



HAL
open science

Étude de la formation et de la stabilité de la mousse de la bière : mise en place de l'étude HACCP en brasserie

Loïc Moral

► **To cite this version:**

Loïc Moral. Étude de la formation et de la stabilité de la mousse de la bière : mise en place de l'étude HACCP en brasserie. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. dumas-04326842

HAL Id: dumas-04326842

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04326842>

Submitted on 6 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Étude de la formation et de la stabilité de la mousse
dans la bière**

Mise en place de l'étude HACCP en brasserie

MORAL Loïc
Promotion 2020-2023

MEMOIRE INGENIEUR AGROALIMENTAIRE
Septembre 2023

Table des matières

Remerciements	Erreur ! Signet non défini.
Liste des sigles utilisés	4
Introduction	5
I. Le contexte des missions réalisées à la Brasserie du Bouffay	6
1. La Brasserie du Bouffay	6
a. Une brasserie artisanale de la région nantaise depuis 1998.....	6
b. La gamme de produits de la Brasserie du Bouffay	7
c. Les services proposés par la brasserie	9
2. Le contexte de la maîtrise de la formation de mousse dans la bière	10
a. L'importance de la maîtrise de la formation de mousse	10
b. Les moyens mis à disposition	10
3. Le contexte de la mise en place de la démarche HACCP au sein de la Brasserie du Bouffay.....	11
a. Un besoin grandissant de mise en place d'une démarche qualité brassicole.....	11
b. Les acteurs du projet	11
II. Le process de fabrication	11
1. Le Brassage de la bière.....	12
a. Le concassage du malt	12
b. L'empâtage	13
c. La filtration	16
d. L'ébullition.....	17
e. Le whirlpool	18
f. L'entonnement du moût	18
2. La fermentation	19
a. La fermentation primaire	19
b. La fermentation secondaire.....	21

3.	Le conditionnement.....	21
a.	La carbonatation de la bière conditionnée.....	21
b.	Le conditionnement en bouteilles ou canettes.....	22
c.	Le conditionnement en fûts.....	22
III.	Mission principale : Étude de la formation et du maintien de la mousse dans la bière	23
1.	Comment se forme la mousse dans la bière ?.....	23
a.	Qu'est-ce qu'une mousse ?.....	23
b.	La formation de la mousse de la bière.....	24
2.	Les facteurs influençant la stabilité de la mousse de la bière.....	24
a.	Caractéristiques de l'eau.....	25
b.	Les paliers d'empâtage.....	26
c.	Les malts spéciaux.....	26
d.	Les acides alpha du houblon.....	27
3.	Matériel et méthodes.....	28
a.	Matériel et méthodes pour mesurer l'impact des paliers d'empâtage sur la mousse.....	29
b.	Matériel et méthodes pour mesurer l'impact des malts sur la mousse.....	30
c.	Protocole de mesure de la mousse.....	31
4.	Résultats.....	31
a.	Résultats pour l'impact du palier protéolytique sur la mousse d'une bière de type blanche.....	31
b.	Résultats pour l'impact de malt à fort taux protéique sur la mousse.....	33
5.	Discussion.....	34
a.	Les points d'attention pour l'étude du palier protéolytique sur la tenue de mousse.....	34
b.	Les points d'attention pour l'étude sur l'utilisation de malt spécial Carahell®.....	34
c.	La mesure de la stabilité de la mousse.....	35
IV.	Mission secondaire : La mise en place de la démarche HACCP.....	36
1.	Les avantages et les défauts de la Brasserie du Bouffay pour la mise en place de la démarche HACCP.....	37

2. Les principes de la démarche HACCP	37
3. Les CCP à la Brasserie du Bouffay	39
a. Exemple pratique de la mise en place de la démarche HACCP	39
b. Liste des CCP identifiés	40
4. Les CP en production	42
5. Le futur de la démarche qualité à la Brasserie du Bouffay	43
Conclusion.....	44
Bibliographie.....	45
Table des illustrations et tableaux	47
Glossaire des termes techniques.....	48

Liste des sigles utilisés

BPH : Bonnes Pratiques d'Hygiène

CA : Chiffre d'affaires

CP : Point de contrôle

CCP : Point de contrôle critique

CHR : Cafés, Hôtels, Restaurants

DMS : Diméthyl sulfure

EBC : European Brewing Convention

HACCP : Hazard Analysis Critical Control Point

IPA : Indian Pale Ale

Introduction

La bière a été désignée comme la boisson alcoolisée préférée des Français avec 56 % des consommateurs d'alcool qui déclarent aimer la bière (Sowine et Dynata, 2023). Parmi ces consommateurs, la bière artisanale se retrouve être le type de bière le plus populaire avec 58 % des consommateurs qui disent consommer de la bière locale et en deuxième position arrivent les bières craft avec 45 % qui sont des bières artisanales américaines (Sowine et Dynata, 2022). Ces données montrent l'intérêt porté par les consommateurs aux bières locales telles que celles de la Brasserie du Bouffay.

La Brasserie du Bouffay est une brasserie artisanale intégrée dans la région nantaise depuis 1998 qui a su s'étendre en Loire-Atlantique, en Bretagne ainsi qu'en Vendée. Aujourd'hui, la structure est assez importante dans sa production de volume pour ne plus être considérée comme une micro-brasserie. La Brasserie du Bouffay occupe une place importante en tant que brasserie de la région nantaise puisqu'elle est fournisseuse, parfois exclusive, sur de nombreux festivals de la région.

La première mission qui m'a été confiée est la maîtrise de la formation de mousse et son maintien dans la bière, un sujet de préoccupation pour de nombreuses brasseries artisanales. Tout comme elles, la Brasserie du Bouffay cherche à améliorer la tenue de mousse dans leurs bières afin de se rapprocher d'un idéal consommateur.

Avec la croissance actuelle de la Brasserie du Bouffay ainsi que ses projets d'agrandissement, la mise en place d'une démarche qualité documentée s'avère de plus en plus nécessaire pour prévenir les différents risques consommateurs. C'est pourquoi l'entreprise a émis la volonté de mettre en place une démarche HACCP.

Au cours de ce mémoire, je détaillerai le contexte avec la Brasserie du Bouffay qui m'a accueilli pour ce stage et avec l'importance de la maîtrise de la mousse pour la production de bière. Dans un deuxième temps sera introduit le procédé de fabrication d'un point de vue théorique afin d'introduire les points importants pour la suite du mémoire. Enfin, j'approfondirai sur les missions que j'ai abordé en commençant par la maîtrise de la mousse dans la bière puis en continuant avec la mise en place de la démarche HACCP dans la Brasserie du Bouffay.

I. Le contexte des missions réalisées à la Brasserie du Bouffay

1. La Brasserie du Bouffay

a. Une brasserie artisanale de la région nantaise depuis 1998

La Brasserie du Bouffay est une brasserie artisanale créée en 1998 à Nantes, elle s'est déplacée aux Monceaux pour s'agrandir en 2000 et répondre à la demande grandissante de bières artisanales. Aujourd'hui, la brasserie compte 13 employés répartis dans 4 pôles (Figure 1). Néanmoins, il existe une forte polyvalence des employés ce qui permet une bonne flexibilité des tâches en fonction des besoins. Il est également important de noter que la Brasserie du Bouffay est une brasserie indépendante puisqu'elle assure elle-même les livraisons, un point fort pour la brasserie étant donné que c'est l'une des seules de cette taille à réaliser elle-même les livraisons.

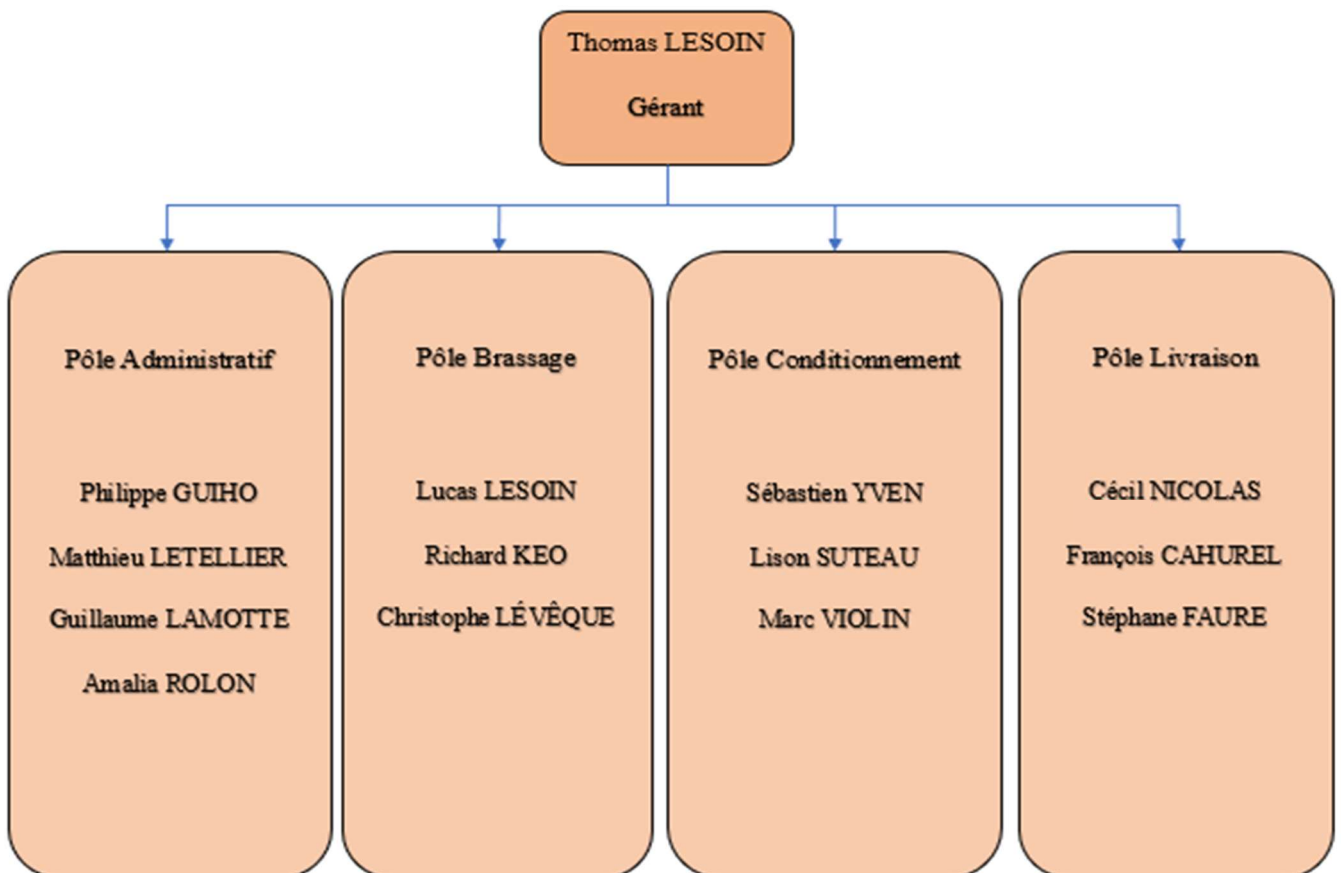


Figure 1 : Organigramme social de la Brasserie du Bouffay

Cette entreprise a obtenu en 2022 un chiffre d'affaires de 3,4 millions d'euros. Ce CA s'avère être en hausse depuis plusieurs années puisque la Brasserie du Bouffay jouit d'une forte croissance aujourd'hui encore avec 33 % de croissance en 2022 alors même que la croissance était d'environ 20 % les années précédentes. Cette année, il a été estimé que la croissance serait de l'ordre de 10 % sans qu'il n'y ait eu de changements notables à la brasserie. Le CA de la brasserie est réparti en 4 catégories :

- Associatif : représente 30 % du CA et comprend l'ensemble des festivals et événements
- GMS : environ 30 % du CA dans les enseignes qui pratiquent la vente directe (Système U et Intermarché notamment) permettant plus de flexibilité sur les prix de vente
- CHR (Cafés, Hôtels, Restaurants) : environ 30 % du CA
- Particuliers : correspond aux 10 % restants et comprend l'ensemble des ventes directs aux particuliers. La majorité du CA avec les particuliers correspond à la vente de fûts.

