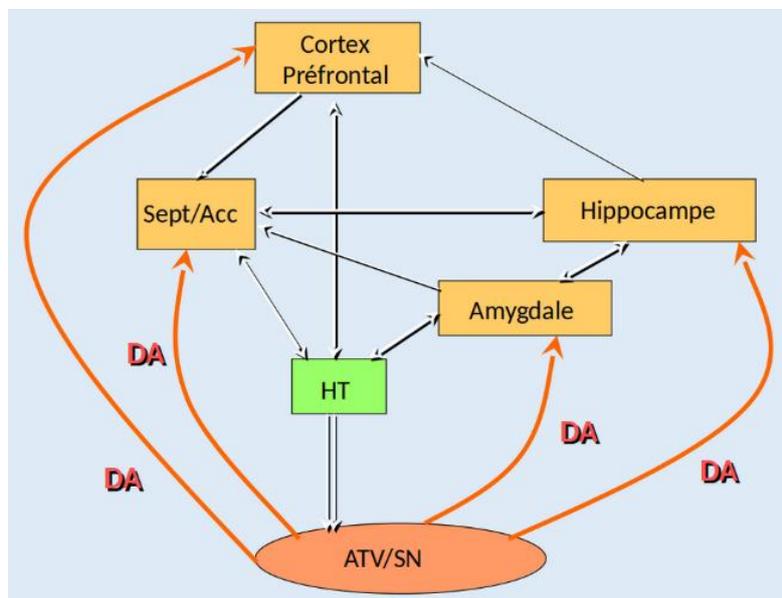


Figure 29 - Représentation schématique du circuit de la récompense (73)

HT : HypoThalamus ; ATV : Aire Tegmentale Ventrale ; SN : Substantia Nigra ; DA : Dopamine ; Sept : Septum ; Acc : Noyau accubens

Les récompenses naturelles, telles que manger, que boire sont nécessaires à la survie de l'Homme. Le système de récompense est sensé déterminer la valence d'un stimulus et lors d'un signal, il doit analyser s'il doit être évité ou approché, tout en attribuant la priorité d'un stimulus par rapport à un autre. Les substances d'abus, ici l'alcool, détournent le système mésolimbique en offrant une récompense sans fonction biologique en contrepartie. Malgré l'absence de bénéfice pour l'organisme, le plaisir et la récompense liés à la consommation d'alcool sont poursuivis à l'excès. C'est à la suite que s'installe le cercle vicieux de dépendance, consommer pour ne plus être mal. (71)

En effet, la sensation de bien-être est déclenchée par le système de récompense est mis en cause par la libération de dopamine (DA). La noradrénaline (NA) et la sérotonine aussi appelé 5-hydroxytryptamine (5-HT) interviennent en amont de la dopamine (Figure 30).

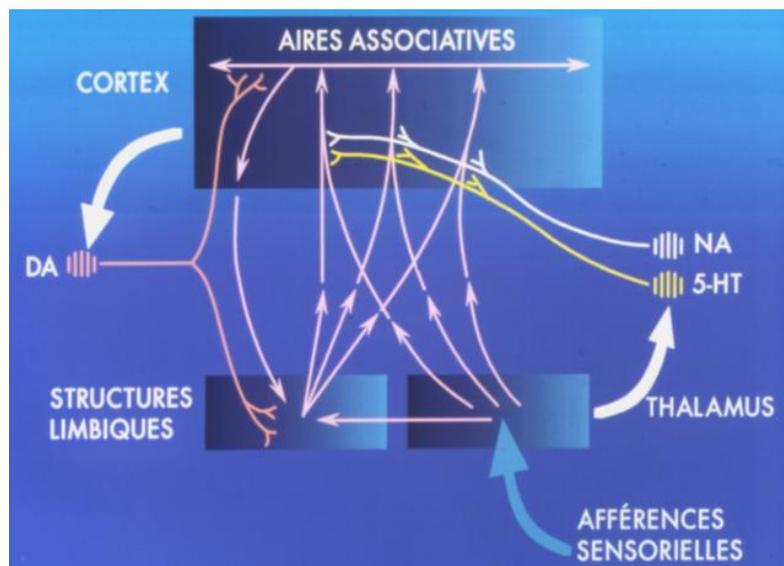


Figure 30 - Liens entre neurones dopaminergiques, sérotoninergiques et noradrénergiques (74)

C'est sur ces trois afférences citées que peuvent intervenir un grand nombre d'antidépresseurs, de neuroleptiques, de psychotropes et de drogues addictives. (54)

Les effets stimulants agissent sur la libération de dopamine et de noradrénaline. Ces deux neurotransmetteurs sont synthétisés à partir d'un acide aminé non essentiel : la tyrosine. (75) La dopamine est surnommée la « molécule du plaisir » impactant le comportement, la mémoire et le contrôle moteur de la personne. La noradrénaline est le précurseur de l'adrénaline qui est responsable de l'état d'excitation. La consommation d'alcool est responsable d'une sur stimulation de la libération de dopamine par l'aire tegmentale ventrale et le noyau accubens.

L'effet dépressur de l'alcool impacte la motricité, la coordination, l'équilibre et la mémoire. Une consommation excessive d'alcool se traduit par une intoxication légère responsable du symptôme le plus connu ; la perte de mémoire ou « black-out ». Ce phénomène s'explique par l'impact de l'alcool sur l'hippocampe, zone du cerveau responsable du traitement de la mémoire. Ici, les souvenirs à court terme ne parviennent pas à accéder au long terme. Ce qui traduit cette perte de connaissance des évènements le lendemain.

L'alcool agit sur les récepteurs GABA responsables d'un passage d'ions négatifs entraînant l'arrêt de la communication neuronale. Ceci se traduit par un effet sédatif et calmant de l'alcool qui provoque chez le consommateur une sédation et relaxation. L'alcool va augmenter la durée d'activation des canaux GABAergiques entraînant une quantité plus importante d'ions négatifs augmentant l'effet déprimeur.

Pour le traitement de la mémoire, le neurotransmetteur mis en jeu est le glutamate. Une fois libéré dans la fente synaptique, il active le récepteur NMDA qui provoque un flux entrant d'ions calcium ( $Ca^{2+}$ ) permettant le cheminement des informations via la poursuite du potentiel d'action. L'alcool est un inhibiteur des récepteurs du glutamate (NMDA). Ceux-ci ne peuvent donc plus laisser passer les ions  $Ca^{2+}$  ce qui court-circuitent le bon fonctionnement de la mémoire. (57)

Les troubles de la vigilance, de l'équilibre et de la parole aussi appelés syndrome cérébelleux et de l'oreille interne s'expliquent par l'impact de l'alcool au niveau du cervelet. Les troubles de l'équilibre peuvent se voir très facilement grâce à l'épreuve de Romberg. Cette épreuve consiste à faire tenir le patient debout, pieds joints durant 30 secondes avec les yeux ouverts puis fermés. La capacité à maintenir l'équilibre ou la tendance à osciller ou à tomber indique ou non la présence d'une pathologie.

Les troubles de la parole s'expliquent par une incoordination entre la respiration et le flux de parole. Ceci se traduit par une élocution dite explosive. (76)

Le cervelet, en temps d'abstinence, synchronise et coordonne les signaux qu'il reçoit. Le signal qu'il envoie à la suite de son analyse est transmis par des neurones gabaergiques. Le cervelet renferme des cellules de Purkinje qui se lient aux neurones et transmettent le signal. L'alcool augmente la libération de GABA qui inhibe les cellules de Purkinje et interrompt le message. Ceci provoque l'incoordination des mouvements. (77)

Les vertiges<sup>32</sup> résultent d'une atteinte du système vestibulaire de l'oreille interne qui contrôle l'équilibre postural, statique et dynamique. (76) L'alcool agit principalement sur les canaux semi-circulaires, qui informent le système nerveux des mouvements de rotation de la tête. Ces canaux, remplis d'un fluide appelé endolymphe, contiennent des cellules ciliées enchâssées dans une cupule, une structure gélatineuse en forme de coupe. Les cellules ciliées détectent les mouvements de rotation. Comme les densités de l'endolymphe et de la cupule sont similaires, la cupule n'est pas sensible à la gravité. L'alcool, transporté par la circulation sanguine, diffuse plus rapidement dans la cupule que dans l'endolymphe. Cela entraîne une diminution de la densité de la substance gélatineuse, permettant à la cupule de se déplacer librement. Elle devient alors sensible aux mouvements de la tête de haut en bas et de côté, mais interprète ces mouvements comme des rotations. Cette perception donne la sensation que « tout tourne » autour de soi. Progressivement, la concentration d'alcool dans l'endolymphe s'équilibre avec celle de la cupule. La cupule perd alors sa capacité à se déplacer, réduisant ainsi la sensation de vertige. Ce même phénomène se produit après l'arrêt de la consommation d'alcool, mais l'alcool disparaît plus rapidement de la cupule que de l'endolymphe, ce qui permet à la cupule de se mouvoir à nouveau. (76)

---

<sup>32</sup> La sensation de mouvement de l'environnement autour de soi ou de soi-même dans l'espace résulte d'une atteinte du système vestibulaire de l'oreille interne, qui contrôle l'équilibre postural, statique et dynamique.

### V.1.7. La veisalgie

La veisalgie est le terme médical désignant plus familièrement la « gueule de bois ». Ce terme viendrait du norvégien « *kveis* », signifiant « *inconfort succédant à la débauche* », et du grec « *algia* » signifiant « *douleur* ». (78) Les symptômes sont connus et regroupent les céphalées, les vertiges, les nausées, les vomissements etc... Les symptômes varient en fonction des personnes et débuteraient entre 8 à 16h après un excès de consommation d'alcool.

La sensation de soif intense, les maux de tête peuvent s'expliquer par une déshydratation légère. En effet, l'alcool inhibe la libération de vasopressine agissant sur les reins. Cette hormone, aussi appelée « hormone antidiurétique », est produite par l'hypothalamus. Elle est responsable de la réabsorption d'eau en agissant sur le tube rénal distal. (79) Etant donné que l'alcool inhibe cette hormone, les reins ne vont plus réabsorber d'eau. A ceci, s'ajoute l'effet diurétique de la bière qui augmente le nombre de miction et donc créer la déshydratation.

Les troubles digestifs tels que les nausées et les diarrhées s'expliquent par l'effet irritant de l'alcool au niveau des muqueuses de l'estomac. L'alcool est responsable d'une surproduction d'acide par l'estomac qui se traduit le lendemain par d'éventuelles gênes. (80)

La métabolisation par le foie de l'alcool produit de l'acétaldéhyde ou éthanal qui est un produit toxique pour l'organisme. (81) Celui-ci est responsable de l'inflammation générale de l'organisme notamment au niveau du foie, du pancréas et du tube digestif.

## V.2. Long terme

La consommation au long terme d'alcool impacte la santé même si celle-ci se fait en petite quantité. La répétition journalière d'une consommation impacte l'organisme. En 2016, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a estimé à 3 millions le nombre de morts imputables à la consommation d'alcool ce qui représente 5,3% de la mortalité dans le monde. (82) Sur l'ensemble des décès attribuables à la consommation d'alcool dans le monde, 29 % étaient dus à des blessures, 21 % à des maladies digestives, 19 % à des maladies cardiovasculaires, 13 % à des maladies infectieuses et 12 % à des cancers. (66)

Inutile d'être alcoolodépendant ou un gros consommateur, une consommation régulière d'alcool est responsable d'une multitude de pathologies telles que des cancers, des maladies cardiovasculaires ou digestives, des atteintes du systèmes nerveux... ou être à l'origine de problèmes plus léger tel que des tremblements, des troubles de la mémoire, de la tension artérielle...

### V.2.1. Bière et uricémie

L'organisme élimine l'acide urique, qui est le produit final de la dégradation des purines, par l'urine. L'hyperuricémie se traduit par un taux élevé d'Acide Urique Sérique (AUS) et peut survenir à la suite d'une augmentation de la production d'acide urique ou à d'une diminution de son excrétion. L'hyperuricémie peut augmenter la probabilité de plusieurs maladies, telles que la goutte, le diabète, les maladies cardiovasculaires, l'obésité, la maladie rénale chronique, le syndrome métabolique, l'hypertension... (83)

La goutte est l'une des formes de rhumatisme les plus douloureuses. Elle atteint les articulations où l'acide urique cristallise et produit une inflammation ; généralement

l'articulation de base du gros orteil est touché en premier. Concernant les personnes souffrant de la goutte, 80 % sont de sexe masculin ayant plus de 40 ans. (84)

Le taux d'acide urique sérique est régulé par le régime alimentaire et la capacité métabolique du corps humain. L'altération du contrôle du métabolisme et de l'excrétion de l'acide urique est associée à l'augmentation du taux d'acide urique sérique, qui engendre une hyperuricémie. Le produit final du métabolisme de la purine est l'acide urique (Figure 31). L'acide urique est synthétisé à la suite de l'action de plusieurs enzymes, dont la xanthine oxydase (XO).