La Brasserie du Bouffay s'inscrit dans la région nantaise où de nombreuses autres brasseries artisanales ont vu le jour au cours des deux dernières décennies. De plus, avec le rayonnement de la brasserie en Bretagne et Vendée, cette brasserie se retrouve avec d'autant plus de concurrence. Parmi les principales brasseries concurrentes, on peut citer : Tête Haute (44), Coreff (29) et Mélusine (85).

b. La gamme de produits de la Brasserie du Bouffay

La Brasserie du Bouffay propose de la bière en formes de bouteilles de 33 cL ou de 75 cL ainsi que des fûts de 20 ou 30 L. La brasserie possède une gamme permanente de 8 bières dans ces différents formats. Cette gamme permanente se décline en 6 bières conventionnelles et 2 bières provenant d'une agriculture biologique.

Parmi les 6 bières en agriculture conventionnelle, on retrouve la Blonde du Bouffay, l'Ambrée du Bouffay et la Braise du Bouffay qui portent l'identité de la brasserie. D'autre part, il y a la Moustache, la Titan et la Triple (Figure 2). La Moustache, qui est une bière de type pils, est la bière la plus produite et qui contribue donc le plus au CA de l'entreprise. A contrario, la Braise du Bouffay qui est une bière de type brune, est la moins produite, elle n'existe que sous les formats bouteille et ne contribue que très peu au CA de l'entreprise.



La Blonde du
Bouffay

L'Ambrée du
Bouffay

La Braise du
Bouffay

Bière de type blonde à fermentation haute Bière de type ambrée à fermentation haute Bière de type brune à fermentation haute



La Titan

La Moustache

La Triple

Bière de type IPA à fermentation haute Bière de type Pils à fermentation basse Bière de type blonde à fermentation haute

Figure 2 : Les bières en agriculture conventionnelle de la Brasserie du Bouffay

Dans la partie agriculture biologique on retrouve donc deux bières, l'Orge du Bouffay qui est une bière de type blonde et la Blanche du Bouffay (Figure 3). Le Pilsen 2RP bio, qui est le malt principalement utilisé pour ces deux bières, provient d'un agriculteur local de Bretagne. L'intérêt de ces bières est donc double : produire des produits plus sains et favoriser les agriculteurs locaux qui ont des valeurs environnementales fortes.



Figure 3 : Les bières en agriculture biologique de la Brasserie du Bouffay

c. Les services proposés par la brasserie

En plus de la vente de bières, la brasserie propose diverses locations pour les particuliers ou pour les événements, la location de tireuses à bière pour les fûts étant la plus courante. Celle-ci nécessite la remise d'une caution et s'accompagne toujours du prêt d'une bouteille de CO₂ pour tirer la bière. Des barnums de 4x4 m ou de 6x6 m et des comptoirs pliables sont également disponibles pour les événements.

Pour faciliter les achats pour les particuliers ou les événements, la brasserie propose également à la vente des bouteilles de cidre, de jus de pomme, de cola, d'eau, des gobelets et des fûts de cidre.

2. Le contexte de la maîtrise de la formation de mousse dans la bière

La maîtrise de la formation de la mousse dans la bière est la mission principale qui m'a été confiée par l'entreprise. Cette mission ne relève pas d'un problème qui a été souligné par les consommateurs mais plutôt d'une volonté de la brasserie d'améliorer son produit pour augmenter la satisfaction client.

a. L'importance de la maîtrise de la formation de mousse

Outre l'aspect esthétique d'une bière avec sa mousse que le consommateur saura apprécier, la mousse relève d'une importance capitale dans la dégustation de la bière. Le ratio idéal serait de 30% de mousse pour 70 % de bière (Englefield, 2023). « Une couche de mousse avec une épaisseur adéquate empêche la bière d'être en contact avec l'air ce qui lui permet de garder ses arômes, son goût et sa carbonatation » (Englefield, 2023).

D'autres problématiques, telles que le sur-moussage ou gushing en anglais, se posent quant à la formation de la mousse pour éviter de mauvaises expériences consommateur.

C'est donc dans cette optique d'améliorer l'expérience consommateur et donc la satisfaction client que s'inscrit cette volonté de maîtriser la formation et la stabilité de la mousse dans la bière tout en modifiant le moins possible les qualités organoleptiques des bières actuelles.

b. Les moyens mis à disposition

Pour les diverses manipulations que j'ai réalisées, j'ai d'abord eu l'opportunité d'expérimenter sur l'unité de brassage au sein de ma structure d'accueil avec les membres du pôle brassage. Comme les moyens de production ne permettaient pas de faire moins de 1000 L et qu'une cuve est forcément immobilisé pour ces tests, les modifications ou essais réalisés ne modifient pas de façon drastique le goût actuel des bières. Ensuite, j'ai également pu réaliser un brassin expérimental sur l'unité de brassage présente dans le CIA d'Oniris où Mme Korbel et M Oge ont pu m'aider. Cette unité de brassage étant plus adapté à des brassages expérimentaux, le volume maximal est de 1 bbl ce qui correspond à 159 L.

3. Le contexte de la mise en place de la démarche HACCP au sein de la Brasserie du Bouffay

La qualité est déjà une valeur fortement inscrite au sein de la Brasserie du Bouffay et elle se reflète à travers la façon de faire la bière et à travers les services que propose la brasserie.

a. Un besoin grandissant de mise en place d'une démarche qualité brassicole

L'entreprise produit de plus en plus de bière et la question de la gestion de la qualité en brasserie se pose pour garantir au consommateur à la fois une bière sans défauts gustativement parlant et d'un point de vue de la sécurité. Bien qu'il n'y ait pas de retour négatif concernant leurs bières, la brasserie s'est d'elle-même mobilisée pour offrir cette garantie.

b. Les acteurs du projet

Pour la mise en place de ce projet, les interlocuteurs privilégiés étaient les employés de la partie production (pôles brassage et conditionnement) qui ont répondu aux questions qui se sont posées dans le cadre de la démarche.

II. Le process de fabrication

Bien qu'il existe dans la pratique autant de façons de brasser qu'il y a de brasseurs, la théorie sur le brassage est, elle, universelle.

Cette partie abordera l'ensemble des étapes du process de fabrication et servira de repère pour les différents éléments qui seront abordés dans les parties suivantes qui détaillera les missions que j'ai réalisées à la Brasserie du Bouffay.

1. Le Brassage de la bière

La matière première principale de la production de bière est l'eau. La qualité d'une bière est directement liée à la qualité de l'eau qui a servi au brassage de la bière ; c'est pourquoi de nombreuses brasseries utilisent des intrants pour modifier les caractéristiques de l'eau pour la nutrition des levures, pour augmenter le goût ou favoriser les réactions chimiques qui interviennent durant le brassage. Les modifications les plus fréquentes portent sur l'alcalinité qu'il faut généralement diminuer en rajoutant de l'acide lactique, soit tel quel soit via du malt acide. Certains ions d'intérêt peuvent également être rajouter tel que les ions calcium, magnésium, chlorure ou sulfate. Les modifications à apporter dépendent évidemment de la composition initiale de l'eau mais également du style de bière. Par exemple, le ratio Sulfate/Chlorure a une importance particulière, pour une bière avec beaucoup de houblon, il faut privilégier un ratio de 2 : 1, pour une bière sombre il faut s'approcher d'un ratio de 1 : 2 alors que pour une bière équilibrée, un ratio 1 : 1 est conseillée (Brewpark, 2023).

a. Le concassage du malt

Dans la fabrication de la bière, la matière première utilisée pour l'obtention de sucres fermentescibles est le malt d'orge. Celui-ci est fabriqué par les malteries à partir des graines d'orge qui vont être mises en condition pour germer, ou dit aussi que les malts sont modifiés. Dans la bière se retrouve régulièrement toutes sortes de céréales maltées mais aussi non-maltés dans sa composition (ex : malt de blé, flocons d'avoine, etc...). De plus, les malts peuvent être touraillés pour donner de la couleur, caractérisé par un EBC (Figure 4), et des arômes supplémentaires grâce à la réaction de Maillard. En revanche, plus un malt a été touraillé, moins son activité enzymatique est forte et moins l'extrait sec est important.

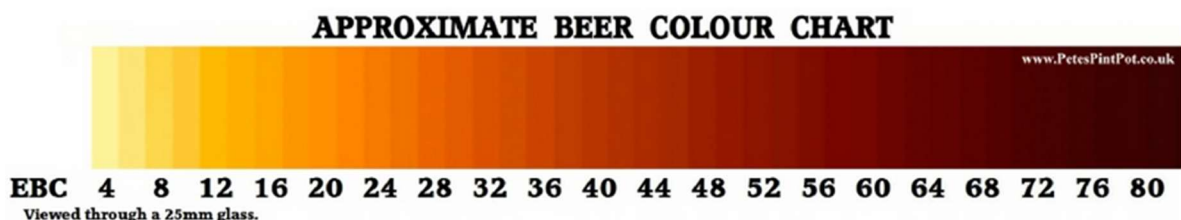


Figure 4 : Echelle de couleur des bières en EBC

Le malt subit une étape de concassage préalable qui permet de casser les graines et d'obtenir une farine dont la granulométrie diffère selon les brasseries. Le concassage est primordial pour assurer une bonne étape d'empâtage, l'idéal étant d'obtenir une mouture assez fine pour que les réactions qui interviennent pendant l'empâtage soient le plus importantes possible tout en ayant une mouture assez grosse pour permettre une bonne filtration de la maïsche.

b. L'empâtage

L'empâtage suit directement l'étape de concassage. C'est une étape durant laquelle la mouture va être mélangée à l'eau pour former la maïsche. Elle sera par la suite chauffée pour s'approcher d'une activité optimale des enzymes.

a) La formation du profil des sucres

Une réaction préalable à l'activité enzymatique des amylases est la gélatinisation de l'amidon (Kunze, 2004). Les grains d'amidon se gorgent d'eau et les molécules d'amidon se dispersent (Figure 5) ce qui ouvre la voie à l'activité des enzymes.

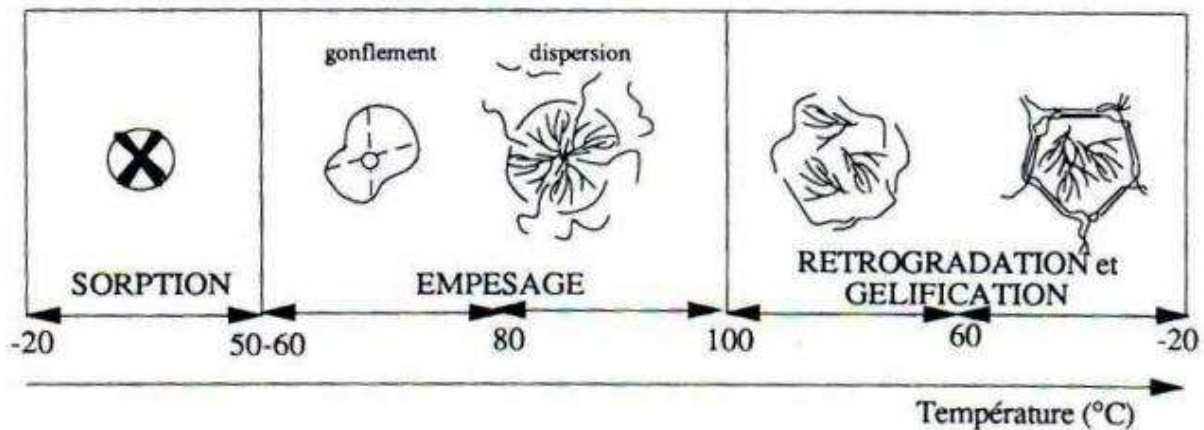


Figure : Gélatinisation et rétrogradation de l'amidon. BULEON *et al.*, (1990)

Figure 5 : Schéma de la gélatinisation de l'amidon

Les beta-amylases sont les principales enzymes responsables de la production de maltose, un dioside de glucose fermentescible par les levures. Elles sont également capables de produire du glucose et du maltotriose, un trioside de glucose. Les beta-amylases ne peuvent

intervenir que sur les extrémités non réductrices de l'amidon ce qui limite grandement la production de maltose. Leur activité est maximale pour une température comprise entre 60 et 64°C (Figure 6) et un pH compris entre 5,4 et 5,5 (Kunze, 2004).

Les alpha-amylases clivent de façon aléatoire les chaînes de l'amidon ce qui réduit l'amidon en chaînes de plus petite taille réduisant la viscosité de la maïsche. L'action des alpha-amylases induit la production de nouvelles extrémités non réductrices permettant ainsi une production plus rapide et importante de maltose par les beta-amylases. De plus, les alpha-amylases produisent des dextrans qui ne sont pas fermentescibles. Le goût sucré de la bière provient majoritairement des dextrans ; en fonction du style de bière il est possible d'augmenter leur proportion pour aboutir à un produit fini plus sucrée. Leur température optimale se situe entre 68 et 72°C (Figure 7) et leur pH optimal est compris entre 5,6 et 5,8 (Kunze, 2004).

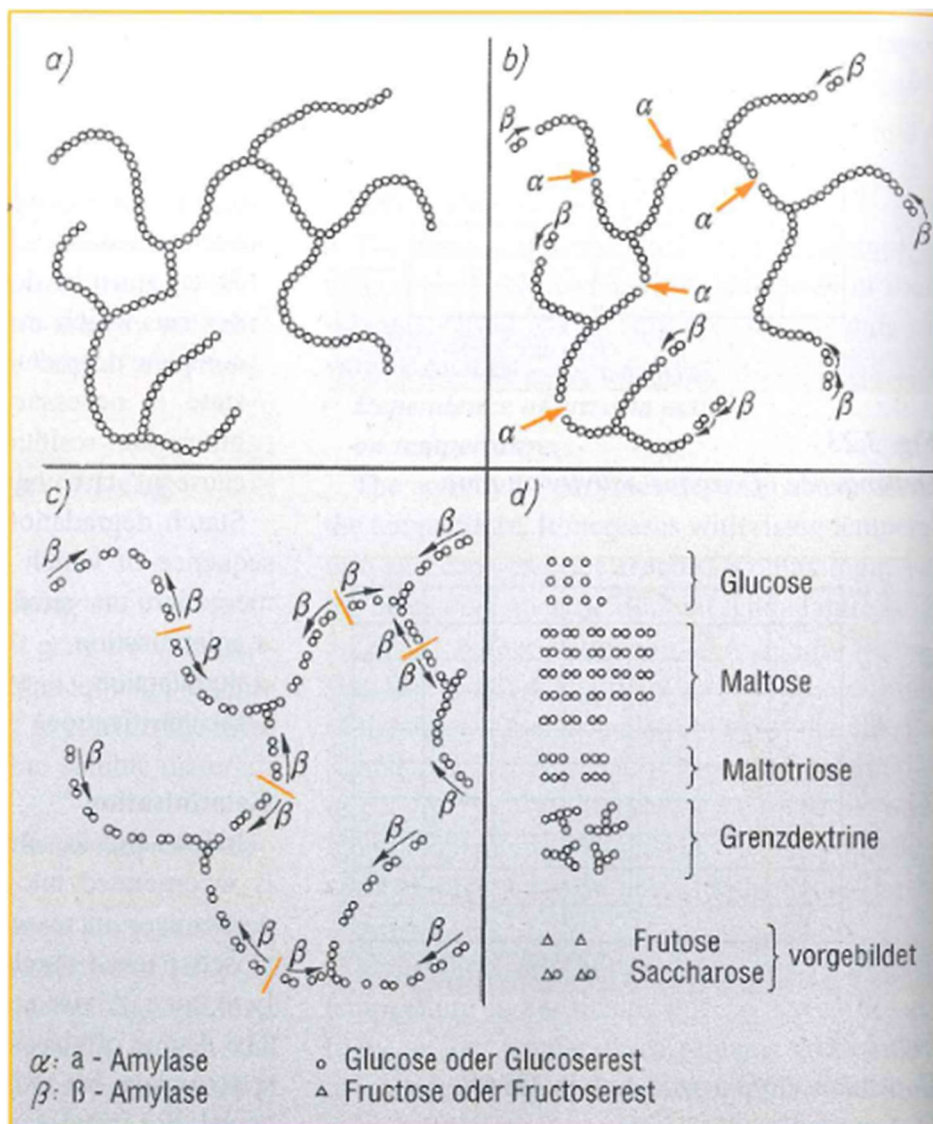


Figure 6 : Schéma de dégradation enzymatique de l'amidon (Kunze, 2004)

Il existe différentes méthodes pour réaliser l'empâtage en jouant notamment sur la température de la mûsche. La première méthode est de réaliser un empâtage en mono-palier, c'est-à-dire que tout l'empâtage va se dérouler à la même température, comprise entre 66 et 68°C en général (Figure 7).

Une deuxième méthode est de réaliser plusieurs paliers de température (2 voire 3 paliers). L'objectif de cette méthode est de cibler les optima de température de chacune des deux amylases et de viser ainsi un meilleur rendement d'empâtage.

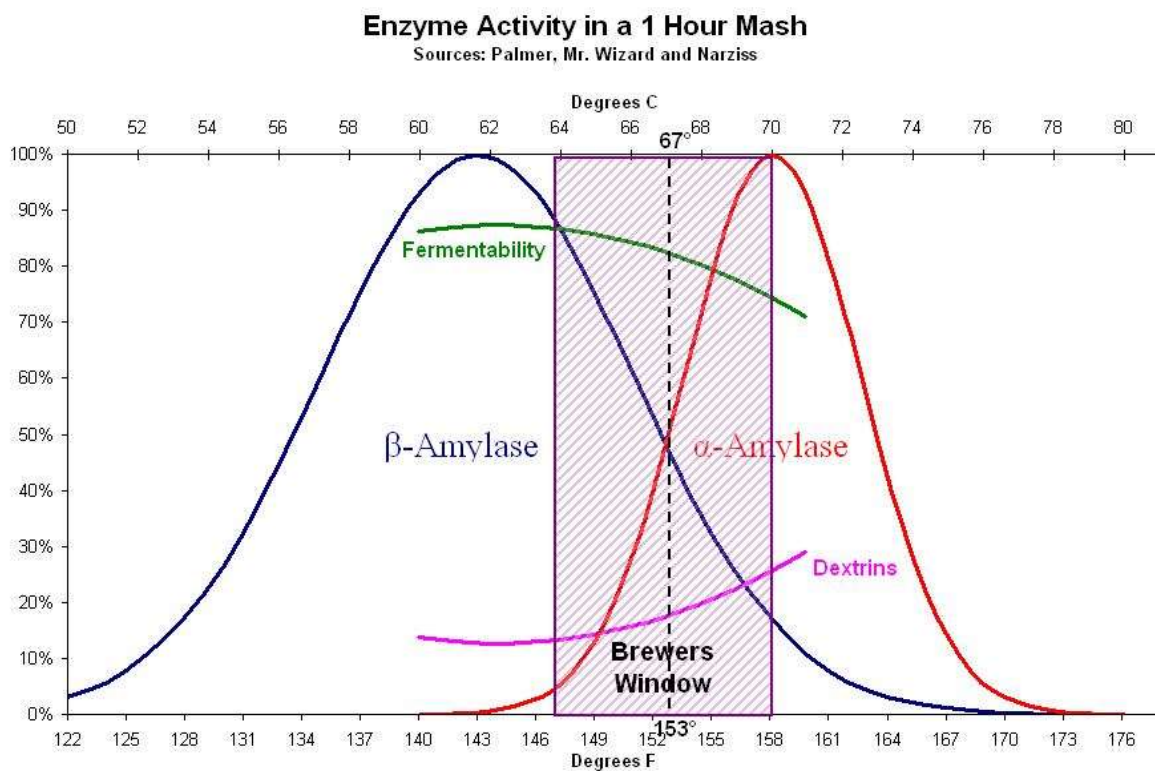


Figure 7 : Activité enzymatique des amylases en fonction de la température

b) La dégradation des protéines

Durant l'empâtage, les protéines sont également dégradées par l'action de protéinases et de peptidases. Il faut distinguer deux types de produits de la dégradation des protéines : ceux à haut poids moléculaire et ceux à faible poids moléculaire tels que les peptides et les acides aminés.

Produits de dégradation	Avantages	Inconvénients	Température de formation
Haut poids moléculaire	Production de mousse Palatabilité	Trouble dans la bière	60 - 70 °C
Faible poids moléculaire	Nutrition des levures		45 - 50°C

Tableau 1 : Tableau comparatif des différents produits de dégradation des protéines (Kunze, 2004)

De nos jours, les malts sont assez modifiés pour que les besoins en acides aminés soient entièrement couverts sans avoir besoin de faire de paliers d'empâtage à 45 – 50 °C (Kunze, 2004). Certains grains comme le malt de blé ou les céréales crus par exemple possèdent une plus forte teneur en protéines, c'est pourquoi il peut être intéressant de faire un palier protéolytique à 45 – 50 °C.

c) Le mash-out

En fin d'empâtage, un mash-out est réalisé. Le mash-out correspond à une montée en température à environ 78°C afin d'inactiver thermiquement les enzymes pour que la maïsche n'évolue plus pendant la filtration puisque cette dernière dure plus d'une heure. C'est une méthode pour maîtriser l'évolution du profil des sucres au cours du brassage.

c. La filtration

Une fois l'empâtage terminé, une étape de filtration est réalisée afin de séparer les drêches de la maïsche. Cette étape permet d'obtenir le moût. Dans le même temps, les drêches sont rincées avec des volumes prédéfinis pour atteindre le volume total pré-ébullition et pour récolter un maximum de sucres. Une fois le volume pré-ébullition atteint, la filtration s'arrête.

La filtration est souvent suivie du dédrêchage qui est l'étape d'élimination des drêches pour une remise en service de l'unité de brassage.

d. L'ébullition

Au cours de l'étape de filtration, le moût ainsi filtré est envoyé dans une nouvelle cuve destinée à porter le moût à ébullition. Cette étape est primordiale au vu des nombreux effets positifs qu'elle a sur le produit fini. C'est également pendant cette étape qu'est introduit le houblon, un produit aujourd'hui indispensable dans les bières pour son amertume et ses arômes. Les houblons sont différenciés en fonction de leur utilisation ; les houblons avec une forte teneur en acides alpha vont être utilisés en tant que houblon amérisant au début de l'étape d'ébullition tandis que les houblons aromatiques vont plutôt être introduits dans la bière en fin d'ébullition pour éviter de perdre les composants aromatiques volatils. Certains types de houblon peuvent être utilisés à la fois en tant que houblon amérisant qu'en houblon aromatique.

a) *Stabilisation du moût*

L'ébullition est un moyen de détruire l'ensemble des enzymes présentes dans le moût ce qui va garantir une stabilité du moût vis-à-vis des réactions enzymatiques. De plus, c'est une étape de stérilisation du moût. En effet, jusque-là, il n'y avait pas de destructions des flores microbiennes et comme il n'y en aura pas d'autre dans le procédé de fabrication de la bière, il est impératif d'avoir une ébullition assez longue pour stériliser le moût.

L'évaporation qui intervient avec l'ébullition va acidifier le moût ce qui va d'autant plus augmenter la stabilité microbiologique de la bière. De plus, cette acidification apporte de nombreux bénéfices gustatifs et favorise la formation ou l'élimination de composés.

b) *Formation de composés d'intérêts*

L'ébullition permet la formation de nombreux composés d'intérêt à commencer par les produits de la réaction de Maillard. Les mélanoidines formés vont réagir avec le milieu. En effet, les mélanoidines sont acides ce qui va acidifier le moût et ce sont également des molécules réductrices ce qui va limiter l'oxydation des autres composés (Kunze, 2004). L'ébullition permet également l'isomérisation thermique des acides alpha du houblon. Les acides iso-alpha sont les principaux responsables de l'amertume de la bière et possèdent des propriétés antimicrobiennes intéressantes (CBSB, 2023).

c) *Élimination de composés indésirables*

Avec l'ébullition, une partie des composés volatils est éliminée. Font partie de ces composés : le furfural et les aldéhydes de Strecker majoritairement formés par les réactions de Maillard lors du touraillage du malt, les produits de dégradation des lipides tel que l'hexanal et le diméthyle sulfure (DMS). Le DMS est un composé créé lors du chauffage du moût à partir

de S-méthylméthionine, un acide aminé produit lors de la germination des grains d'orge (Janish, 2014).

e. Le whirlpool

Le whirlpool est une étape de clarification du moût. Elle permet d'éliminer le trub qui est un mélange de particules solides : protéines et tannins (précipités sous forme de complexes induits par l'ébullition (Kunze, 2004)), lipides des malts et les résidus de houblons introduits en ébullition ou en début d'étape de whirlpool.