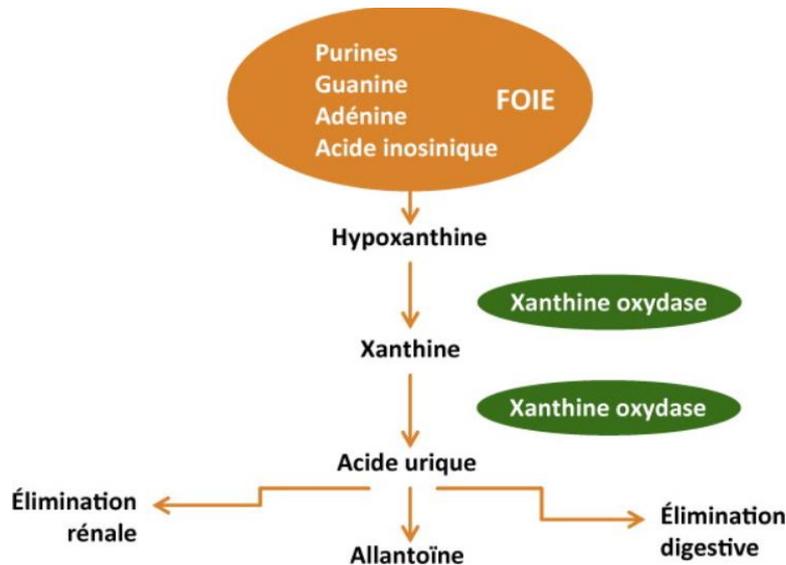


Figure 31 - Métabolisme de la purine en acide urique (80)

L'enzyme XO catalyse les deux dernières étapes de la conversion de la purine en acide urique. La première réaction catalytique est celle formant la xanthine à partir de l'hypoxanthine et la seconde réaction est celle de la formation de l'acide urique à partir de la xanthine. En tant qu'antioxydant endogène, l'acide urique fixe les radicaux libres, y compris les radicaux mono-oxy-peroxydés et les radicaux hydroxyles, en présence d'acide ascorbique dans le plasma. Bien que l'acide urique soit un antioxydant important dans le liquide extracellulaire, l'acide urique agit comme un agent pro-oxydatif dans le système cellulaire. Dans le système cellulaire, l'effet pro-oxydatif de l'acide urique est régulé par la voie régulatrice dépendante de la NADPH oxydase. (83) Des études ont confirmés que le taux d'acide urique plasmatique est considéré comme un marqueur circulatoire des dommages oxydatifs, qui sont observés de manière significative dans diverses complications cliniques, y compris les lésions ischémiques-reperfusion, les lésions hépatiques ischémiques, l'insuffisance cardiaque, l'athérosclérose chronique, l'hyperlipidémie et le diabète. (83)

Les effets de l'alcool ne sont pas liés au degré d'alcool des boissons mais à un composant : la purine, qui se trouve en quantité élevée dans la bière (Tableau 2). La bière correspond à une boisson alcoolisée fermentée comportant plusieurs composants, dont des composés puriques. Ces molécules, lorsqu'elles sont ingérées par l'Homme, peuvent être catabolisées en acide urique, contribuant à l'augmentation du taux sérique d'acide urique, ce qui peut entraîner une hyperuricémie et une goutte.

Tableau 2 - Comparaison de la teneur totale en purine entre les boissons alcooliques (85)

Boisson alcoolique	Teneur en purine (umol L <sup>-1</sup> )
Bière	13.3 – 1145.7
Vin	28.3 - 108
Sake	82.1 – 110.4
Whisky	0.3 – 10.5

Pour assurer une bonne gestion de cette maladie, les médecins recommandent des mesures diététiques restrictives, notamment en évitant la consommation de bière. Il est donc pertinent de développer des méthodes efficaces pour éliminer les composés purines des boissons alcoolisées telles que la bière.

L'ingestion d'éthanol est également responsable d'une élévation du taux AUS en stimulant la production d'acide urique et en empêchant son élimination de l'organisme. La consommation d'alcool accélère le taux de dégradation de l'Adénosine-Triphosphate (ATP), provoquant la formation d'adénosine et d'adénine. L'adénosine peut ensuite subir une dégradation supplémentaire en hypoxanthine et en inosine. L'enzyme Xanthine Oxydase convertit ensuite l'hypoxanthine en xanthine, qui finit par se transformer en acide urique. Par conséquent, une augmentation de la dégradation de l'ATP entraînerait une augmentation de la production de purine et d'acide urique. De plus, le métabolisme de l'alcool augmente le taux d'acide lactique dans le sang et l'acide lactique empêche l'excrétion de l'acide urique par les tubules rénaux. (86)

Une étude chinoise (86) a démontré que les hommes qui buvaient de l'alcool quotidiennement avaient 1,68 fois plus de risques de développer une hyperuricémie que ceux qui boivent de l'alcool plus d'une fois par mois. Dans une autre enquête, les adultes qui buvaient plus de 2 boissons alcoolisées par jour présentaient un risque d'hyperuricémie supérieure de plus de 65 % à celle des personnes qui ne boivent pas d'alcool.(87)

Une énième étude (83) a suivi des participants sur une période de 20 ans, et il a été démontré corrélation entre une augmentation de la consommation de bière et des concentrations plus élevées d'acide urique chez les hommes et les femmes. La bière contient des molécules d'éthanol et de guanosine purine, qui peuvent toutes deux favoriser la synthèse d'acide urique. Les grandes quantités de guanosine dans la bière sont plus facilement absorbées par l'organisme que d'autres nucléosides ou nucléotides. La purine nucléoside phosphorylase convertit la guanosine en guanine qui est ensuite désaminée par la guanine désaminase en xanthine et finalement convertie en acide urique. (83)

### V.2.2. Bière et phytoœstrogène

Les phytoœstrogènes sont des substances non stéroïdiennes d'origine végétale qui présentent des similitudes avec l'estradiol comme nous le montre la figure 32.

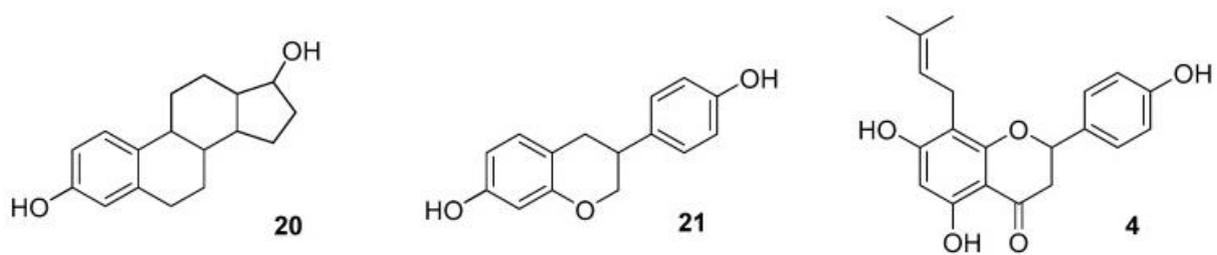


Figure 32 - Structures chimiques de l'estradiol (20), de l'isoflavone (21) et de la 8-prénylnaringénine (8-PN) (4) (88)

Les œstrogènes sont des hormones féminines principalement impliquées dans la régulation du fonctionnement du système uro-génital, de la glande mammaire, du squelette, de la peau et des muqueuses, du système cardiovasculaire, du cerveau, du système digestif. La production de ces hormones est essentiellement assurée par les ovaires. Les œstrogènes affectent également le maintien de la densité osseuse et de la croissance des os en inhibant les ostéoclastes et en stimulant les ostéoblastes. (89)

Les phytoœstrogènes, quant à eux, sont des composés de type œstrogène (Figure 33) qui sont structurellement similaires au 17 $\beta$ -estradiol. Quatre composés phénoliques sont classés comme phytoœstrogènes et regroupent les isoflavones, le stilbène, le coumestrol et les lignanes. Les phytoœstrogènes sont des œstrogènes non stéroïdiens.

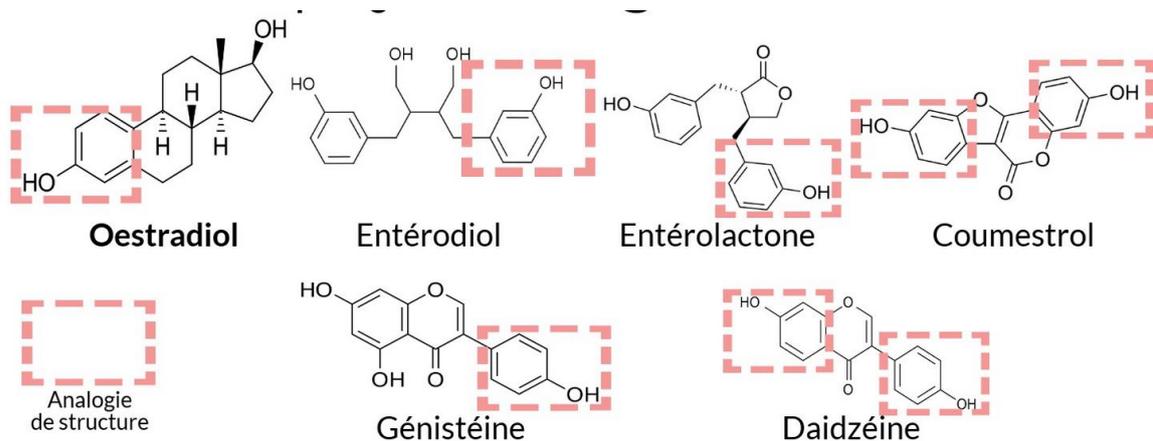


Figure 33 - Analogie structurelle entre l'œstradiol et différents phytoœstrogènes (90)

Il existe deux groupes principaux de phytoœstrogène, les isoflavonoïdes et les lignanes, qui sont présents à des concentrations particulièrement élevées dans les produits à base de soja, de lin et de houblon. Les phytoœstrogènes contenus dans l'alimentation sont digérés, métabolisés par les bactéries intestinales. Les phytoœstrogènes circulent dans le plasma jusqu'à ce qu'ils soient finalement éliminés dans les urines.

Le soja et le trèfle rouge (riche en isoflavones), le lin (riche en lignanes) et le houblon (riche en prénylflavonoïdes) sont les principales sources alimentaires de phytoœstrogènes. (73) Le 8-prénylnaringénine (8-PN), est un flavonoïde prénylé présent dans les cônes de houblon. C'est actuellement le phytoœstrogène étudié le plus puissant. Les prénylflavonoïdes ont,

jusqu'à présent, été identifiés dans 37 genres végétaux, principalement dans les familles des *Leguminosae*, des *Moraceae*, des *Guttiferae*, des *Umbelliferae*, des *Rutaceae* et des *Cannabacées*. Des études (73) ont permis de mettre en évidence que l'effet du 8-PN imite les effets du 17 $\beta$ -estradiol mais à des doses de l'ordre de 10 à 20 000 fois moins. (73)

La ménopause est définie comme l'arrêt définitif de la menstruation due à la fin de l'activité folliculaire ovarienne. La menstruation est un processus cyclique qui se produit en moyenne tous les 28 jours pendant la vie d'une femme. Cependant, avec l'âge, ces cycles cessent complètement. Ceci entraîne des fluctuations des concentrations d'hormones sexuelles, telles que l'hormone folliculo-stimulante (FSH), l'hormone lutéinisante (LH), les œstrogènes et les facteurs de croissance analogues à l'insuline (ILGF-1). Ceci provoque chez la Femme des changements physiologiques et morphologiques. Ces variations hormonales induisent différents symptômes et signes caractéristiques des femmes ménopausées, tels que des saignements irréguliers, des sueurs nocturnes, des bouffées de chaleur, une tachycardie, des douleurs mammaires, un manque d'énergie, une dyspareunie, des douleurs articulaires, une vaginite atrophique, des cycles interrompus, une anxiété, des sautes d'humeur, une sécheresse cutanée et une perte de la libido.

Les flashes chauds ou bouffées de chaleurs sont l'un des symptômes les plus fréquents présentés par les femmes ménopausées. Elles ont un impact profond sur la qualité de la vie et augmentent les coûts de santé. Les symptômes vasomoteurs représentent l'une des principales raisons pour lesquelles les femmes ménopausées demandent des soins médicaux et des traitements dans l'espoir de soulager leur inconfort. Les flashes chauds sont le résultat de la réponse du cerveau à des concentrations d'hormones sexuelles diminuées et fluctuantes qui se produisent lors de la ménopause.