Le whirlpool se base sur le principe de l'effet centripète, le moût est mis en mouvement (dans une nouvelle cuve ou parfois directement dans la cuve d'ébullition) et à l'inverse de l'effet centrifuge, va permettre l'accumulation des particules au centre de la cuve (Figure 8). Ainsi, il suffit de prélever la bière sur un côté de la cuve pour éviter de tirer le trub pendant l'entonnement.

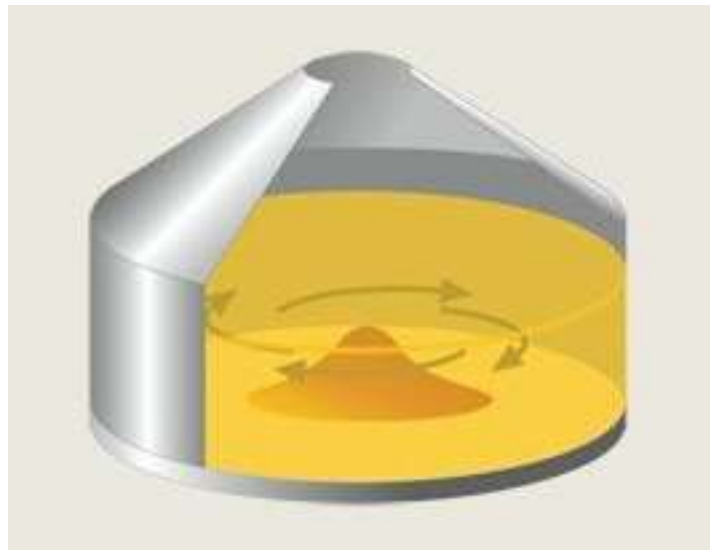


Figure 8 : Schéma de whirlpool (Rolland, 2015)

f. L'entonnement du moût

La dernière étape de brassage est l'entonnement c'est-à-dire la mise en fermenteur du moût. Durant cette étape, le moût doit être refroidi à une température adéquate au type de levures qui sera utilisé. Le moût va donc passer dans un échangeur thermique jusqu'à atteindre

la température désirée. En plus de cela, le moût va être oxygéné pour faciliter le développement initial des levures et ainsi avoir une fermentation plus rapide.

2. La fermentation

La fermentation est un procédé de transformation des aliments qui nécessitent l'intervention de micro-organismes capables d'utiliser cette voie métabolique. Pour la production de bière, ce sont généralement des levures de type *Saccharomyces cerevisiae* qui sont utilisés mais certains styles de bière spécifiques vont se tourner vers l'utilisation de bactéries lactiques pour la production de lambic par exemple ou l'utilisation de levures *Brettanomyces* qui forment leur propre style de bière.

a. La fermentation primaire

En début de fermentation, comme le moût a été oxygéné pendant l'entonnement, les levures vont adopter le métabolisme respiratoire pour la production d'énergie à partir de glucose. C'est ce qui a été appelé l'effet Pasteur : la fermentation est inhibée en présence de dioxygène (Tareb, 2020). La respiration survient dans les quelques heures qui suivent l'entonnement, jusqu'à disparition du dioxygène ambiant. Un bilan de cette réaction de respiration serait :



Les levures de type *Saccharomyces cerevisiae* sont capables d'adopter un métabolisme fermentaire en absence de dioxygène. La fermentation alcoolique est une voie de transformation du glucose pour la production d'énergie sous forme de molécules d'ATP. Comme pour le métabolisme respiratoire, le glucose doit d'abord subir la glycolyse, c'est le pyruvate qui entrera dans la voie métabolique fermentaire. Un bilan de la réaction de fermentation alcoolique serait :



Comme le montre ces deux équations, la production d'énergie avec la respiration est bien supérieure à celle qui est générée par la fermentation alcoolique. Cela se traduit notamment par une plus forte production de biomasse dans le cas de la respiration. En effet, il faut 10 fois plus de sucres pour la production de 1 g de biomasse avec la fermentation qu'avec la respiration : il y a un besoin en sucres de 2 g / g de biomasse produit pour la respiration alors

qu'il faut 20 g de sucres par gramme de biomasse produit pour la fermentation (Tareb, 2020). La biomasse de levures augmente donc rapidement pendant les quelques heures où les levures adoptent la respiration en tant que voie métabolique.

Les levures possèdent des maltases qui leur permettent de cliver les molécules de maltose en deux molécules de glucose qui vont ensuite entrer dans la voie métabolique fermentaire. Ainsi, les levures vont consommer l'ensemble du glucose et du maltose généré lors de l'empâtage et vont rejeter du dioxyde de carbone et de l'éthanol dans la bière. Si le fermenteur est dit atmosphérique (c'est-à-dire que la pression dans le fermenteur est la pression atmosphérique) le CO₂ dissous va s'échapper de la bière ce qui améliore la vitesse de fermentation.

La fermentation se déroule dans un fermenteur cylindro-conique (Figure 9) pour faciliter l'élimination des levures en fin de fermentation.



Figure 9 : Photo d'un fermenteur cylindro-conique (Amos industrie, 2023)

La souche de levures utilisée pour la fermentation primaire se révèle être d'une importance capitale pour la libération d'arômes dans la bière. Par exemple, la levure Lalbrew AbbayeTM de Lallemand produit de l'acétate d'isoamyle qui va donner un léger goût de banane

à la bière (Lallemand, 2023). Cette note de banane est une particularité appréciée par les amateurs de bière de type triple.

Les levures de fermentation haute produisent une plus grande quantité d'esters et d'alcools supérieurs que les levures de fermentation basse. Ceci est dû à une plus haute température de fermentation dans le cas des levures de fermentation haute (Kunze, 2004).

b. La fermentation secondaire

Bien que cette étape soit appelée fermentation secondaire, il n'y a pas de phénomènes de fermentation qui s'y déroulent. En effet, cette étape est également appelée garde et bien qu'elle possède de nombreux avantages pour la bière, elle n'est pas forcément réalisée pour gagner du temps sur la production.

Un avantage de cette étape est la floculation et la sédimentation des levures qui, in fine, va clarifier la bière et enlever le goût des levures ce qui améliore grandement la qualité gustative de la bière. Les levures ainsi récoltées peuvent être utilisées pour l'alimentation animale offrant vitamines et minéraux.

Pendant la garde, il y a également une évolution des qualités gustatives de la bière. Les levures vont produire du diacétyl pendant la fermentation primaire lors du métabolisme de la valine, un acide aminé essentiel. Le diacétyl est responsable d'une saveur beurrée qui est considéré comme un défaut dans la bière. Or, le diacétyl est rapidement absorbé par les levures pendant la garde, offrant une bière de meilleure qualité (Krogerus et Gibson, 2013).

3. Le conditionnement

a. La carbonatation de la bière conditionnée

Pour le conditionnement de la bière, que ce soit en fûts ou en bouteilles, la bière doit être carbonatée c'est-à-dire gazéifiée avec du CO₂. Pour cela, il y a deux méthodes :

- La refermentation en bouteilles ou en fûts est la méthode la plus utilisée par les brasseries artisanales car c'est celle qui demande le moins d'équipements. Pour cette méthode, du sucre est incorporé à la bière pour redonner des sucres fermentescibles aux

levures. Ainsi, par le même mécanisme que précédemment, la bière se charge en CO₂. Cependant deux points d'attention apparaissent avec cette méthode. En effet, c'est la première cause de sur-moussage des bières ou d'explosion bouteilles produit fini, il est donc primordial de bien doser le sucre pour éviter ces problèmes. Un deuxième point est l'augmentation du taux d'alcool de la bière. Pour s'assurer de rester dans la législation, il est important de prendre cette production d'alcool en compte lors des calculs de masse de malt à incorporer à l'étape de concassage.

- La seconde méthode de carbonatation est l'ajout direct de CO₂ gazeux dans la bière. Pour cela, le plus simple est d'utiliser un carbonateur en ligne, un appareil qui peut se régler pour doser la carbonatation de la bière. Autrement, il est possible de faire monter en pression une cuve avec du CO₂ gazeux et d'atteindre un équilibre thermodynamique pour que le CO₂ se dissolve dans la bière mais c'est une façon de faire plus coûteuse en CO₂ et beaucoup plus longue qu'avec l'utilisation d'un carbonateur.

b. Le conditionnement en bouteilles ou canettes

Le conditionnement en version individuelle peut se faire soit en bouteilles soit en canettes en aluminium. Les formats classiques sont 33 cL et 75 cL pour les bières bouteilles et 33 cL, 44 cL ou 50 cL pour les canettes. Les deux matériaux sont des matériaux avec de bons moyens de recyclage. Les bouteilles en verre sont généralement teintées pour éviter les phénomènes d'oxydation qui peuvent dégrader les bières, notamment celles avec beaucoup de houblon, les acides alpha du houblon étant sensibles à la photo-oxydation.

Le conditionnement dans ces formats nécessite une mise en carton pour un stockage et un transport simplifiés.

c. Le conditionnement en fûts

Le conditionnement en fûts se fait généralement dans des fûts en inox ou en plastique d'une contenance de 20 ou 30 L. Les fûts sont principalement destinés aux festivals, CHR et, dans une moindre mesure, aux particuliers. Les fûts nécessitent l'utilisation d'une tireuse à bière pour pouvoir être utilisés. Les tireuses à bière sont équipées d'un groupe froid qui permet de refroidir la bière et d'un apport en gaz pour tirer la bière.

Les enfuteuses automatiques possèdent plusieurs têtes avec diverses actions sur le fût. A minima il y a, dans l'ordre de passage, une tête de nettoyage qui va pulvériser un produit à base de soude et le rincer, une tête de désinfection qui va pulvériser de l'acide peracétique puis le rincer et enfin une tête qui permet de remplir le fût de bière et de le pressuriser.

III. Mission principale : Étude de la formation et du maintien de la mousse dans la bière

Nous avons vu précédemment que la mousse de la bière possède des caractéristiques intéressantes autant d'un point de vue esthétique que d'un point de vue gustatif. Il faut néanmoins prêter attention aux problématiques de sur-moussage qui provoque une perte de volume de bière et une mauvaise dégustation.

Bien que la formation initiale de la mousse joue un rôle important, sa stabilité au cours du temps lui assure les bienfaits mentionnés. C'est pourquoi cette étude s'est consacrée aux mécanismes de formation de la mousse et à sa stabilité tout en essayant de modifier le moins possible les qualités organoleptiques des bières existantes à la Brasserie du Bouffay.

1. Comment se forme la mousse dans la bière ?

a. Qu'est-ce qu'une mousse ?

Une mousse est une dispersion de gaz dans une phase condensée, généralement un liquide (Salager et Choplin, 2008). Le gaz forme des bulles qui sont stabilisées par un abaissement de la tension superficielle entre les bulles de gaz et la phase condensée.

En revanche, deux phénomènes font des mousses des systèmes dispersés peu stable. Le premier étant le fait que le gaz est moins visqueux que la phase liquide. Le deuxième est que la différence de densité entre ces deux phases déstabilise la mousse ; la poussée d'Archimède agit grandement sur la séparation de phase (Salager et Choplin, 2008).

b. La formation de la mousse de la bière

Dans le cas de la bière, le gaz que l'on retrouve le plus dans la mousse est le dioxyde de carbone (CO₂), même si certaines brasseries utilisent du diazote (N₂) comme Guinness par exemple. La différence est que le diazote présent dans les bulles de gaz se dissout très lentement créant une mousse plus fine et stable mais qui ne se solidifie pas (Kunze, 2004). C'est pourquoi ces brasseries utilisent des mélanges de gaz pour avoir les propriétés des deux gaz dans la bière : une mousse stable avec le diazote qui ne se dissout pas dans la bière et la sensation en bouche provoquée par le dioxyde de carbone.

Lorsque la bière est conditionnée, il se forme un équilibre thermodynamique entre le CO₂ compris dans l'espace de tête du contenant et le CO₂ dissous dans la bière. Cet équilibre est décrit par la loi de Henry qui relie la pression partielle d'équilibre d'un gaz et la saturation à l'équilibre dans un liquide. Lorsque cet équilibre est rompu lors de l'ouverture du moyen de conditionnement, la pression partielle du CO₂ diminue grandement de 0,5 bars environ (Moral, 2022) à la pression partielle atmosphérique en CO₂ qui est de 0,03 bars. Cette diminution de la pression partielle en CO₂ provoque la désaturation de la bière en CO₂ dissous qui va dégager le CO₂ sous forme gazeux par le biais de petites bulles.

Lors de la montée des bulles vers la surface de contact avec l'air, les bulles de CO₂ s'entourent de molécules qui abaissent leur tension superficielle ce qui les protège momentanément de la désintégration (Kunze, 2004). Dans la bière, les composés principaux qui jouent le rôle de tensioactifs sont les protéines et les sucres.

Plus il y a de CO₂ dissous dans la bière, plus la bière va produire de bulles et donc de mousse. En revanche, la formation d'une grande quantité de bulles n'est pas une garantie d'une mousse stable.

2. Les facteurs influençant la stabilité de la mousse de la bière

Lorsque l'on veut modifier les facteurs qui influencent la stabilité de la mousse de la bière, chacun provoque la modification d'autres caractéristiques de la bière. Cette partie bibliographique portera sur les facteurs qui améliorent la stabilité de la mousse et sur les contreparties liées à ceux-ci.

Il est également intéressant de noter que le service de la bière est crucial dans la formation de la mousse et sa stabilité. Des verres sales auront tendance à déstabiliser la mousse à cause de la présence de lipides. De plus, chaque style de bière est plus ou moins propice à la formation de mousse et cela se traduit par des verres de formes différentes avec notamment une surface de contact avec l'air qui varie d'un verre à l'autre.

Il existe une catégorie de facteurs qui ne sera pas retenu pour ces études car elle ne correspond pas à l'image que veut renvoyer la Brasserie du Bouffay mais qui peut améliorer la tenue de mousse, ce sont les agents de rétention (Kunze, 2004). Parmi eux se retrouvent les sels de fer qui en combinaison avec les protéines vont stabiliser la mousse. Les alginates, la gomme arabique et la gomme de xanthane sont également des agents utilisables dans la bière pour améliorer la tenue de mousse. En effet, l'augmentation de la viscosité engendrée par l'ajout de ces éléments est un facteur qui peut améliorer de façon significative la rétention de la mousse. En revanche, les dosages de ces additifs sont à respecter pour éviter des problèmes de filtration difficile et pour obtenir un produit à la viscosité proche de celle attendue par le consommateur lors de la dégustation.

a. Caractéristiques de l'eau

Il a été discuté que l'eau de brassage était la matière première la plus importante puisqu'elle représente la majorité de la masse finale du produit (cf II).

Certaines de ses caractéristiques comme le pH ou les ions vont avoir un impact sur les réactions qui se produisent pendant l'empâtage et l'ébullition ce qui indirectement, va contribuer à la formation d'une mousse stable.

a) L'influence du pH sur la mousse

En effet, les amylases ont des optimums de pH différents ce qui implique qu'une modification du pH peut modifier l'activité enzymatique des amylases. Pour la mousse de la bière, il a été vu dans la partie précédente que les dextrines pouvaient jouer le rôle de tensioactifs. Ainsi, il est intéressant pour la formation de la mousse de produire davantage de dextrines en favorisant l'action des alpha-amylases, par exemple en abaissant le pH d'empâtage à une valeur comprise entre 5,6 et 5,8 (Kunze, 2004).

Une modification du pH de la maïsche va cependant modifier le profil de sucres en favorisant la formation de dextrines et en réduisant la formation de sucres fermentescibles. De

plus, si le pH n'est pas corrigé en fin d'empâtage, les étapes d'ébullition et de fermentation pourraient se retrouver modifier.

b) Les ions Chlorure Cl^- et leur interaction avec la mousse

La présence d'ions Chlorure est essentiel pour le développement des levures et le développement des saveurs de la bière tout au long des étapes de brassage et de fermentation (Kunze, 2004). En revanche, les ions chlorure sont chargés négativement et vont interagir par liaison ionique avec les peptides et protéines chargés positivement, réduisant les possibilités pour d'autres composés tel que les mélanoidines d'interagir avec les peptides et protéines, réduisant la stabilité de la mousse (Bamforth, 1984).

Ce paramètre est cependant vérifié par les analyses d'eau de la brasserie et les quantités actuelles ne représentent a priori pas un élément défavorisant pour la stabilité de la mousse.

b. Les paliers d'empâtage

Les paliers d'empâtage permettent la création de sucres fermentescibles et non fermentescibles grâce à l'action conjointe des alpha et des beta-amylases (cf. II.1.b.a). Deux composés d'intérêts pour la mousse sont formés lors de l'empâtage à des températures avoisinant les 70°C. En effet, les dextrines formées par les alpha-amylases peuvent jouer le rôle de tensioactifs dans la mousse et augmentent la viscosité de la phase liquide ce qui aide également à stabiliser la mousse de la bière. D'autre part, les dégradations de protéines de haut poids moléculaire sont formées à ces températures. Or, il a été vu en II.1.b.b que les fractions protéiniques de haut poids moléculaire stabilisent la mousse de la bière car elles sont capables d'abaisser la tension superficielle des bulles de la mousse.

Une modification des paliers d'empâtage dans ce sens modifiera le profil de sucres en favorisant la formation de dextrines et en réduisant la formation de sucres fermentescibles. De plus, l'augmentation de la quantité de fractions protéiniques de haut poids moléculaire augmente le trouble des bières.

c. Les malts spéciaux

Le malt est l'ingrédient qui apporte la majorité des éléments nécessaires à la formation et à la stabilité de la mousse, il est donc légitime de se demander si l'utilisation de nouveaux malts peut apporter une modification de la tenue de mousse. Les grains maltés ou non-maltés

qui ne sont pas de l'orge ont généralement un taux de protéines plus important mais apportent aussi un goût qui leur est propre.

Toutefois, pour répondre à ce besoin, les malteries ont inventé des malts d'orge modifiés de sorte que les taux de protéines et de dextrines soient plus élevés. Ces malts dits spéciaux sont proposés justement pour améliorer la tenue de mousse des bières. Ce sont des malts d'orge généralement peu touraillés pour éviter de dénaturer les protéines par la chaleur.

Un désavantage de l'utilisation d'un malt spécial est qu'il possède une activité enzymatique moindre à cause des modifications qu'il a subies. De plus, pour que son ajout soit efficace, il faut remplacer entre 10 et 30 % de la masse total de malt (masses conseillées pour les malts Carafoam[®] et Carahell[®] de la marque Weyermann[®]). Cette recommandation est doublement justifiée. En effet, lorsque trop de ces malts sont ajoutés, un trouble dans la bière froide (4°C) apparaît à cause de la forte teneur en protéines dans le milieu qui se précipitent et complexent à froid (Kunze, 2004). Ce dernier point n'est vrai que pour les bières qui ne subissent pas de nouvelle étape de clarification (centrifugation ou filtration).

d. Les acides alpha du houblon

Le houblon est une plante dioïque grimpante et vivace qui fait partie de la famille des Cannabacées. C'est une plante utilisée depuis l'Antiquité dans le domaine médicinale mais qui n'a fait son apparition dans la bière qu'au XIV^{ème} siècle remplaçant le gruit qui était utilisé auparavant (Kunze, 2004). Pour la bière, ce sont les inflorescences femelles qui sont utilisées (Figure 10).



Figure 10 : Cônes de houblon (Hopsteiner, 2016)

Aujourd'hui, il est rare d'utiliser directement les cônes de houblon. Pour des raisons pratiques, les brasseries préfèrent utiliser des pellets Type-90 (où 100g de houblon donne 90g de pellets), des pellets Type-45 ou encore des extractions par fluide supercritique. Dans le houblon se trouve la lupuline qui contient les acides alpha et beta du houblon. Les acides alpha correspondent au regroupement de majoritairement trois molécules proches en structure : l'humulone, l'adhumulone et la cohumulone (Kunze, 2004). Après ébullition, ces molécules seront responsables de l'amertume de la bière. En effet, ces molécules vont subir une isomérisation thermique pendant l'ébullition rendant ces molécules plus solubles permettant ainsi de garder ses composés responsables de l'amertume dans la bière. L'amertume de ces trois composés diffèrent : l'isohumulone apporte une amertume douce tandis que les isocohumulones contribuent plus au caractère amer de la bière. Pour revenir aux acides beta, ils ne peuvent pas subir d'isomérisation, sont plus solubles que les acides alpha et sont les principaux responsables de l'activité antimicrobienne du houblon.

Les composés d'intérêt pour la mousse qui proviennent du houblon sont les acides iso-alpha. Les acides iso-alpha sont hydrophobes ce qui leur permet de se lier par liaisons faibles aux parties hydrophobes des protéines. Ces liaisons vont venir aider à stabiliser les bulles de mousse.

L'augmentation de la quantité de houblon dans la bière est une bonne méthode pour améliorer la tenue de mousse mais elle présente un défaut majeur qu'est l'augmentation de l'amertume de la bière. Une possibilité serait d'ajouter une plus grande quantité de houblon qui possède une teneur en cohumulone plus faible ce qui ne modifierait pas l'amertume de la bière mais augmenterait la quantité d'acides iso-alpha global. L'inverse est également possible si l'objectif est de réduire la quantité d'acides iso-alpha pour réduire la tenue de mousse. En effet, les bières de type IPA sont des bières qui sont très houblonnées et qui sont le plus sensibles aux problématiques de surmoussage, notamment dû au fait que les bulles ne se rompent pas assez rapidement.

3. Matériel et méthodes

Les facteurs cités précédemment ne sont que les plus importants pour la formation de mousse et de cette liste j'en ai privilégié deux : le premier étant l'impact des paliers d'empâtage

et le deuxième est une modification des matières premières, en l'occurrence, le malt. Le choix de ces deux facteurs portant principalement sur la contrainte de garder les caractéristiques gustatives des bières actuelles.

a. Matériel et méthodes pour mesurer l'impact des paliers d'empâtage sur la mousse

Pour vérifier l'impact des paliers d'empâtage sur les caractéristiques de la mousse dans la bière, j'ai choisi de réaliser deux essais. Dans l'optique d'obtenir des résultats plus marqués, les essais réalisés ont porté sur la recette de la Blanche du Bouffay. Les moutures des bières de type blanche ont un minimum de 30 % de blé dans leur composition. Or, le malt de blé possède plus de protéines que le malt d'orge. De ce fait, il est courant de réaliser un palier protéolytique pour casser ces protéines en fraction plus petites. L'étude va se focaliser sur l'impact de ce palier protéolytique sur la formation de la mousse pour des bières de type blanche.

Pour que les essais correspondent à une réalité dans la brasserie, les couples temps/température pour les paliers d'empâtage correspondent à ceux déjà utilisés par la brasserie pour diverses recettes.

	Recette sans palier protéolytique	Recette avec palier protéolytique (Témoin)
Palier n°1	25' 64 °C	10' 45°C
Palier n°2	10' 68°C	25' 64°C
Palier n°3	25' 72°C	25' 72°C

Tableau 2 : Paliers d'empâtage pour les deux recettes de blanche

De plus, les essais ont été réalisés au sein de la brasserie sur leur unité principale. Les volumes pré-ébullition étaient de 2000 L pour chacun de ces deux essais. Les bières ont été analysées après refermentation en bouteille selon le même protocole.

b. Matériel et méthodes pour mesurer l'impact des malts sur la mousse

L'impact des malts sur la mousse a également été vérifié à l'aide de deux essais, l'un réalisé à la brasserie sur leur unité principale et le deuxième a été réalisé au CIA d'Oniris. La recette ici utilisée est la recette de l'Ambrée du Bouffay. Dans un souci de conformité, seul le matériel de brassage diffère entre les deux brassins effectués, c'est-à-dire que les matières premières sont les mêmes que celles utilisées à la Brasserie du Bouffay, que la mouture a été effectuée avec le moulin de la brasserie, que les temps et températures d'empâtage et d'ébullition sont identiques et que les volumes ont été ajustés pour correspondre à la capacité de l'unité de brassage du CIA d'Oniris.