Les traitements actuels de la ménopause comprennent un traitement substitutif aux hormones œstrogènes (THS), des modulateurs sélectifs des récepteurs aux œstrogènes, tels que le tamoxifène et le raloxifène et d'autres médicaments tels que les inhibiteurs sélectifs de la recapture de la noradrénaline (IRSN) et les inhibiteurs sélectifs de la recapture de la sérotonine (ISRS), mais également la gabapentine ou la prégabaline qui soulagent les symptômes vasomoteurs. (74) Cependant, plusieurs études ont démontré les risques cardiovasculaires et carcinogène des ovaires de ces traitement. (74)

Plusieurs études d'intervention (91) ont évalué les effets de la bière et des symptômes de la ménopause. Une étude croisée, randomisée, en double aveugle, d'une durée de 8 semaines, a montré que la consommation de 8-PN entraînait une réduction significative des symptômes de la ménopause et des inconforts. (91)

L'effet de la 8-PN peut s'expliquer par sa forte affinité à la fois pour les récepteurs alpha et bêta-œstrogènes. La liaison du 8-PN aux récepteurs œstrogènes (Figure 34) entraîne sa dimérisation puis il est transloqué dans le noyau, où il se lie à des promoteurs spécifiques qui diminuent l'expression de gènes codent des hormones comme l'hormone folliculostimulante (FSH) et l'hormone lutéinisante (LH) et favorisent la traduction de la prolactine.

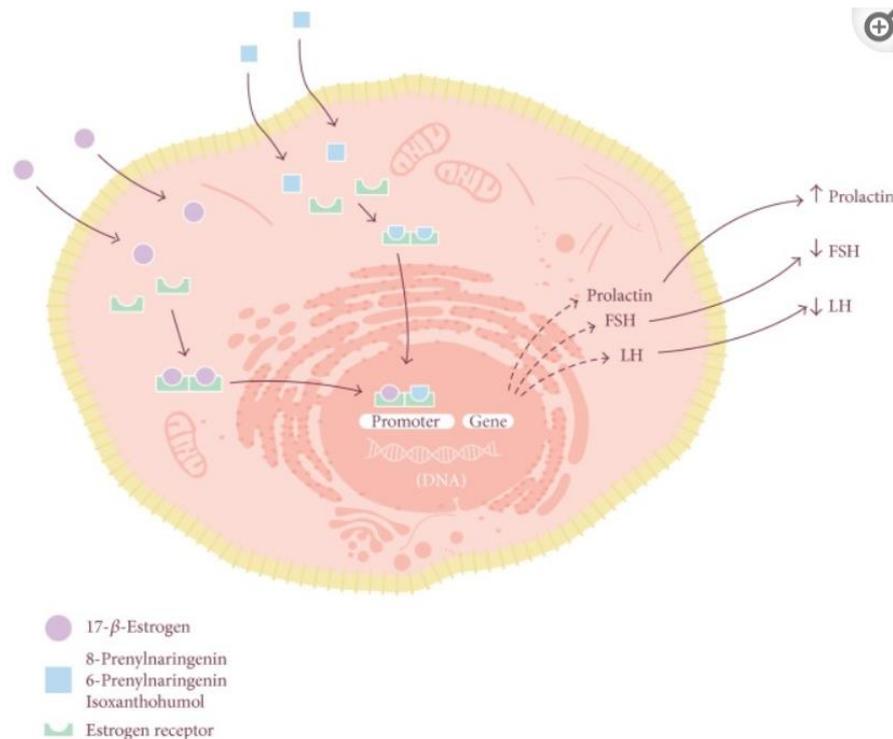


Figure 34 - Mécanisme des phytoœstrogènes dans la cellule (92)

Les polyphénols de houblon semblent être une alternative pour soulager les symptômes de la ménopause présentés par les femmes. Il a été mis en évidence qu'une prise régulière et modérée de polyphénols qui se trouve couramment dans le houblon et la bière permettrait d'avoir une densité minérale osseuse supérieure à celle d'une personne n'en consommant pas et que cela aiderait à soulager de nombreux symptômes courants présentés par les femmes ménopausées. (93) Un complément alimentaire à utilisation régulière de 8-PN est actuellement en train de se développer afin d'accompagner les femmes dans la ménopause. (94) De nombreux laboratoires sont en train de développer des compléments alimentaires permettant de pallier les effets indésirables que peut provoquer la ménopause.

Du fait de son activité au niveau hormonal, l'utilisation du houblon est contre indiqué en concomitance d'un traitement du cancer du sein, du cancer du col de l'utérus ou post cancer. (95)

### V.2.3. Bières et carences

Comme nous l'avons précisé plus tôt, la bière est une boisson riche en vitamines mais lors d'une consommation régulière et à des doses trop importantes, celle-ci entraîne un déficit en vitamines B lié à une diminution de l'absorption de ces vitamines et en particulier, de la vitamine B12. Les personnes qui consomment régulièrement de grandes quantités de bière peuvent donc être plus susceptibles de développer des carences en vitamines B1, B6, B9 et B12. Outre la carence vitaminique, une consommation excessive cause une perte de minéraux essentiels tels que le magnésium, le zinc et le potassium. (66)

La consommation excessive de bière peut entraîner une carence en minéraux essentiels pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la bière est un diurétique, une consommation excessive de

bière peut donc entraîner une augmentation de la perte de minéraux essentiels, tels que le magnésium, le zinc et le potassium, à travers l'urine. Ces minéraux sont nécessaires pour de nombreuses fonctions corporelles, y compris la régulation de la pression artérielle, la santé osseuse, la contraction musculaire et les transmissions des influx nerveux, et le fonctionnement du système immunitaire. Il est admis également que la bière peut contenir, à des concentrations variables, certains minéraux, mais que ces concentrations sont insuffisantes pour compenser les pertes causées par la diurèse induite par l'alcool. Par conséquent, une consommation excessive de bière entraîne une diminution des concentrations sanguines de ces minéraux. (82)

Une carence en vitamine B, également appelée hypovitaminose B, peut entraîner des conséquences importantes sur la santé car les vitamines B jouent un rôle crucial dans de nombreuses fonctions corporelles. La consommation excessive de bière peut contribuer à cette carence de plusieurs manières. Elle peut être le résultat d'une diminution de l'absorption. En effet, la consommation chronique d'alcool peut altérer l'absorption des vitamines B dans le tube digestif en endommageant la muqueuse intestinale, réduisant ainsi la faculté du corps à absorber les nutriments essentiels, y compris les vitamines B. (86)

La carence peut être induite par une diminution de l'apport alimentaire. En effet, les personnes qui consomment régulièrement de grandes quantités de bière peuvent avoir tendance à négliger leur alimentation, ce qui peut entraîner un apport insuffisant en vitamines B provenant d'autres sources alimentaires. La dernière cause possible est due au métabolisme de l'organisme. L'alcool interfère avec le métabolisme des vitamines B dans le foie. L'alcool va perturber la synthèse de la vitamine B12, qui est essentielle pour la formation des globules rouges et pour le bon fonctionnement du système nerveux. (96)

Les conséquences d'une carence en vitamine B peuvent varier en fonction du type de vitamine B impliqué et de la gravité de la carence. Ainsi, il est possible d'observer :

- Une anémie. Une carence en vitamine B12 et en vitamine B9 peut entraîner une anémie, caractérisée par une diminution du nombre de globules rouges dans le sang. Les symptômes de l'anémie peuvent inclure la fatigue, la faiblesse, des étourdissements et des problèmes de concentration. (66)
- Des problèmes neurologiques : Une carence en vitamine B1 peut entraîner des troubles neurologiques tels que la neuropathie périphérique, la démence et le syndrome de Wernicke-Korsakoff, une maladie grave qui affecte la mémoire, la coordination et d'autres fonctions cérébrales. (97)

Le syndrome de Wernicke-Korsakoff (SWK) est une maladie neurodégénérative qui résulte d'une sévère carence en vitamine B1. Il se compose de deux conditions distinctes mais souvent interdépendantes : le syndrome de Wernicke et le syndrome de Korsakoff.

Le SWK débute par une encéphalopathie de Wernicke. C'est la phase initiale et aiguë du syndrome. Les symptômes classiques comprennent une triade caractéristique de troubles neurologiques : une confusion mentale, des mouvements oculaires anormaux appelés nystagmus et des troubles de la coordination (ataxie). D'autres symptômes peuvent inclure une hypotension artérielle, une tachycardie, des tremblements et des troubles de la marche. (97)

Le Syndrome de Korsakoff est la phase chronique et souvent permanente du syndrome. Les symptômes comprennent généralement des déficits graves de la mémoire à court terme, des

troubles de l'apprentissage, une confabulation (création involontaire de souvenirs falsifiés ou déformés), une désorientation dans le temps et l'espace, ainsi que des changements de personnalité. (97)

Les principales causes du syndrome de Wernicke-Korsakoff sont une consommation excessive et chronique d'alcool qui interfère avec l'absorption et l'utilisation de la vitamine B1 par l'organisme, ainsi qu'une alimentation inadéquate ou une malnutrition où la vitamine B1 n'est pas suffisamment présente dans l'alimentation.

Le traitement du syndrome de Wernicke-Korsakoff implique généralement la supplémentation en vitamine B1, souvent administrées par voie intraveineuse dans les cas graves, suivis d'une supplémentation orale à long terme. (97)

- Des problèmes de santé mentale : Les vitamines B sont également importantes pour la santé mentale, et une carence peut être associée à des problèmes tels que la dépression, l'anxiété et d'autres troubles de l'humeur. (66)

Pour prévenir une carence en vitamine B, il est important de maintenir une alimentation équilibrée et variée, riche en aliments sources de vitamines B, tels que les viandes maigres, les produits laitiers, les légumes verts à feuilles, les légumineuses et les céréales enrichies qui sont des céréales enrichies en vitamines et minéraux.

Dans un projet de traitement d'alcoolodépendance<sup>33</sup>, il est important de souligner que les supplémentations en vitamines B1 et B6 ne sont généralement qu'une partie d'un programme de traitement plus complet pour les personnes dépendantes à l'alcool. Un soutien médical et psychologique, ainsi que des interventions comportementales et sociales, sont souvent nécessaires pour aider les personnes à surmonter leur dépendance à l'alcool et à maintenir leur rétablissement à long terme sans rechute. En résumé, les supplémentations en vitamines B1 et B6 sont souvent utilisés pour traiter les carences nutritionnelles et atténuer les symptômes de sevrage chez les personnes dépendantes à l'alcool. Cependant, ces supplémentations doivent être prise sous la supervision d'un professionnel de la santé qui peut déterminer la posologie appropriée en fonction des besoins individuels du patient. (96)

---

<sup>33</sup> L'alcoolodépendance ou alcoolisme est une addiction à l'alcool. (96)

## VI. Possible utilisation dans les futurs traitements

---

### VI.1. Valorisation non médicale

Les drêches sont les résidus de céréales, généralement de l'orge, obtenus lors du processus de brassage de bière. Les céréales concassées sont chauffées dans de l'eau jusqu'à ébullition. Après filtration, l'eau riche en sucre deviendra de la bière et les résidus de céréales prennent l'appellation de « drêches ». Pour 1 hectolitre de bière, cela permet d'obtenir environ 20 à 25 kg de drêches. A savoir qu'il y a 3.4 millions de tonnes de drêches produites par an en Europe. (98)

Cependant, les drêches sont une ressource peu exploitée. Ces « déchets » issus du monde brassicole sont riches en éléments nutritifs et sont valorisés, dans la plupart des cas, dans l'alimentation animale, le compostage ou la méthanisation. L'enjeu est donc de valoriser ce « déchet ». Des plans de valorisations des déchets sont mis en place par le gouvernement tel que la loi concernant les producteurs de déchets non-ménagers du 1er janvier 2016 obligeant les professionnels à trier leurs déchets alimentaires. Cela touche donc certaines brasseries, celles produisant plus de 10 tonnes par an de biodéchets à les séparer et à les valoriser vers des filières spécifiques rendant impossible l'enfouissement de ceux-ci. (99)

Aujourd'hui, 3 choix se proposent à tout brasseurs :

- **Le compostage** : simple et écologique, cette solution permet d'absorber de gros volumes mais, du fait de sa forte composition en azote, les drêches se doivent d'être mélangé avec d'autres biodéchets pour un compost de qualité. (98)
- **La méthanisation** : elle repose sur le potentiel fermentescible de la drêche. La méthanisation est un processus permettant de profiter de la dégradation des matières organiques naturelles, ici les drêches, par des bactéries anaérobiques fermentescible. La méthanisation permet la production d'une source d'énergie renouvelable : le Biogaz. (100)
- **L'alimentation animale**. L'apport nutritionnel riche en protéine permet de compléter l'alimentation animal. Elle se pratique sous formes humides, c'est-à-dire en ensilage<sup>34</sup> ou bien sous forme sèche. La forme sèche est moins pratiqué dû aux coûts de séchage.

Cependant, au vu de l'essor des brasseries artisanales ces dernières années, plusieurs citoyens ont pensés à des filières différentes.

#### VI.1.1. Alimentation humaine

De nombreuses innovations culinaires ont été réalisés à partir de drêche de brasserie. Ses propriétés nutritives en font un produit de choix. La farine de drêche enrichit le produit final en fibres, en protéines et en acides aminés en apportant des propriétés diététiques à la préparation finale. La marque bordelaise Resurrection® (Figure 35), fondée en 2016, s'est fait connaître par ses petits biscuits d'apéritif à base de drêche de cidre et de bière.

---

<sup>34</sup> Procédé de conservation de végétaux frais utilisant la fermentation lactique et consistant à les placer dans un silo ou à les mettre en tas et à les presser après les avoir hachés. (101)



Figure 35 - Assortiments de la marque Resurrection® (102)

### VI.1.2. Produits cosmétiques

Une fois les drêches séchées et réduites en poudre à différentes granulométries, les drêches peuvent être intégrées à des savons qui auront des propriétés exfoliantes pour le visage et le corps. (98)

### VI.1.3. Utilisation en tant que biomatériaux

La marque française **Reus'eat**® située dans le Puy-de-Dôme propose des couverts compostables issus de drêches. (103)

Une seconde marque française **Instead**® située dans le Pays de la Loire propose du mobilier recyclé (Figure 36) à base de drêches. Les drêches sont pressées et moulées comme des particules de bois. (85)

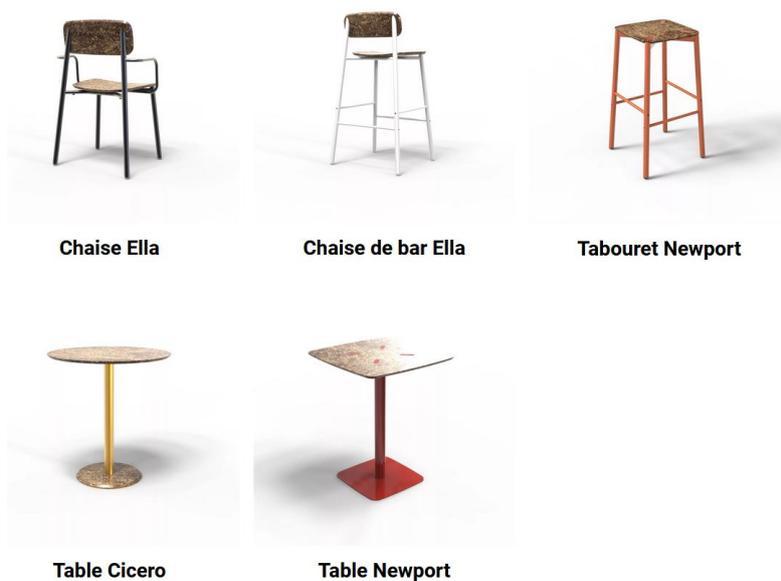


Figure 36 - Produits disponibles de la marque Instead® (73)

## VI.2. Valorisation médicale

### VI.2.1. Bières et les enrichissements possibles

L'ajout de plantes, d'épices ou de fruits sont des pratiques millénaires concernant la bière. Historiquement, les herbes étaient utilisées pour stabiliser la bière, pour imprégner la bière de qualités médicinales ou même religieuses. En Europe, cela ne fait que plus de 300 ans que le houblon a presque totalement remplacé les herbes dans le milieu brassicole. Les herbes étaient collectées, séchées, broyées et commercialisées sous la forme d'un mélange appelé « gruit » qui était généralement ajouté pendant le bouillage. (104)

Bien que les herbes puissent aider à apporter une large gamme de saveurs, elles doivent être utilisées dans la bière avec prudence. Certaines plantes médicinales ont des effets négatifs comme une intolérance, une allergie ou bien un potentiel toxique en fonction de l'utilisation, du stockage ou de la culture. La consultation de pharmacopée est donc recommandée avant d'ajouter des herbes à des bières brassées à la maison. (105)

A savoir, le botaniste, Giuseppe Caruso a écrit un livre intitulé « The botany of beer » publié en 2022 regroupant plus de 500 espèces de plantes possiblement incorporable au brassage. Dans son ouvrage, il explique le profil botanique, la partie de la plante à utiliser ainsi que le style de bière à brasser pour un brassage optimale enrichis aux plantes.

Dans le monde, plusieurs brasseries ont fait le choix d'incorporer dans leur recette industrielle, différentes plantes ou fruits, comme le jus de citron et le sirop de framboise ou encore un mélange de plantes et de chocolat amer chez nos voisin Allemand, le jus d'orange et l'extrait de coriandre chez nos voisins Belges.

Des études sont en cours afin d'associer des plantes médicinales aux bières de façon à enrichir les bienfaits de celle-ci. Une étude menée sur la bière au gingembre pour ses vertus d'arôme alimentaire, d'antimicrobien, d'antiparasitaire, d'antioxydant, d'anti-inflammatoire etc. Actuellement les résultats *in vitro* sont prometteurs et devrait passer sur les essais *in vivo* sur les animaux. (88)

Une autre étude a cherché à enrichir la bière à l'aide de 5 plantes médicinales, le genévrier - *Juniperus communis*, la mélisse - *Melissa officinalis*, l'ortie – *Urtica dioica*, le houblon – *Humulus lupulus* et le thym - *Thymus serpyllum*. Les résultats ne actuellement pas disponibles.

Un Roubaisien a eu l'idée de colorer sa bière (Figure 37) avec un pigment naturel retrouvé dans la spiruline : phycocyanine. Ceci n'impacte pas le goût, seulement la couleur. En sachant que la phycocyanine est un puissant anti-oxydant, cette idée pourrait permettre de renforcer l'effet déjà présent dans la bière. (106)



Figure 37 - Bière colorée à la phycocyanine (107)

A défaut d'étude concernant l'enrichissement de la bière par la phycocyanine, une étude a été menée sur le pouvoir antioxydant et cytoprotecteur<sup>35</sup> de la spiruline. Elle a démontré que le pouvoir antioxydant était légèrement augmenté dans la bière contenant de la spiruline, mais une augmentation plus significative a été observée concernant les propriétés cytoprotectrices contre les dommages oxydatifs. (90)

La brasserie Vivat, située dans les Hauts de France, s'est lancée dans les bières aromatisées aux champignons (Figure 38). Elle a brassé une bière ambrée, à laquelle elle a fait le choix d'associer différents champignons. (108) Voici les 3 recettes qu'elle propose à la dégustation :

- **Mort'Ale** une bière aux trompettes de la mort - *Craterellus cornucopioides*.
- **Bord'Ale** une bière aux cèpes de Bordeaux – *Boletus edulis*.
- **Mor'Ale** une bière aux morilles - *Morchella esculenta*.

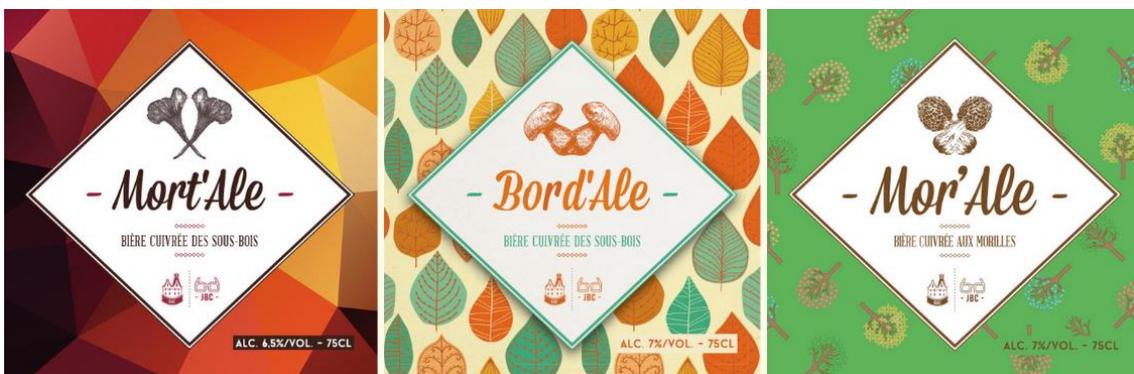


Figure 38 - Etiquettes de présentation des bières aromatisées aux champignons (108)

Une étude menée sur les effets du pleurote du panicaut - *P. eryngii* var. *eryngii* réduit en poudre a été faite afin de déterminer les possibles améliorations sur les propriétés physiques, chimiques et sensorielles de la bière artisanale. Les résultats ont montré une teneur en alcool, une unité de couleur EBC et une valeur de pH plus élevée que la bière témoin. L'ajout de *P. eryngii* var. *eryngii* a eu un impact positif sur les caractéristiques olfactive et gustative de la bière. (109)

## VI.2.2. Les possibilités du xanthohumol

Les études (92) ont démontré que la plupart des avantages de la bière pour la santé proviennent de ses composants non alcooliques, principalement des polyphénols. Malheureusement, les propriétés bénéfiques des composants de la bière décrites n'ont pas fait l'objet d'études approfondies. Les essais cliniques se résument aujourd'hui à des études *in vitro* (sur des cellules isolées), des essais *in vivo* (sur l'organisme complet) sont nécessaires pour élucider véritablement la relation entre la consommation de bière et les bienfaits que cela pourrait avoir sur la santé chez les Hommes. Actuellement, les essais sur les souris

---

<sup>35</sup> La cyto-protection est un processus par lequel des composés chimiques protègent les cellules contre les agents nocifs.

démontrent le potentiel des composés polyphénoliques et plus particulièrement du xanthohumol (XH). (110)

Le xanthohumol est une molécule naturelle (Figure 39) présente dans les cônes de houblon - *Humulus lupulus*. Le xanthohumol est une chalcone ( $C_{21}H_{26}O_5$ ), c'est-à-dire un composé polyphénolique ayant une structure de base de deux groupes phényle reliés par une chaîne d'atomes. Il contient également des groupes hydroxyle (-OH) et des groupes méthoxy (-OCH<sub>3</sub>) qui lui confèrent ses propriétés bioactives. Le XH reste néanmoins une molécule complexe du fait de sa forte hydrophobie, de sa faible stabilité, de sa forte photosensibilité, de sa courte demi-vie et de sa faible biodisponibilité orale. Il sera donc nécessaire de créer des formulations innovantes qui surmontent toutes les restrictions associées à la biodisponibilité orale du XH. (111) Le XH possède cependant des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses, neuroprotectrices et antimicrobiennes. Des études préliminaires ont confirmé ses effets protecteurs contre divers cancers, les maladies cardiovasculaires et les troubles neurodégénératifs. (112)

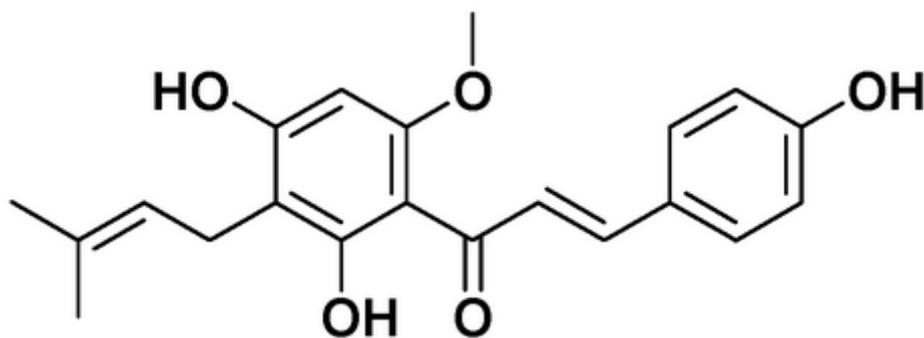


Figure 39 - Formule chimique du xanthohumol (110)

### VI.2.2.1. Potentiel antitumoral

Le XH a une action sur l'inhibition de la carcinogenèse et des métastases dans de nombreux cancers. Le XH a montré des activités biologiques très prometteuses dans les examens *in vitro* et *in vivo* sur divers cancers (Figure 40). L'effet thérapeutique le plus important que nous allons voir par la suite, du XH a été observé sur les cancers du sein et de la prostate parmi tous les cancers étudiés. (92)

Un large éventail de cellules, de récepteurs et de cascades enzymatiques ayant un potentiel cancéreux, a été inhibé par le XH en induisant ou en inhibant l'apoptose et en modulant diverses voies de signalisation oncogènes. Plusieurs voies de signalisation vitales sont impliquées dans l'activité anticancéreuse du XH, et font intervenir les telles que la cascade des MAP Kinase ERK1/2, le facteur nucléaire NF- $\kappa$ B et la protéine kinase Akt. (92)