Le malt spécial retenu pour la recette modifiée est le Carahell[®]. Pour la sélection du malt spécial à utiliser dans cette recette, je me suis basé premièrement sur les indications données par le fournisseur (Weyermann[®]) puis sur l'EBC du malt qui est de 25. Cette valeur d'EBC est identique à celle du Munich 25 (Tableau 3) qui possède un EBC de 25 et qui, dans la recette initiale, apporte de la couleur tout en gardant une activité enzymatique normal. Ainsi, il est possible que son remplacement réduise le taux de sucres qu'il est possible d'extraire.

	Recette avec Carafoam	Recette initiale (Témoin)
Carafoam	4 kg (12 %)	/
Munich 25	/	50 kg (12 %)
Masse Total	32,6 kg	401,8 kg

Tableau 3 : Différence entre les recettes de bières ambrées réalisées

Les bières ont été analysées après la fermentation primaire et ont subi une gazéification à l'aide d'une machine Sodastream[®] Terra. Les deux bières ont subi trois gazéifications de 1 seconde. Une première 5 minutes avant analyse de la mousse, une deuxième 4 minutes avant et une dernière 2 minutes et 30 secondes avant. Ce protocole de gazéification est celui qu'utilise la brasserie lors de ces essais de recette et permet d'obtenir une sensation en bouche proche d'une carbonatation par refermentation en bouteilles.

c. Protocole de mesure de la mousse

Pour chacun des deux paramètres testés, le protocole de mesure de la mousse est le même. La méthode utilisée est appelée la méthode de Constant et permet d'évaluer la formation de la mousse et sa stabilité au cours du temps (Gonzalez Viejo C. et al., 2019). Cette méthode étant dépendante de la teneur initiale en CO₂ de la bière. La teneur exacte en CO₂ n'a pas besoin d'être connue. Toutefois, il faudra porter une attention toute particulière à ce que les teneurs en CO₂ initiales soient équivalentes entre les couples de bières analysées. Les bières analysées ont été placées en chambre froide à 4°C 6 heures avant l'analyse.

Une éprouvette graduée de 1 L est disposée sur une surface plane stable et 30 cL de bière sont versés directement dans l'éprouvette depuis une hauteur de 50 cm. L'idée étant ici de provoquer la formation de mousse lors du versement de la bière dans l'éprouvette. Ensuite, il suffit de mesurer à l'aide des graduations, le volume de mousse et le volume de bière. Une nouvelle mesure est prise toutes les 10 secondes pendant 5 minutes. L'évolution du volume de mousse est retranscrite sur un graphique prenant en abscisse le temps et en ordonnée le volume de mousse. Le volume de mousse initiale dépend de la moussabilité de la bière tandis que son évolution au cours du temps dépend de la stabilité de la mousse.

4. Résultats

a. Résultats pour l'impact du palier protéolytique sur la mousse d'une bière de type blanche

D'après la figure 11, les écart-types des volumes de mousse des deux recettes sont très faibles ce qui permet d'assurer que ces deux bières ont des tenues de mousse différentes. En effet, d'après ce graphique, il apparaît que la Blanche du Bouffay possède un volume de mousse de 575 cL et finit à 328 cL au bout de 5 minutes tandis que la Blanche sans palier protéolytique possède initialement un volume de mousse de 600 cL pour finir à 287 cL à la fin des 5 minutes. La Blanche du Bouffay, qui a donc subi un palier protéolytique, apparaît comme étant la bière avec une formation de mousse initiale plus faible et une meilleure tenue de mousse faisant d'elle une bière plus simple à servir et dont la mousse tient plus longtemps dans le temps ce qui peut être idéal pour les bars, la mousse ne tombant pas avant que la bière n'arrive au client.

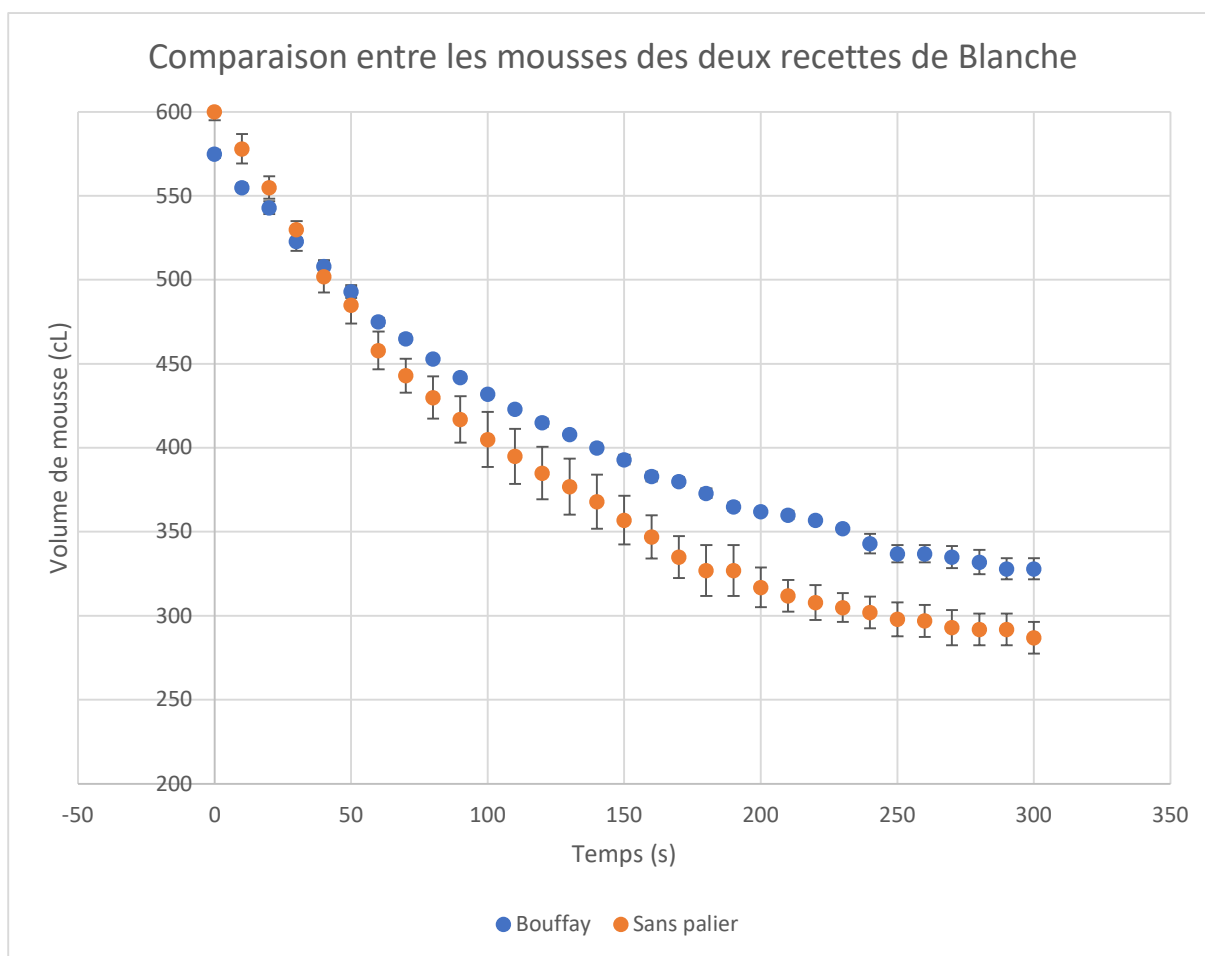


Figure 11 : Graphique comparatif entre les mousses des deux recettes de blanche

Cependant, ce résultat n'était pas celui attendu au début de l'analyse. De ce qui a été discuté précédemment, le résultat attendu était que la Blanche du Bouffay posséderait une tenue de mousse plus faible à cause du palier protéolytique qui réduit la quantité de protéines de haut poids moléculaire causant la formation d'une mousse moins stable.

Pour ce qui est de l'intérêt de changer la recette actuelle de la Blanche du Bouffay au niveau des paliers d'empâtage, au vu des résultats ci-dessus, il n'y a aucun intérêt à modifier la recette sans plus d'essais qui invaliderait cette expérience et montrerait que le palier protéolytique impacte négativement la tenue de mousse.

b. Résultats pour l'impact de malt à fort taux protéique sur la mousse

Les mousses des deux recettes d'ambree ont été analysées selon la méthode décrite précédemment. Initialement (à $t = 0$ s), les mousses des deux bières étaient équivalentes. L'étude a montré que la bière qui contient du malt spécial Carahell® possède une tenue de mousse supérieure à celle de l'ambree du Bouffay à partir de 10 secondes après versage jusqu'à 4 minutes et 40 secondes (Figure 12). Ce résultat était le résultat attendu de cette expérience puisqu'il a été discuté en III.1.b. que les protéines et les dextrans de la bière étaient les principales contributrices de la formation et du maintien de la mousse.

Ainsi, l'utilisation de malt spécial Carahell®, à hauteur de 12% de la quantité totale de malt, permet d'améliorer la tenue de mousse pendant les premières minutes qui suivent le versage.

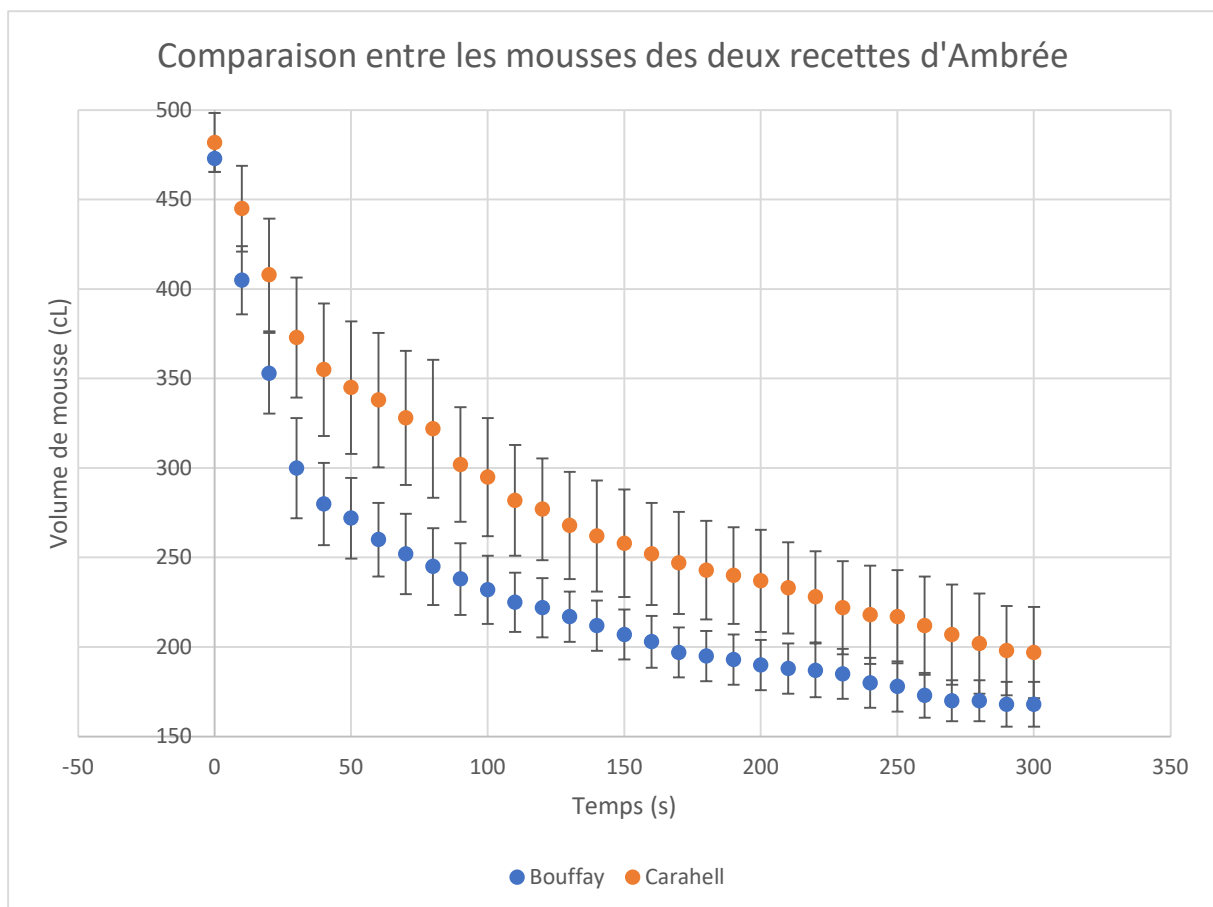


Figure 12 : Graphique comparatif entre les mousses des deux recettes d'ambree

5. Discussion

Compte tenu des délais importants pour la production de bière et des besoins conséquents en matériel, il n'y a eu qu'un brassin pour chaque recette testée. Il aurait cependant été préférable de réaliser plusieurs fois une même recette pour s'assurer de la répétabilité des recettes. D'autant plus que pour les tests sur le malt, les deux brassins ont été réalisés avec un matériel différent ce qui rajoute une variable dans ces résultats.

a. Les points d'attention pour l'étude du palier protéolytique sur la tenue de mousse

Premièrement, les résultats sur la tenue de mousse pour les deux recettes de blanche ont validé une bonne répétabilité de la méthode de Constant dans ces conditions puisque les écart-types entre chaque répétition sont faibles (Figure 11).