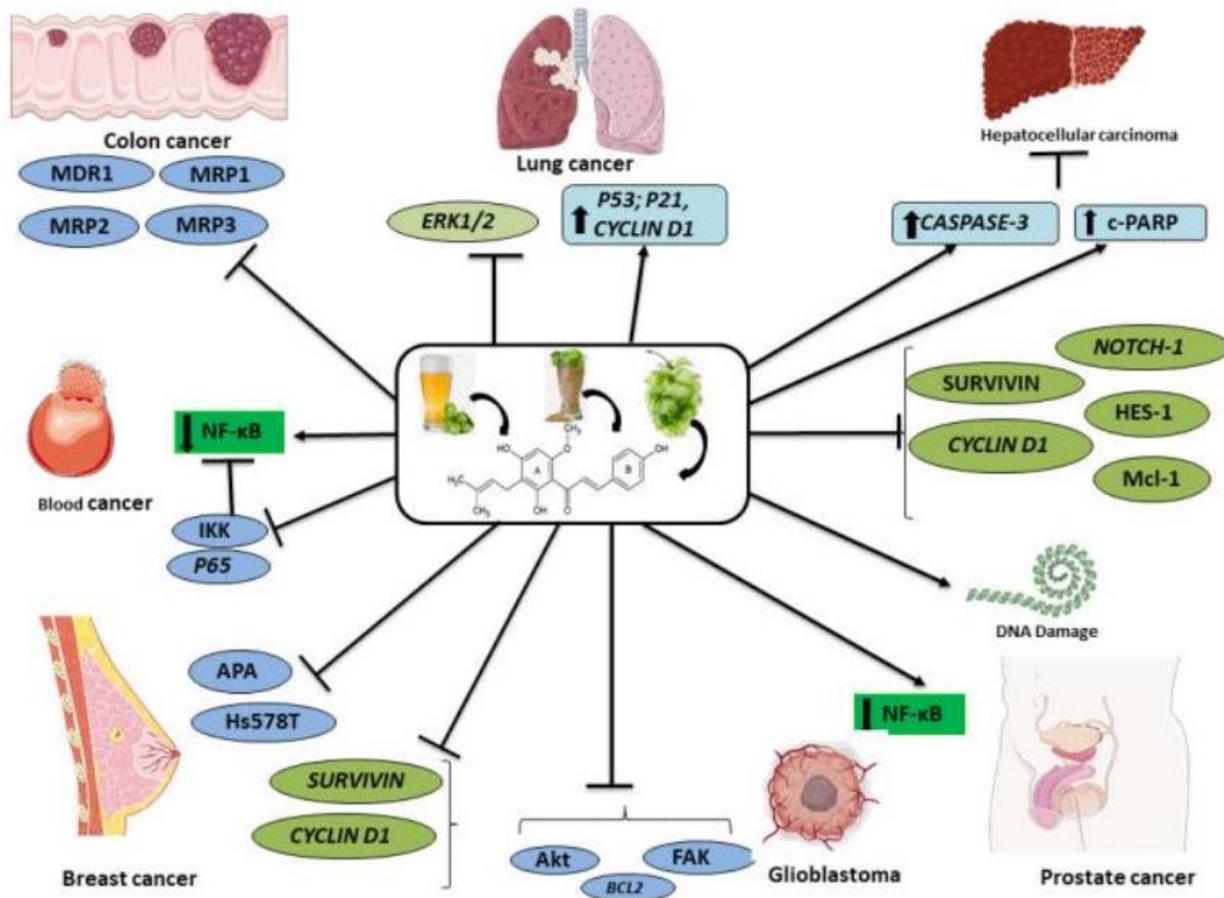


Figure 40 - Profil mécanistique *in vitro* du xanthohumol sur divers cancers (73)

Abréviations : APA, polyadénylation alternative ; Bcl-2, lymphocyte B2; c-PARP, poly-ADP-ribose-polymérase ; ERK1/2, protéine kinase extracellulaire régulée par signal; FAK, kinase d'adhésion focale; HES-1, homologue 1; Hs578T, épithélium mammaire aneuploïde; IKK, I-B kinase; RP3, protéine de multi-résistance 3; Mcl-1, protéine 1 de différenciation des cellules de leucémie myéloïde; NF-κB, facteur nucléaire-B.

### VI.2.2.1.1. Cancer du sein

Le cancer du sein est la forme la plus répandue de cancer féminin dans le monde. La voie de signalisation de Notch, est une voie importante dans la communication cellulaire des cellules voisines à elle-même. La voie de signalisation de Notch agit comme un oncogène dans la croissance et la progression du cancer du sein. Une amplification inadaptée de cette voie est associée à une augmentation de la fréquence du cancer du sein ainsi, l'inhibition de l'expression de Notch 1 peut entraîner une suppression de la croissance et une mort cellulaire programmée dans les cellules cancéreuses. Le résultat de l'étude (92) montre que le XH a réduit l'expression de la voie de signalisation de Notch et de la protéine Survivine. Cette protéine est un régulateur mitotique (mécanisme de division cellulaire) mais possède également une activité anti-apoptotique. Le XH peut supprimer la croissance des tumeurs mammaires et promouvoir la mort cellulaire programmée. Les cellules du cancer du sein Hs578T et MDA-MB-231 sont largement utilisées dans des études *in vitro* en tant que modèles cellulaires pour les triples négatifs (*Triple-Negative Breast Cancer* en anglais -TNBC). L'expression « triple négatif » signifie que les cellules tumorales n'expriment ni des récepteurs aux hormones, ni de récepteur HER 2. Cela rend inutile les hormonothérapies et les thérapies

ciblées anti-HER 2. Il a été constaté que le XH inhibe la prolifération cellulaire de Hs578T par induction de l'apoptose par une voie dépendante des mitochondries et des caspases. (92)

#### **VI.2.2.1.2. Le glioblastome**

Le glioblastome est un cancer du cerveau très agressif lié à un pronostic extrêmement mauvais chez l'Homme. Le XH a été étudié pour son activité en milieu *in vitro* vis-à-vis du glioblastome en utilisant des cellules T98G. Il a été constaté qu'à des doses de 5 à 25  $\mu\text{mol}$  (92), il réduisait la viabilité cellulaire et augmentait l'apoptose qui impliquait le clivage de la PARP et l'activation de la caspase-3 et de la caspase-9 de manière dépendante de la concentration et du temps. Une étude récente (111) a révélé que le XH a supprimé la glycolyse par inhibition de l'hexokinase 2, ce qui participa à la suppression du glioblastome. En effet, l'hexokinase 2 est responsable d'élaborer des voies métaboliques essentielles à la croissance tumorale, ainsi qu'à favoriser la dissémination des cellules cancéreuses dans l'organisme et la création d'une résistance aux chimiothérapies. Ainsi, en inhibant cette enzyme, cela renforce les chances d'un traitement bi-thérapeutique. (113)

#### **VI.2.2.1.3. Cancer hématologique**

Le XH à des doses allant de 2,5 à 50  $\mu\text{mol}$ , produit une activité anti-carcinogène *in vitro* sur les cellules de la leucémie lymphoblastique aiguë et les cellules de la leucémie myéloïde chronique en diminuant l'activation du facteur de transcription NF- $\kappa\text{B}$  par la modification des activateurs transcriptionnel d'IKK et de p65. Le XH a rendu les cellules moins invasives et plus vulnérables aux médicaments cytotoxiques. Ce mécanisme permettrait d'accroître les chances de succès d'un traitement en bithérapie. (92)

#### **VI.2.2.1.4. Cancer de la prostate**

Le cancer de la prostate est le premier cancer chez les Hommes en France et c'est le cancer le plus fréquemment diagnostiqué, avec une incidence maximale chez les hommes de plus de 70 ans. (114) Les choix de traitement sont déterminés par un certain nombre de variables, y compris le niveau de vie du patient et les caractéristiques du cancer, telles que le niveau d'antigène spécifique de la prostate (PSA), le stade tumoral et le comportement agressif de la tumeur. La majorité des patients atteints à haut risque, où le cancer risque de progresser malgré un traitement en monothérapie, sont traités avec une combinaison de radiothérapie et de traitement hormonal, qui entraîne des chances plus élevées de survie.

Les études (92) *in vitro* ont montré que le XH était efficace contre ce cancer à des doses de 2,5 à 20  $\mu\text{mol}$ , d'une part en augmentant la concentration du facteur de nécrose (TNF $\alpha$ ) et d'une seconde part, en inhibant les facteurs de transcription NF- $\kappa\text{B}$  permettant une augmentation de l'apoptose et donc de la mort des cellules cancéreuses. (92)

#### **VI.2.2.1.5. Cancer du poumon**

Actuellement, le cancer du poumon est le 3<sup>ème</sup> cancer en France, et l'une des causes les plus courantes de mortalité mondiale. (115) La multirésistance aux médicaments est l'une des raisons les plus importantes de la faible réponse des patients les plus atteints des cancers du poumon aux schémas thérapeutiques standards du traitement anticancéreux. La principale cible moléculaire des carcinomes pulmonaires humains est la cascade kinase ERK1/2. Le XH

a démontré son efficacité *in vitro* sur des cellules de souris en tant que suppresseur potentiel des kinases p90RSK et ERK1/2. Le XH s'est également avéré être un agent chimiothérapeutique puissant à des doses allant de 100 à 200 mg/kg contre le carcinome pulmonaire en arrêtant le cycle cellulaire en phase G1 pour induire l'apoptose, et en augmentant l'activité des caspases-3, en augmentant les facteurs de transcription p53 et p21 et en régulant à la baisse la cycline D1. (92)

À ce jour, peu d'études chez l'Homme sont disponibles pour évaluer la dose thérapeutique et la toxicité de XH. En outre, il est nécessaire de réaliser des tests de biodisponibilité, d'évaluer les courbes dose-réponse et d'effectuer des modifications moléculaires de la structure chimique centrale du XH pour avoir une meilleure compréhension de son profil pharmacocinétique et pharmacodynamique. (92)

### VI.2.2.2. Potentiel répulsif

En 2019, Aydin et *al.* ont étudié les graines de houblon et ont identifiés leur richesse en catéchines et en particulier en catéchine et en épicatechine, qui sont très utilisées dans l'industrie nutraceutique<sup>36</sup>. (112)

Dans des essais en cages, en serre, sur des fruits où le milieu est attractif, une quantité de 120 mg de cônes de houblon pulvérisés comparé à un papier filtre imprégné de 100 µL de thymol a significativement réduit les niveaux d'infestation larvaires de la drosophile tachetée - *Drosophila suzukii*, par rapport à un témoin non traité. (116) Comme nous le présente la figure 41 ci-dessous, l'efficacité du « HOP00 » ici étant notre houblon pulvérisé atteint son maximum d'efficacité durant la 4<sup>ème</sup> semaine d'essai. (116)

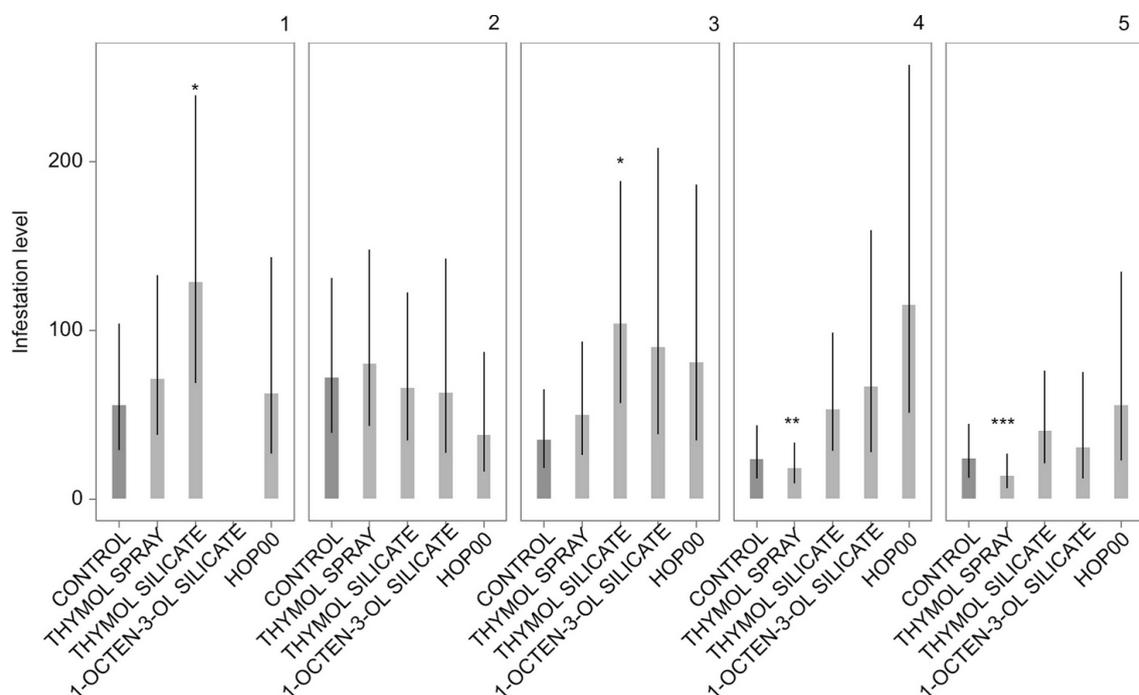


Figure 41 - Organigramme représentant l'efficacité des répulsifs (114)

<sup>36</sup> L'industrie nutraceutique se situe à l'intersection de la nutrition et de la pharmacologie.

Cette action répulsive pourrait concerner de nombreux insectes et se présente comme très prometteuse.

### VI.2.2.3. Potentiel antibiotique

De nouvelles alternatives aux antibiotiques de synthèse sont à l'étude en vue de limiter la propagation de la résistance aux antibiotiques. Récemment, le potentiel antimicrobien de *H. lupulus* a été mis en évidence en tant qu'alternative phyto-thérapeutique. (102) Plusieurs études in vitro (102) ont montré le potentiel des extraits brutes éthanoliques de houblon à des concentrations allant de 5 à 0,005 mg/mL pouvait agir en tant qu'antibactérien mais également à doses différentes en tant qu'inhibiteur de la croissance bactérienne, de la croissance fongique et de la croissance des protozoaires.

Les acides amers, principalement les acides alpha et bêta, présentent de fortes activités antimicrobiennes en perméabilisant les membranes cellulaires. Les acides alpha s'isomérisent en acides iso-alpha, et inhibent la croissance de plusieurs bactéries à Gram positif, telles que *Propionibacterium acnes*, *Staphylococcus aureus*, *S. epidermitis*, *Bacillus anthracis*, *B. subtilis*, *Corynebacterium diphtheriae*, *Sarcina lutea*, *Streptococcus faccialis*, *Lactobacillus brevis*. Le transport membranaire, les processus enzymatiques et l'absorption de nutriments des bactéries Gram positif sont efficacement inhibés. De plus, une inhibition de croissance a été observé sur différentes espèces tel que *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Streptomycètes*, *Listeria* et *Clostridium*. (92,102)

Le *Staphylococcus Aureus* Résistant à la Méricilline (SARM) est l'un des microbes qui cause de plus en plus de problèmes. C'est une infection bactérienne grave qui peut entraîner une septicémie et la mort. La résistance du SARM à la plupart des antibiotiques nécessite de trouver de nouvelles stratégies de traitement.

Les extraits de cône de houblon ont une puissante activité antimicrobienne contre *S. aureus* à une Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) : 0,003 mg/mL contre les extraits issus des feuilles de houblon à une CMI de 0,3mg/mL. (102) Tous les composants du houblon, les acides alpha, les acides bêta et le xanthohumol se sont avérés efficaces *in vitro* pour inhiber la croissance de *S. aureus* résistant à la méricilline. (102)

Les extraits alpha du houblon ont montré une efficacité comparable à celle des antibiotiques sur les formes d'acné peu développé induite par *Propionibacterium acnes* et *Staphylococcus aureus*. (111)

Il est précisé malgré tout qu'aucun effet thérapeutique ne peut être obtenu en buvant de la bière. Actuellement, la bière est la seule source d'acides iso-alpha pour l'Homme. Pour obtenir des effets bénéfiques il faudrait consommer par jour plus de 100 L de bière. Ces résultats mettent en évidence le potentiel du houblon sous forme d'extrait naturel ou de composé isolé avec des applications dans le secteur pharmaceutique en tant qu'antibiotique et dans le secteur alimentaire en tant que conservateurs naturels. (111)

### VI.2.2.4. Potentiel anti-âge

Le vieillissement cutané s'explique par une dégénérescence des fibres de collagène et d'élastine située dans la matrice extracellulaire. Durant ce vieillissement, la biosynthèse de collagène se trouve réduite et sa dégradation s'accélère par l'activité de l'élastase et des MétalloProtéases Matricielles (MMP). Durant une étude menée en juillet 2022, il a pu être

démontrer la capacité de XH à inhiber l'activité de la MMP-1, de la MMP-8 et de l'élastase, qui sont responsables de la dégradation des protéines de la matrice extracellulaire (MEC). Durant cette étude, ils ont pu, également, démontrer la biosynthèse des collagènes fibrillaires, de l'élastine et des fibrillines dans les fibroblastes dermiques induit par le XH. De plus, les activités phyto-estrogéniques du XH permettent d'augmenter la synthèse d'acide hyaluronique, de collagène et de matrice protéique extracellulaire. Ces activités ont suggéré un rôle du XH dans l'inversion du vieillissement cutané. (117)

Le XH serait capable d'induire un arrêt du cycle cellulaire conduisant à l'arrêt de la mitose. L'inhibition de l'apoptose par le XH est principalement due à la modification de l'expression de divers facteurs pro-apoptotiques, comme les caspases 3/7/8 et 9, ainsi qu'à l'augmentation des protéines Bcl-2 qui ont une action anti-apoptotique. (117)

Les utilisations potentielles du XH en dermatologie pourrait permettre de traiter l'eczéma atopique, traiter la dermatite de contact, traiter les troubles de la pigmentation et participer à la photoprotection, de ralentir le vieillissement cutané et de prévenir des cancers de la peau. (73)

Le xanthohumol a démontré une action au niveau cellulaire applicable en cosmétologie. C'est pourquoi nos voisins Belges, ont créé le laboratoire Xantho® (Figure 42) qui développe de nombreux produits aux vertus anti-âge. (118)



Figure 42 - Echantillon de produits cosmétiques que propose la marque Xantho® (119)

## Conclusion

---

Nous avons exploré l'Histoire pour suivre l'évolution de la fabrication de la bière et nous avons analysé sa composition afin d'identifier toutes les molécules pouvant présenter un intérêt médical et un impact sur la santé.

Pour répondre à nos deux premières questions, nous avons étudié comment cette boisson a évolué et s'est intégrée dans les sociétés humaines, marquant des événements historiques, économiques et sociaux. Des premières fermentations en Mésopotamie aux brasseries artisanales contemporaines, la bière a constamment évolué, s'adaptant aux goûts et aux besoins des différentes époques et régions. Nous avons ensuite cherché à comprendre l'importance des quatre composants principaux de la bière, révélant ainsi la complexité et la diversité de cette boisson. Nous avons examiné l'importance de l'eau de source utilisée. Nous avons vu comment le calcium, le magnésium et le bicarbonate pouvaient influencer sur le pH et la dureté de l'eau pouvant être responsable d'une acidité, d'une astringence de la bière. Nous avons vu, premièrement, que les levures déterminent le mode de brassage, deuxièmement, que le malt est responsable de la couleur et des arômes et troisièmement comment le houblon détermine, en fonction des acides alpha ou bêta, le style de bière souhaité pour le produit final.

Nous avons analysé la composition nutritionnelle de la bière. Nous avons découvert qu'elle apporte de nombreux nutriments et vitamines bénéfiques pour l'organisme lorsqu'elle est consommée avec modération, tout en soulignant les risques liés à une consommation excessive. La bière est riche en oligoéléments, en minéraux et en vitamines du groupe B, offrant ainsi des bienfaits pour la santé.

Pour répondre à notre troisième question, nous avons ensuite exploré les effets de la bière sur l'organisme, à la fois à court et à long terme. Nous avons examiné les problèmes d'intolérance, principalement liés au gluten. Nous avons évalué les effets à court terme qui se traduisaient par des phénomènes d'allergies, par l'impact de certains composés comme la N-méthyltyramine sur l'activité digestive, ainsi que par l'effet des polyphénols sur le microbiote intestinal, favorisant la croissance bactérienne et agissant comme antioxydants pour réduire le stress oxydatif. Nous avons étudié l'impact de l'alcool sur le système nerveux central, responsable des effets à court et à long terme d'une consommation d'alcool sur l'organisme. Nous avons analysé comment l'alcool peut entraîner une stimulation suivie d'une désinhibition, puis d'un effet dépressif sur la motricité, la coordination et l'équilibre. Nous avons également examiné les conséquences désagréables d'une consommation excessive, notamment les lendemains « d'excès ».

Sur le long terme, nous avons analysé comment la bière peut entraîner une augmentation du taux d'uricémie dans le sang via la xanthine oxydase. Le profil phyto-estrogénique de la bière et son implication potentielle dans le traitement de la ménopause grâce à des composés tels que la 8-prénylaringénine, combinés aux polyphénols et à leurs propriétés anti-inflammatoires ont également été évoqués. Nous avons aussi étudié les carences nutritionnelles résultant d'une consommation répétée de bière. En effet, son effet diurétique, peut entraîner une carence en vitamine B12 et en minéraux essentiels.

Enfin pour répondre à notre quatrième question, nous avons exploré le potentiel médical des bières enrichies. Ces dernières sont actuellement à l'essai, démontrant ainsi l'étendue des possibilités offertes par les bières. Nous avons constaté une certaine efficacité des bières enrichies, notamment celles sans alcool, qui pourraient, non seulement, renforcer les effets

bénéfiques déjà connus mais, également, ouvrir la voie à de nouvelles recherches prometteuses.

Le xanthohumol se révèle être une molécule d'un grand intérêt. Issu du houblon, elle présente des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, anticancéreuses sur divers types de cancer en inhibant et en modulant des cascades enzymatiques. Des propriétés neuroprotectrices et antimicrobiennes ont également été identifiées. Le xanthohumol offre également un potentiel anti-âge en inhibant les métalloprotéases matricielles, en induisant l'arrêt du cycle cellulaire et en inhibant l'apoptose cellulaire.

Les acides alpha et bêta sont également prometteurs en tant qu'alternatives aux antibiotiques. À travers ce travail, nous avons examiné les impacts de la consommation de bière sur la santé et identifié les molécules impliquées. Des recherches sont en cours pour déterminer comment une bière enrichie en fibres, en antioxydants et sans alcool pourrait influencer ces maladies.

Actuellement, le houblon encore peu présent en officine se conseille sous différentes formes et associations possibles. Il va s'utiliser dans des pathologies telles que les troubles du sommeil, l'anxiété et les désagréments de la ménopause. Il est souvent associé à de la mélatonine afin de lutter efficacement contre les troubles du sommeil. Il va se conseiller sous forme de gélules ou de tisane en infusant ses cônes.

À l'avenir, si les recherches s'approfondissent sur les propriétés pharmacologiques du houblon, celles-ci pourraient révéler de nouvelles applications thérapeutiques, ouvrant la voie à des traitements innovants et naturels pour diverses affections.

## Références bibliographiques

---

1. Hominidés [Internet]. 2018 [cité 3 avr 2024]. Première bière de la préhistoire - Natoufien. Disponible sur: <https://www.hominides.com/html/actualites/biere-prehistoire-13000-ans-1268.php>
2. Liu L, Wang J, Rosenberg D, Zhao H, Lengyel G, Nadel D. Fermented beverage and food storage in 13,000 y-old stone mortars at Raqefet Cave, Israel: Investigating Natufian ritual feasting. *J Archaeol Sci Rep.* oct 2018;21:783-93.
3. Guézille C, Zurbach C. Le petit traité « Rustica » de la bière maison. Paris, France: Rustica éditions; 2017. 190 p.
4. Nelson M. The barbarian's beverage: a history of beer in ancient Europe. London, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord; 2005. 213 p.
5. Perrin J. Histoire pour tous de France et du Monde. 2021 [cité 7 janv 2023]. Origine et histoire de la bière. Disponible sur: <https://www.histoire-pour-tous.fr/dossiers/3558-histoire-de-la-biere-1-lantiquite.html>
6. Hébert JP, Griffon D. Toutes les bières moussent-elles ? : 80 clés pour comprendre les bières. Versailles, France: Édition Quae; 2019. 239 p.
7. Leservoisier [Internet]. [cité 7 janv 2023]. Leservoisier : Histoire de la Cerveoise et de la Bière. Disponible sur: <https://www.leservoisier.com/spip.php?article23>
8. Brasseurs de France [Internet]. [cité 8 janv 2023]. Histoire. Disponible sur: <https://www.brasseurs-de-france.com/tout-savoir-sur-la-biere/histoire/>
9. Perdomo NV. Bière et ses avantages. NVE; 2014. 8 p.
10. Ricour J. Chemins de l'eau. 2021 [cité 6 août 2023]. Les 3 glaciers de la brasserie de Vignes-la-Côte. Disponible sur: <https://chemindeleau.com/Les-3-glacieres-de-la-brasserie-de-Vignes-la-Cote.html>
11. Le Point [Internet]. 2015 [cité 8 janv 2023]. Histoire, l'origine des bières d'abbaye. Disponible sur: [https://www.lepoint.fr/art-de-vivre/histoire-l-origine-des-bieres-d-abbaye-01-09-2015-1960935\\_4.php](https://www.lepoint.fr/art-de-vivre/histoire-l-origine-des-bieres-d-abbaye-01-09-2015-1960935_4.php)
12. Duparc P. Encyclopædia Universalis. 2009 [cité 6 août 2023]. Biens nationaux. Disponible sur: <https://www.universalis.fr/encyclopedie/biens-nationaux/>
13. La Toupie [Internet]. 2006 [cité 6 août 2023]. Définition : Concurrence. Disponible sur: <https://www.toupie.org/Dictionnaire/Concurrence.htm>
14. Gallica [Internet]. [cité 12 mars 2023]. Réaumur - Le thermomètre. Disponible sur: <https://gallica.bnf.fr/essentiels/evenement/thermometre-reaurmur>
15. Moulinsard E. Histoire pour tous de France et du Monde. 2020 [cité 26 mai 2024]. Invention de l'électricité (1800). Disponible sur: <https://www.histoire-pour-tous.fr/inventions/309-invention-electricite.html>
16. Gillard E. La bière en France. Projet Amertume; 2023. 1746 p.