Pour expliquer le résultat obtenu pour cette expérience, on peut citer le fait que les bières avaient 3 mois d'intervalle, la Blanche du Bouffay ayant été produite 3 mois auparavant tandis que la blanche sans palier a fini sa refermentation en bouteilles une semaine avant analyse. Il est possible que la bière ait continué d'évoluer pendant cette période, formant un dépôt plus dense des levures et qui est resté dans la bouteille lors du versage ce qui n'a pas été le cas pour la blanche sans palier protéolytique. Or, les levures sont connues pour déstabiliser la mousse de la bière, ce qui a pu engendrer une mousse moins stable que prévu dans le cas de la blanche sans palier protéolytique.

b. Les points d'attention pour l'étude sur l'utilisation de malt spécial Carahell®

Comparé à l'étude précédente, les écarts sont plus importants entre les valeurs de tenue de mousse des trois répétitions. Cette variation plus élevée est sûrement due à la méthode de carbonatation qui s'est révélée assez fiable pour discriminer les deux bières sur la majeure partie du temps mais qui a engendré une carbonatation différente selon les répétitions (Figure 12). Si cette expérience était à refaire avec la méthode de Constant, il faudrait privilégier des bières carbonatées par une des deux méthodes décrites en II.3.

De plus, il faut retenir de cette expérience que les deux brassins ont été produits sur des lieux différents avec des unités de brassage différentes, les résultats semblent confirmer que l'utilisation de malt spécial puisse améliorer la tenue de mousse de façon temporaire mais pour en avoir la certitude, il faudrait refaire cette expérience sur une seule et même unité de brassage.

Les deux ambrées avaient des recettes semblables mais la bière réalisée avec du malt spécial possédait une activité enzymatique très faible ce qui aurait pu réduire le taux d'extraction des sucres. Ce n'est pas quelque chose qui a pu être constaté dans cette étude puisque les deux bières ont montré que la disparition des sucres fermentescibles était équivalente (on parle ici de la différence entre la densité initiale du produit et sa densité finale).

c. La mesure de la stabilité de la mousse

L'une des limites de cette étude est la mesure elle-même de la tenue de mousse. La méthode de Constant qui a été utilisée pour cette étude est l'une des méthodes les moins coûteuses en équipement et des plus rapides. Néanmoins, la mesure par cette méthode est dépendante de la teneur initiale en CO_2 qui est un paramètre difficile à évaluer. La méthode de Bikerman représente une bonne alternative puisqu'elle s'affranchit de ce paramètre (Salager et Choplin, 2008). Cette méthode consiste à injecter du CO_2 sous forme de petites bulles dans une solution (dans ce cas, la bière) et à provoquer un équilibre dynamique entre la formation des bulles liée à l'injection de gaz en solution et la disparition de la mousse en contact avec l'air (Figure 13). Cette méthode est adaptable à la solution moussante à analyser en ajustant le débit de gaz injecté. La hauteur de mousse obtenue avec cette méthode combine les paramètres de moussabilité et de stabilité sans contraintes sur la teneur initiale en CO_2 .

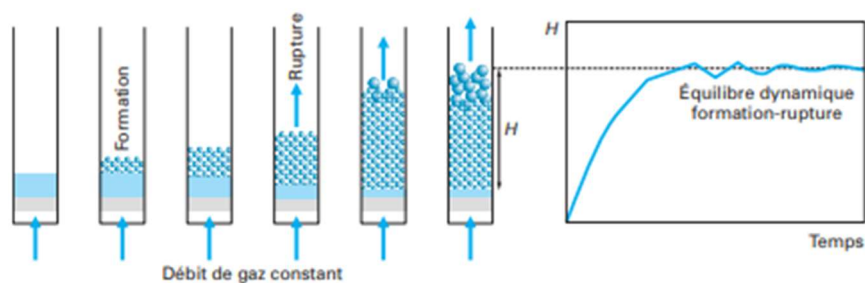


Figure 13 : Méthode dynamique de Bikerman (Salager et Choplin, 2008)

Pour s'affranchir de l'ensemble des paramètres environnementaux qui peuvent influencer sur la formation et la stabilité de la mousse il est possible d'utiliser un Lg-Foamtester de LG Automatic aps (Figure 14). Cet appareil mesure, à l'aide de sondes infrarouges, la formation et la rupture de sa disparition (Kunze, 2004).



Figure 14 : Lg-Foamtester pour les mesures de stabilité de mousse (Kunze, 2004)

IV. Mission secondaire : La mise en place de la démarche HACCP

La démarche qualité HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) est une démarche non obligatoire qui permet d'identifier, d'évaluer et de maîtriser les dangers vis-à-vis de l'hygiène et de la sécurité des aliments (Enilbio, 2014). Celle-ci prend en compte les risques : biologiques, chimiques et physiques.

D'un point de vue microbiologique, la réglementation européenne n'impose pas de critère de sécurité ou d'hygiène des procédés pour la bière. Cela est majoritairement dû aux caractéristiques de la bière : un pH acide, un environnement anaérobie, la présence d'alcool et l'activité antimicrobienne des acides alpha et bêta du houblon (Enilbio, 2014). Néanmoins, les contaminations par des flores d'altération sont fréquentes et provoquent des défauts de goût dans la bière.

1. Les avantages et les défauts de la Brasserie du Bouffay pour la mise en place de la démarche HACCP

Au sein de la Brasserie du Bouffay, certains éléments sont déjà en accord avec la mise en place d'une démarche qualité telle que celle-ci bien qu'un grand nombre d'entre eux jouent le rôle de freins dans cette démarche.

Les points forts sont : un suivi informatique de la production de bière, du brassage au conditionnement avec les numéros de lot des matières premières, une polyvalence des employés qui ont déjà une bonne compréhension de l'ensemble des points d'attention lors de la production, des moyens de désinfection des mains aux endroits clés, des moyens de dératissage gérés par une société extérieure (Villanueva, 2005).

En revanche, l'état de propreté des espaces communs, les toiles d'araignées sur les murs et plafonds, la présence d'insectes ou d'oiseaux au sein de la brasserie sont des sources de contamination potentielles qui ne sont pas en accord avec cette démarche qualité (Villanueva, 2005). Il y a également un manque d'affichage des consignes de sécurité et des consignes d'utilisation des appareils, ainsi qu'un nombre insuffisant de matériel informatique pour le nombre d'employés actuels.

2. Les principes de la démarche HACCP

La démarche HACCP s'appuie sur 7 principes (Formation HACCP, 2021) :

- L'analyse des risques en identifiant les dangers potentiels, leur cause, leur gravité, leur fréquence d'apparition et les mesures préventives qui peuvent être mises en place.
- La détermination des Points de Contrôle Critiques (CCP) afin d'identifier les étapes qui peuvent et doivent être maîtrisées. Ce principe repose sur l'utilisation d'un arbre de décision (Figure 15).
- La fixation de limites critiques associées à chaque CCP.
- La mise en place d'un système de surveillance des CCP.
- La mise en vigueur d'actions correctives lorsque la surveillance liée aux CCP indique une non-conformité.

- La création de procédures de vérification de la démarche HACCP (rédaction de procédures, d'enregistrements, l'instauration d'audits internes)
- La création d'un système documentaire où figure toutes les procédures et les relevés de leur mise en application.

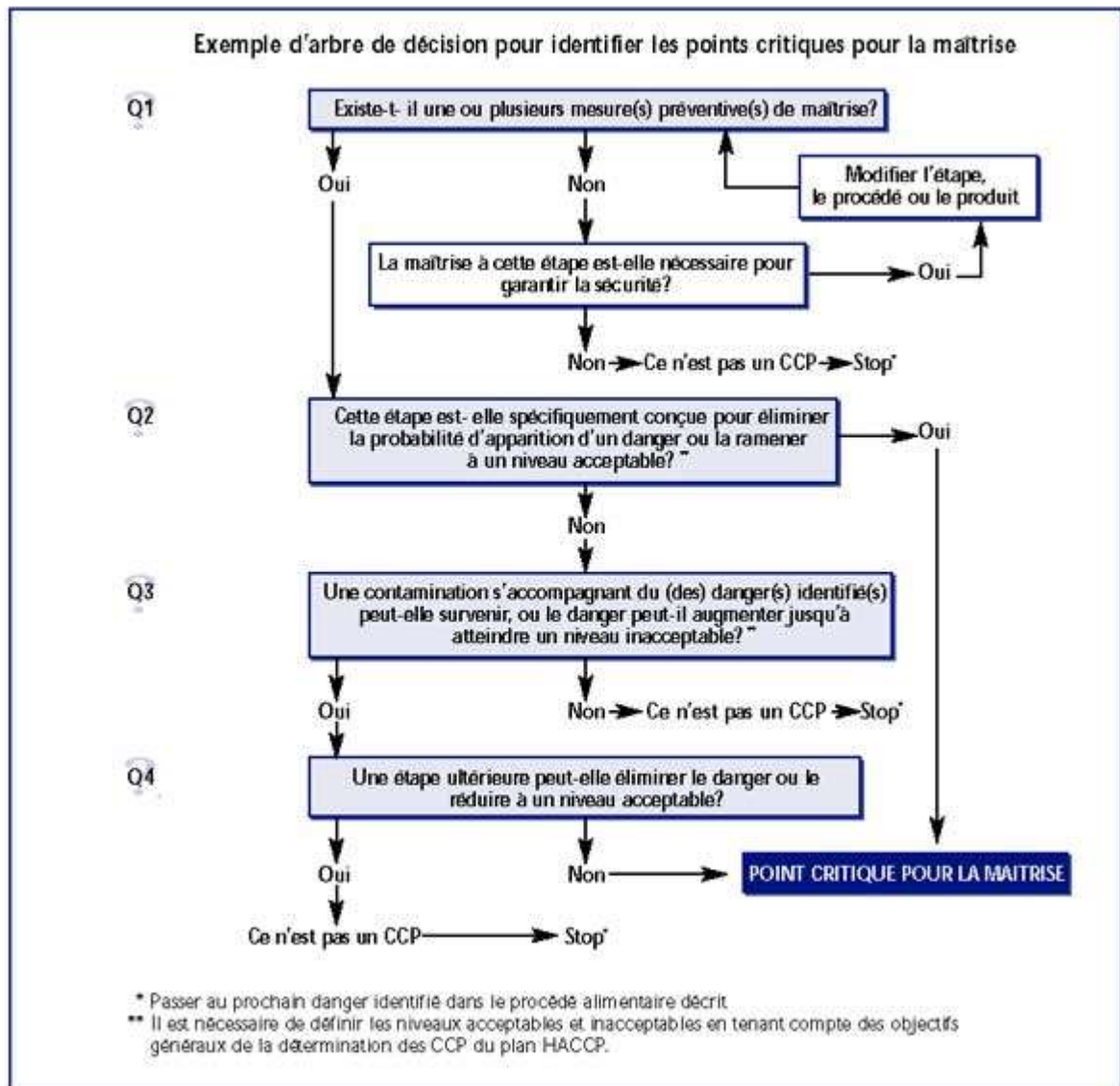


Figure 15 : Exemple d'arbre de décision HACCP (FAO, 2001)

La mise en place d'une démarche HACCP repose essentiellement sur le fait que l'entreprise possède déjà une certaine démarche qualité et qu'elle souhaite l'améliorer de façon ponctuelle mais surtout de façon systématique. Le respect des Bonnes Pratiques d'Hygiène

(BPH) et l'accessibilité pour tous les employés aux différentes procédures qualités existantes sont indispensables pour rendre pérennes les modifications apportées par la démarche HACCP.