17. L'Echappée Bière [Internet]. 2021 [cité 2 janv 2023]. Pour sauver l'eau, buvez de la bière ? Disponible sur: <https://echappee-biere.com/pour-sauver-leau-buvez-de-la-biere/>
18. Univers Bière [Internet]. 2023 [cité 2 janv 2023]. Ingrédients pour le brassage amateur - L' eau. Disponible sur: [http://univers-biere.net/br\\_eau.php](http://univers-biere.net/br_eau.php)
19. Beertime [Internet]. [cité 7 août 2023]. Pale Ale VS India Pale Ale. Disponible sur: <https://www.beertime.fr/bierologie/passion-pression/pale-ale-vs-india-pale-ale>
20. Little Bock - Le Blog [Internet]. 2016 [cité 9 juill 2023]. Mieux connaître la levure. Disponible sur: <https://blog.littlebock.fr/levure-biere-maison/>
21. Univers Bière [Internet]. [cité 11 juill 2023]. Le malt. Disponible sur: <http://univers-biere.net/malt.php>
22. Tela Botanica [Internet]. [cité 9 août 2023]. France métropolitaine. Disponible sur: <https://www.tela-botanica.org/eflore/>
23. Carret G. Houblons de France. 2018 [cité 9 août 2023]. Fiche Récolte Professionnel. Disponible sur: <https://www.houblonsdefrance.fr/la-culture-du-houblon/recolte/fiche-recolte-professionnel/>
24. Centre de ressources Espèces exotiques envahissantes [Internet]. [cité 7 avr 2024]. Humulus scandens. Disponible sur: <http://especies-exotiques-envahissantes.fr/espece/humulus-scandens/>
25. Bonjean A. Les chroniques du végétal. 2022 [cité 3 juin 2024]. Les chroniques du végétal. Disponible sur: <https://leschroniquesduvegetal.wordpress.com/2022/03/>
26. Stevens JF, Page JE. Xanthohumol and related prenylflavonoids from hops and beer: to your good health! *Phytochemistry*. 1 mai 2004;65(10):1317-30.
27. ANSM [Internet]. 2016 [cité 9 août 2023]. Humulus lupulus recens pour préparations homéopathiques. Disponible sur: <https://ansm.sante.fr/uploads/2020/10/22/humulus-lupulus-recens-houblon-cone-frais-de-pph.pdf>
28. Hopen terre de houblon [Internet]. [cité 9 août 2023]. Sécher le houblon - Une étape clé. Disponible sur: <https://hopenhoublon.fr/blog/secher-le-houblon-n4>
29. Rolling beers [Internet]. [cité 9 août 2023]. Les huiles essentielles et composés du houblon. Disponible sur: <https://www.rolling-beers.fr/fr/content/32-les-huiles-essentielles-du-houblon>
30. BtoBeer [Internet]. 2017 [cité 9 août 2023]. Le Choix du Houblon pour la bière : de la chimie aux saveurs. Disponible sur: <https://www.btobeer.com/themes-conseils-techniques-bieres-brasseries/conseils-houblons-bieres/le-choix-du-houblon-de-la-chimie-aux-saveurs>
31. Lewis III JL. Manuels MSD pour le grand public. 2023 [cité 8 avr 2024]. Hypernatrémie (taux élevé de sodium dans le sang). Disponible sur:

<https://www.msmanuals.com/fr/accueil/troubles-hormonaux-et-m%C3%A9taboliques/%C3%A9quilibre-%C3%A9lectrolytique/hypernatr%C3%A9mie-taux-%C3%A9lev%C3%A9-de-sodium-dans-le-sang>

32. La Malterie du vieux silo [Internet]. [cité 10 août 2023]. Les étapes du maltage - Généralité. Disponible sur: <https://www.micro-malterie.fr/le-maltage-generalite/>
33. Amidon : qu'est-ce que c'est ? [Internet]. [cité 7 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-amidon-645/>
34. Techno-Science.net [Internet]. [cité 12 août 2023]. Ose - Définition et Explications. Disponible sur: <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Ose.html>
35. Penser Santé [Internet]. [cité 8 avr 2024]. Les glucides, famille des sucres. Disponible sur: <https://www.pensersante.fr/les-glucides-famille-des-sucres>
36. Bernard A. Phytocea: Compléments alimentaires français. 2022 [cité 8 avr 2024]. Les besoins nutritionnels: Focus sur les acides aminés. Disponible sur: <https://phytocea.com/blogs/notions-de-nutrition/les-besoins-nutritionnels-focus-sur-les-acides-amines>
37. Larousse [Internet]. [cité 8 avr 2024]. acides aminés. Disponible sur: [https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/acides\\_amin%C3%A9s/181810](https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/acides_amin%C3%A9s/181810)
38. Université de Namur [Internet]. [cité 8 avr 2024]. L'ADN. Disponible sur: <https://www.unamur.be/sciences/enligne/transition/biologie/Fichesderevision/revis ion2%20fonctionnement/adn.htm>
39. Univers Bière [Internet]. [cité 12 août 2023]. Les infections lactiques et acétiques. Disponible sur: <http://univers-biere.net/infections.php>
40. VIDAL [Internet]. [cité 30 juill 2023]. Sélénium - Complément alimentaire. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/parapharmacie/complements-alimentaires/selenium.html>
41. Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. 2012 [cité 13 août 2023]. Que sont les vitamines ? Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/que-sont-les-vitamines>
42. Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. 2021 [cité 12 août 2023]. Les références nutritionnelles en vitamines et minéraux. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/les-r%C3%A9f%C3%A9rences-nutritionnelles-en-vitamines-et-min%C3%A9raux>
43. Passeport Nutrition [Internet]. 2021 [cité 8 avr 2024]. Rôle des électrolytes - Sodium, Potassium et Chlore. Disponible sur: <https://passeportnutrition.org/nutriments/mineraux/role-des-electrolytes/>

44. Encyclopædia Universalis [Internet]. 2024 [cité 8 avr 2024]. Définition de macronutriment - étymologie, synonymes, exemples. Disponible sur: <https://www.universalis.fr/dictionnaire/macronutriment/>
45. Edenberg HJ, McClintick JN. Alcohol dehydrogenases, aldehyde dehydrogenases and alcohol use disorders: a critical review. *Alcohol Clin Exp Res.* déc 2018;42(12):2281-97.
46. Bieromatique : Toute l'information sur la bière et le brassage [Internet]. [cité 11 mars 2024]. Allergie à la bière artisanale : symptômes, causes et traitements. Disponible sur: <https://bieromatique.fr/biere-artisanale/allergie-a-la-biere-artisanale/>
47. Zugravu CA, Medar C, Manolescu LSC, Constantin C. Beer and microbiota: pathways for a positive and healthy interaction. *Nutrients.* janv 2023;15(4):844.
48. Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. 2013 [cité 13 août 2023]. Les protéines. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/les-prot%C3%A9ines>
49. Vitamines et santé. Vichy: Aedis; 2006. (Petit Guide; vol. 214).
50. Dupont P. Les vitamines, vérités et mensonges. Plaisance-du-Touch: Éd. Clara fama; 2011. 144 p.
51. VIDAL [Internet]. [cité 8 avr 2024]. Vitamine B1 - Complément alimentaire. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/parapharmacie/complements-alimentaires/vitamine-b1-thiamine.html>
52. Laboratoire Therascience [Internet]. [cité 13 août 2023]. NADH (Nicotinamide Adénine Dinucléotide): bienfaits, origine, sources et propriétés. Disponible sur: [https://www.therascience.com/fr\\_fr/nos-actifs/autres/nadh-nicotinamide-adenine-dinucleotide](https://www.therascience.com/fr_fr/nos-actifs/autres/nadh-nicotinamide-adenine-dinucleotide)
53. Qu'est-ce que le spina bifida ? [Internet]. France Assos Santé. 2019 [cité 8 avr 2024]. Disponible sur: <https://www.france-assos-sante.org/2019/08/30/quest-ce-que-le-spina-bifida/>
54. Tassin JP. Planet-Vie. 2021 [cité 18 mars 2024]. Le circuit de la récompense. Disponible sur: <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/animaux/systeme-nerveux-et-systeme-hormonal/le-circuit-de-la-recompense>
55. lepharmacien.fr [Internet]. 2019 [cité 11 mars 2024]. Les personnes asiatiques sont souvent allergiques à l'alcool. Disponible sur: <http://www.lepharmacien.fr/blog-pharmacien/article/les-personnes-asiatiques-sont-souvent-allergiques-a-l-alcool>
56. Poitevin M. Contribution au développement d'un microsystème pour la séparation bidimensionnelle de protéines par électrophorèse [Thèse de doctorat: Chimie analytique]. [Paris]: Université Pierre et Marie Curie; 2008.

57. Beaunieux H, Pitel AL, Nalpas B. MAAD DIGITAL. 2022 [cité 18 mars 2024]. Mémoire et substances psychoactives - 2. Disponible sur: <https://www.maad-digital.fr/dossiers/memoire-et-substances-psychoactives-2>
58. Fujii H, Nishimoto N, Yamaguchi S, Kurai O, Miyano M, Ueda W, et al. The Alcohol Use Disorders Identification Test for Consumption (AUDIT-C) is more useful than pre-existing laboratory tests for predicting hazardous drinking: a cross-sectional study. *BMC Public Health*. 10 mai 2016;16:379.
59. IBC-ULB [Internet]. 2019 [cité 11 mars 2024]. Gastrine. Disponible sur: <https://www.ulb-ibc.be/gastrine/>
60. Inserm [Internet]. [cité 10 juin 2024]. Microbiote intestinal (flore intestinale) · Inserm, La science pour la santé. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/dossier/microbiote-intestinal-flore-intestinale/>
61. Landman C, Quévrain E. Le microbiote intestinal : description, rôle et implication physiopathologique. *Rev Médecine Interne*. juin 2016;37(6):418-23.
62. <https://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/immunité-et-vaccination/ressources-logicielles/college/un-modele-de-microbiote-intestinal-1/pdf/1-s2-0-s0248866315011273-main.pdf> [Internet]. [cité 10 juin 2024]. Disponible sur: <https://acces.ens-lyon.fr/acces/thematiques/immunité-et-vaccination/ressources-logicielles/college/un-modele-de-microbiote-intestinal-1/pdf/1-s2-0-s0248866315011273-main.pdf>
63. Zugravu CA, Medar C, Manolescu LSC, Constantin C. Beer and Microbiota: Pathways for a Positive and Healthy Interaction. *Nutrients*. 7 févr 2023;15(4):844.
64. Zugravu CA, Medar C, Manolescu LSC, Constantin C. Beer and Microbiota: Pathways for a Positive and Healthy Interaction. *Nutrients*. 7 févr 2023;15(4):844.
65. Martinez-Gomez A, Caballero I, Blanco CA. Phenols and melanoidins as natural antioxidants in beer. Structure, reactivity and antioxidant activity. *Biomolecules*. mars 2020;10(3):400.
66. Alcool Info Service [Internet]. 2024 [cité 18 mars 2024]. Les conséquences sur la santé à long terme. Disponible sur: <https://www.alcool-info-service.fr/alcool/consequences-alcool/risques-long-terme>
67. Keyes KM, Calvo E, Ornstein KA, Rutherford C, Fox MP, Staudinger UM, et al. Alcohol consumption in later life and mortality in the united states: results from 9 waves of the health and retirement study. *Alcohol Clin Exp Res*. août 2019;43(8):1734-46.
68. Nardini M. An overview of bioactive phenolic molecules and antioxidant properties of beer: emerging trends. *Molecules*. janv 2023;28(7):3221.
69. Wang HY, Qian H, Yao WR. Melanoidins produced by the Maillard reaction: Structure and biological activity. *Food Chem*. 1 oct 2011;128(3):573-84.

70. Dans quel monde sommes-nous ? [Internet]. 2021 [cité 17 mars 2024]. Effets de l'alcool sur le cerveau : addiction à l'alcool. Disponible sur: <http://papynet.eklablog.com/effets-de-l-alcool-sur-le-cerveau-addiction-a-l-alcool-a205189688>
71. Lewis RG, Florio E, Punzo D, Borrelli E. The brain's reward system in health and disease. *Adv Exp Med Biol.* 2021;1344:57-69.
72. Volkow ND, Michaelides M, Baler R. The neuroscience of drug reward and addiction. *Physiol Rev.* 1 oct 2019;99(4):2115-40.
73. Tronina T, Popłoński J, Bartmańska A. Flavonoids as phytoestrogenic components of hops and beer. *Molecules.* 14 sept 2020;25(18):4201.
74. Chapitre 4 : Symptômes vasomoteurs. *J Obstet Gynaecol Can.* juin 2019;41:S68-72.
75. Futura [Internet]. 2023 [cité 13 mars 2024]. Dopamine : qu'est-ce que c'est ? Disponible sur: <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/medecine-dopamine-3263/>
76. Nalpas B. MAAD DIGITAL. 2019 [cité 18 mars 2024]. Comment l'alcool déséquilibre et donne le vertige. Disponible sur: <https://www.maad-digital.fr/articles/comment-lalcool-desequilibre-et-donne-le-vertige>
77. Surugue L. Inserm. 2022 [cité 26 mars 2024]. Le cervelet, une région du cerveau clé pour la socialisation. Disponible sur: <https://presse.inserm.fr/le-cervelet-une-region-du-cerveau-cle-pour-la-socialisation/45426/>
78. Jalinière H. Sciences et Avenir. 2017 [cité 18 mars 2024]. Lendemain de fête : c'est quoi une gueule de bois ? Et comment l'éviter ? Disponible sur: [https://www.sciencesetavenir.fr/sante/lendemain-de-fete-c-est-quoi-une-gueule-de-bois-et-comment-on-l-evite\\_28316](https://www.sciencesetavenir.fr/sante/lendemain-de-fete-c-est-quoi-une-gueule-de-bois-et-comment-on-l-evite_28316)
79. Centre hospitalier universitaire vaudois [Internet]. [cité 18 mars 2024]. Dosage de l'hormone antidiurétique (vasopressine, ADH) plasmatique. Disponible sur: <https://www.chuv.ch/fileadmin/sites/nep/documents/nep-information-medecins-adh.pdf>
80. National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism [Internet]. 2021 [cité 18 mars 2024]. La gueule de bois. Disponible sur: [https://www.niaaa.nih.gov/sites/default/files/publications/Hangovers\\_French.pdf](https://www.niaaa.nih.gov/sites/default/files/publications/Hangovers_French.pdf)
81. Paquot N. Le métabolisme de l'alcool. *Rev Médicale Liège.* 2019;74(5-6):265-7.
82. Santé Publique France [Internet]. 2019 [cité 18 mars 2024]. Quels sont les risques de la consommation d'alcool pour la santé ? Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/alcool/articles/quels-sont-les-risques-de-la-consommation-d-alcool-pour-la-sante>

83. Wu Y, Shin D. Association between alcoholic beverage intake and hyperuricemia in Chinese adults: Findings from the China Health and Nutrition Survey. *Medicine (Baltimore)*. 2 juin 2023;102(22):e33861.
84. Presles P. e-santé. [cité 8 avr 2024]. Goutte : pas une goutte de bière ! Disponible sur: <https://www.e-sante.fr/goutte-pas-goutte-biere/actualite/915>
85. Instead Mobilier [Internet]. [cité 1 mai 2024]. L'histoire du mobilier brassé. Disponible sur: <https://www.insteadmobilier.fr/notre-histoire>
86. Institut national de santé publique du Québec [Internet]. [cité 19 mars 2024]. Les conséquences de la consommation d'alcool. Disponible sur: <https://www.inspq.qc.ca/substances-psychoactives/alcool/dossier/alcool-consequences-consommation>
87. Kan Y, Zhang Z, Yang K, Ti M, Ke Y, Wu L, et al. Influence of d-Amino Acids in Beer on Formation of Uric Acid. *Food Technol Biotechnol*. sept 2019;57(3):418-25.
88. Nutakor C, Essiedu JA, Adadi P, Kanwugu ON. Ginger beer: an overview of health benefits and recent developments. *Fermentation*. déc 2020;6(4):102.
89. Inserm [Internet]. 2023 [cité 18 avr 2024]. Ostéoporose : Des os fragilisés à risque de fracture. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/dossier/osteoporose/>
90. Taiti C, Stefano G, Percaccio E, Di Giacomo S, Iannone M, Marianelli A, et al. Addition of spirulina to craft beer: evaluation of the effects on volatile flavor profile and cytoprotective properties. *Antioxidants*. 28 avr 2023;12(5):1021.
91. Sandoval-Ramírez BA, M. Lamuela-Raventós R, Estruch R, Sasot G, Doménech M, Tresserra-Rimbau A. Beer polyphenols and menopause: effects and mechanisms—a review of current knowledge. *Oxid Med Cell Longev*. 2017;2017:4749131.
92. Harish V, Haque E, Śmiech M, Taniguchi H, Jamieson S, Tewari D, et al. Xanthohumol for human malignancies: chemistry, pharmacokinetics and molecular targets. *Int J Mol Sci*. 25 avr 2021;22(9):4478.
93. psychonutrition Bordeaux [Internet]. 2019 [cité 18 avr 2024]. Analogies de structures entre l'oestradiol et quelques phytoestrogènes. Disponible sur: <https://psychonutritionbordeaux.com/blog/endometriosepourquoieviteroufavoriserlesphytoestrogenes>
94. Trius-Soler M, Marhuenda-Muñoz M, Laveriano-Santos EP, Martínez-Huélamo M, Sasot G, Storniolo CE, et al. Moderate consumption of beer (with and without ethanol) and menopausal symptoms: results from a parallel clinical trial in postmenopausal women. *Nutrients*. 30 juin 2021;13(7):2278.
95. VIDAL [Internet]. [cité 15 mai 2024]. Phytothérapie : Houblon. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/parapharmacie/phytotherapie-plantes/houblon-humulus-lupulus.html>

96. VIDAL [Internet]. [cité 19 mars 2024]. Alcoolodépendance - symptômes, causes, traitements et prévention. Disponible sur: <https://www.vidal.fr/maladies/psychisme/alcool-dependance.html>
97. Société Alzheimer du Canada [Internet]. [cité 24 avr 2024]. Le syndrome de Wernicke-Korsakoff. Disponible sur: <https://alzheimer.ca/fr/au-sujet-des-troubles-neurocognitifs/autres-formes-de-troubles-neurocognitifs/troubles-9>
98. Motte B. HSE-optimisation. 2019 [cité 19 mai 2024]. Les drêches de brasseries : un coproduit aux utilisations multiples. Disponible sur: <https://www.hse-optimisation.fr/single-post/dreches-de-brasseries-coproduit-aux-utilisations-multiples>
99. ORDECO [Internet]. [cité 1 mai 2024]. Réglementation générale des déchets. Disponible sur: <https://www.ordeco.org/reglementation-generale>
100. Engie [Internet]. [cité 19 mai 2024]. Quel est le principe de la méthanisation ? Disponible sur: <https://pro.engie.fr/faq/tout-sur-l-energie/engie-et-les-energies-renouvelables/principe-methanisation>
101. Larousse [Internet]. [cité 19 mai 2024]. Définitions : ensilage. Disponible sur: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/ensilage/29821>
102. Bocquet L. Les composés phénoliques du houblon, *Humulus lupulus* L. : Lutte contre la résistance microbienne et perspectives industrielles [Thèse de doctorat : Biologie, Médecine et Santé]. Université de Lille; 2018.
103. Reus'eat [Internet]. [cité 19 mai 2024]. Couverts réutilisables made in France. Disponible sur: <https://www.reuseat.com/>
104. Caruso G. The botany of beer: an illustrated guide to more than 500 plants used in brewing. New York: Columbia University Press; 2022. 621 p.
105. Craft Beer & Brewing [Internet]. [cité 23 mai 2024]. The Oxford Companion to Beer Definition of herbs. Disponible sur: <http://beerandbrewing.com/dictionary/CP5rK9zyd4/>
106. La Ruche qui dit Oui! [Internet]. [cité 8 mai 2024]. Hoppy Urban Brew. Disponible sur: <https://laruchequiditoui.fr/fr-FR/producers/44728>
107. Napolitano A. Sacrebleu! French brewers use algae to make blue beer. Reuters [Internet]. 3 févr 2022 [cité 9 juin 2024]; Disponible sur: <https://www.reuters.com/business/environment/sacrebleu-french-brewers-use-algae-make-blue-beer-2022-02-03/>
108. Vivat B. Brasserie VIVAT. [cité 8 mai 2024]. Zythologie et mycologie : l'histoire de notre bière aux champignons. Disponible sur: <https://brasserievivat.fr/biere-au-champignon/>

109. Cirlincione F, Pirrone A, Gugino IM, Todaro A, Naselli V, Francesca N, et al. Technological and organoleptic parameters of craft beer fortified with powder of the culinary–medicinal mushroom *pleurotus eryngii*. *J Fungi*. 9 oct 2023;9(10):1000.
110. Liu M, Hansen PE, Wang G, Qiu L, Dong J, Yin H, et al. Pharmacological profile of xanthohumol, a prenylated flavonoid from hops (*humulus lupulus*). *Molecules*. janv 2015;20(1):754-79.
111. Oledzka E. Xanthohumol - a miracle molecule with biological activities: a review of biodegradable polymeric carriers and naturally derived compounds for its delivery. *Int J Mol Sci*. 17 mars 2024;25(6):3398.
112. Korpelainen H, Pietiläinen M. Hop (*Humulus lupulus* L.): Traditional and Present Use, and Future Potential. *Econ Bot*. 2021;75(3):302-22.
113. Zeliszewski D. Institut Cochin. 2022 [cité 20 mai 2024]. L'hexokinase 2 : cible transcriptionnelle et régulateur du réseau de signalisation du récepteur aux hydrocarbures aromatiques AhR. Disponible sur: <https://institutcochin.fr/actualites/lhexokinase-2-cible-transcriptionnelle-regulateur-reseau-signalisation-recepteur-aux-hydrocarbures-aromatiques-ahr>
114. Santé Publique France [Internet]. 2024 [cité 30 avr 2024]. Cancers. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/cancers>
115. Santé Publique France [Internet]. 2020 [cité 20 mai 2024]. Survie des personnes atteintes de cancer en France métropolitaine 1989-2018 - Poumon. Disponible sur: <https://www.santepubliquefrance.fr/import/survie-des-personnes-atteintes-de-cancer-en-france-metropolitaine-1989-2018-poumon>
116. Reher T, Van Kerckvoorde V, Verheyden L, Wenseleers T, Beliën T, Bylemans D, et al. Évaluation du houblon (*Humulus lupulus*) comme répulsif pour la gestion de *Drosophila suzukii*. *Crop Prot*. 1 oct 2019;124:104839.
117. Taylor E, Kim Y, Zhang K, Chau L, Nguyen BC, Rayalam S, et al. Antiaging mechanism of natural compounds: effects on autophagy and oxidative stress. *Molecules*. 8 juill 2022;27(14):4396.
118. Xantho Store BE [Internet]. [cité 30 avr 2024]. Crème de Jour - Tous Types de Peau. Disponible sur: <https://www.xantho.com/fr/products/creme-de-jour>
119. Xantho Boutique en Ligne – Xantho Store BE [Internet]. [cité 9 juin 2024]. Disponible sur: <https://www.xantho.com/fr>

## Serment De Galien

---

Je jure en présence de mes Maîtres de la Faculté et de mes condisciples :

- d'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement ;
- d'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement ;
- de ne jamais oublier ma responsabilité, mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine, de respecter le secret professionnel.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser les actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères, si j'y manque.

## La bière, de la fabrication à son impact sur l'organisme

---

La bière est l'une des plus anciennes boissons alcooliques dont l'apparition date de plus de 8 000 ans en Mésopotamie. Elle s'est perfectionnée au Moyen Âge dans les monastères européens et s'est industrialisée au XIX<sup>e</sup> siècle. A travers ses quatre principaux composants qui sont l'eau, le malt, le houblon et la levure, les brasseurs arrivent à décliner une diversité qui s'explique par l'impact de ces ingrédients. L'eau affecte le goût, le malt apporte les sucres fermentables et la couleur, le houblon ajoute l'amertume et des arômes tandis que la levure fermente les sucres pour produire l'alcool et le dioxyde de carbone. À court terme, la bière peut provoquer relaxation et euphorie mais elle peut aussi altérer la coordination et le jugement. À long terme, une consommation modérée de bière peut offrir des bienfaits cardiovasculaires tandis qu'une consommation excessive peut entraîner des problèmes de santé graves comme des maladies du foie et des dépendances que nous n'explorerons pas car, nous le rappelons, tous abus d'alcool est dangereux pour la santé. Des recherches sur les polyphénols et flavonoïdes présents dans la bière, notamment dans le houblon, explorent leurs potentiels anti-inflammatoires, antibiotiques, anticancéreux et anti-âge.

---

Mots-clés : bière, santé, xanthohumol, polyphénols

### Beer : From Production to Its Impact on the Body

---

Beer is one of the oldest alcoholic beverages, dating back more than 8,000 years in Mesopotamia. It was perfected during the Middle Ages in European monasteries and became industrialized in the 19th century. Through its four main components—water, malt, hops, and yeast—brewers are able to create a range of beers that is explained by the different impact of these ingredients. Water affects the taste, malt provides fermentable sugars and color, hops add bitterness and aromas, while yeast ferments the sugars to produce alcohol and carbon dioxide. In the short term, beer can induce relaxation and euphoria but can also impair coordination and judgment. In the long term, moderate beer consumption can offer cardiovascular benefits, while excessive consumption can lead to serious health problems such as liver disease and addiction, which we will not explore further as we remind you that any abuse of alcohol is dangerous to health. Research on the polyphenols and flavonoids present in beer, particularly in hops, explores their potential anti-inflammatory, antibiotic, anticancer, and anti-aging properties.

---

Keywords : Beer, Health, Xanthohumol, Polyphenols