Outre les CCP discutés précédemment, d'autres points sont à maîtriser pour garantir la qualité des produits, ce sont les CP. Ceux-ci sont des éléments importants à vérifier lors de la production mais n'engendrent pas de risque sur la santé du consommateur tandis que les CCP sont capitaux pour s'assurer de la sécurité. C'est pourquoi j'ai réalisé une liste des différents CCP et j'y ai intégré les CP les plus importants en brasserie pour essayer d'être le plus exhaustif possible. Toutefois, les CCP et CP suivants ont été identifiés en fonction du niveau d'automatisation présent au sein de la brasserie du Bouffay et ne sont pas nécessairement applicables à une autre brasserie.

3. Les CCP à la Brasserie du Bouffay

Tout d'abord sera détaillé la mise en place des principes de la démarche HACCP pour un des CCP identifiés à la Brasserie du Bouffay puis la liste des CCP identifiés sera dévoilée.

a. Exemple pratique de la mise en place de la démarche HACCP

Pour l'exemple de la mise en place de la démarche HACCP, j'ai choisi de détailler le CCP 3 correspondant à l'introduction de bris de verre dans les bouteilles lors du conditionnement en bouteilles.

- Il est possible de retrouver des bris de verre dans les bouteilles lorsque l'une d'elles casse. En effet, il arrive que des bouteilles en verre cassent lors d'une mauvaise manipulation ou lors du capsulage. La présence de verre dans une boisson à consommation directe est un danger majeur pour la santé du consommateur, il est donc impératif d'éliminer ce risque. Pour prévenir ce risque, il est important de vérifier le bon calibrage de la capsuleuse et de vérifier le bon état des bouteilles introduites dans la machine.
- La dépalettisation des bouteilles est cruciale, il n'y a aucune autre étape pour éliminer le risque d'explosion des bouteilles et c'est la seule étape où l'on peut l'identifier.

- Pour ce CCP, il faut vérifier la présence de défauts de verre sur les bouteilles pour savoir s'il y a un risque accru d'explosion de la bouteille. La présence d'un défaut dans le verre suffit pour éliminer la bouteille.
- La dépalettisation se faisant manuellement, il faut que la personne qui ait la charge de la dépalettisation prête attention aux bouteilles qu'elle introduit dans la machine. Pour limiter le risque, il est également nécessaire de vérifier le bon calibrage de la capsuleuse.
- Lorsque, malgré les mesures préventives, une explosion de bouteille survient, il convient d'éliminer l'ensemble des bouteilles non capsulées avoisinantes, de vérifier qu'il n'y ait pas de capsule bloquée dans la machine et de recalibrer la capsuleuse.
- La procédure pour les mesures préventives et les actions correctives à mettre en place pour éliminer le danger de l'introduction de bris de verre dans les bouteilles sont à la disposition de tous.
- Les apparitions de non-conformités sont notées avec la date et les mesures mises en place.

b. Liste des CCP identifiés

CCP1 : Lors de l'utilisation de bouteilles en verre à usage unique et non rincées par une rinceuse automatique, il est important de s'assurer qu'elles ne présentent pas de danger pour le consommateur, c'est-à-dire qu'il n'y ait pas de corps étranger dans les bouteilles et qu'il n'y ait pas de risques évidents de brisure des bouteilles (Didaxis, 2013). Pour ce faire, une mesure préventive serait de vérifier de façon périodique les bouteilles et d'éliminer les bouteilles sales ou qui présentent un risque de brisure lors du passage dans l'embouteilleuse. Noter le nombre de bouteilles non-conformes et le communiquer au fournisseur peut lui permettre d'augmenter la qualité de ces bouteilles.

CCP2 : La soutireuse doit être bien rincée après passage de produits nettoyants pour éviter toute introduction de contaminants chimiques dans la bière (Didaxis, 2013). Pour cela, il est important de vérifier la bière au voyant avant le démarrage de l'embouteillage. Autrement, il est impératif de bloquer le lot contaminé depuis le démarrage et de laisser couler en bière sur chaque tête de remplissage avant de redémarrer.

CCP3 : Un des risques majeurs de l'utilisation de bouteilles en verre est l'introduction involontaire de bris de verre dans les bouteilles à la suite d'une explosion de bouteille. Une procédure adéquate doit être mise en œuvre afin d'éliminer le risque de bris de verre dans les bouteilles : cela passe notamment par l'arrêt de la machine et l'élimination des bouteilles avoisinantes (Villanueva, 2005). Garder une traçabilité des casses bouteilles permet d'identifier les problèmes de façon plus précise et de les corriger plus efficacement. Systématiser ces procédures en cas de casse permettrait de limiter grandement les risques de bris de verre en bouteille.

CCP4 : Le respect de la conformité des cartons est essentielle. Cela se décline en plusieurs catégories : toutes les bouteilles doivent être remplies, elles doivent être capsulées et non cassées, les cartons doivent être correctement scotchés et datés (Didaxis, 2013). Il convient donc de vérifier l'état des bouteilles en amont de la cartonneuse et de vérifier la bonne fermeture des cartons ainsi que le datage. En cas de non-conformité, les bouteilles cassées doivent être éliminées, la cause de la casse identifiée et le scotchage doit être corrigé.

CCP5 : Le nettoyage des fûts est un CCP puisque des risques de contamination chimique sont à prévenir (Didaxis, 2013). En effet, les fûts sont d'abord nettoyés par de la soude pour éliminer tous les résidus organiques qui pourraient subsister dans les fûts, ils sont rincés puis désinfecter avec de l'acide peracétique, de nouveau rincer pour enfin être rempli de bière. Pour prévenir un mauvais rinçage des fûts, il est possible de faire passer un fût test sans remplissage en bière dans l'enfuteuse et de vérifier sa contenance pour déterminer si les rinçages sont bien suffisants. Ce genre de contrôle peut se faire à intervalles régulières pour plus de sûreté. En cas de contrôle positif aux contaminants chimiques, il convient de bloquer le lot depuis le dernier contrôle et de rechercher la cause du dysfonctionnement.

4. Les CP en production

CP1 : La température de l'entonnement doit être vérifiée et corrigée afin d'obtenir une température proche de la température de développement des levures. Le risque ici est d'avoir une mauvaise fermentation qui va prendre plus de temps, être incomplète ou, dans le pire des cas, qui ne démarrera pas. Pour cela, il faut mesurer la température en sortie d'échangeur et la corriger si nécessaire.

CP2 : Pour savoir comment évolue une bière et s'assurer de sa qualité, la prise de densité de façon journalière ou au moins tous les 2 jours permet de gérer au mieux les étapes de fermentation et de mise en froid. À l'aide de la densité initiale et la connaissance du degré d'alcool, il est possible d'estimer la densité finale de la bière. Une fois que la bière n'évolue plus en densité, la bière est à mettre en froid rapidement afin de favoriser la floculation et la sédimentation des levures mais également l'évolution des arômes tel que le diacétyl qui est absorbé par les levures lors de la garde (Krogerus et Gibson, 2013). De plus, une densité finale anormalement basse peut être le signe d'une contamination par des microorganismes, comme *Saccharomyces cerevisiae* var. *diastaticus*, capable de dégrader les sucres complexes, il est donc possible de détecter certaines contaminations microbiologiques par ce biais.

CP3 : Comme vu précédemment, les contaminations microbiologiques dans la bière sont limitées aux flores d'altération et n'engendrent donc pas de dangers pour la consommation. Il n'en reste pas moins important de vérifier la présence de contamination pour éviter le développement d'arômes indésirables. Pour cela, il est nécessaire de réaliser des analyses microbiologiques sur les bières en fermenteur ou en bouteille au moins pour les bactéries lactiques. En effet, comme le montre la Figure 16 les bactéries lactiques représentent la majorité des contaminants microbiologiques de la bière qui provoquent des altérations de goût sont dues à ce type de bactérie.

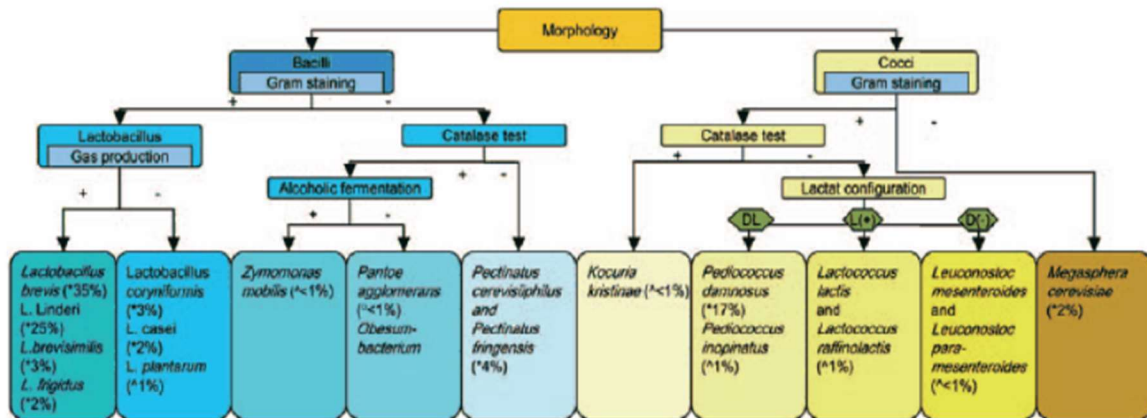


Figure 16 : Logigramme pour l'identification des bactéries d'altération dans la bière avec les pourcentages de contaminations par bactérie (Enilbio, 2014)

5. Le futur de la démarche qualité à la Brasserie du Bouffay

Pour continuer la mise en place de la démarche HACCP et rendre pérenne son utilisation, il reste quelques étapes à accomplir sur l'environnement dans lequel est produit la bière et sur l'investissement des employés.

Premièrement, un prérequis à la mise en place de la démarche HACCP est le respect des BPH, or nous avons vu en IV.1 que certains espaces communs n'étaient pas très bien nettoyés et que les possibilités de contamination et les dangers physique ou biologique étaient possibles.

Deuxièmement, il faudrait faire un test d'une à deux semaines en appliquant la démarche pour vérifier qu'elle ne présente pas de défauts de conception et qu'elle n'est pas trop contraignante pour les employés. En effet, le nombre d'employés étant assez faible pour la production actuelle de la brasserie (en comparaison avec d'autres brasseries artisanales), la mise en application de la démarche HACCP pourrait se révéler trop chronophage et ne pas être une solution viable.

Conclusion

La Brasserie du Bouffay, dans une volonté d'améliorer la tenue de mousse de ses bières, a voulu mener une étude sur les différents facteurs qui influence la stabilité de la mousse. Cette étude de la formation et du maintien de la mousse dans la bière a permis d'établir l'impact de deux points que le brasseur contrôle lors du brassage de la bière. La méthode de Constant est la méthode qui a permis de déterminer l'influence de ces points sur la tenue de mousse de la bière.

Le premier point qui a été étudié est l'impact du palier protéolytique lors de l'empâtage qui est couramment réalisé dans les bières de type blanche. L'étude qui a été menée sur ce point a invalidé un changement de recette pour une recette sans palier protéolytique.

Le deuxième point étudié est l'influence de l'utilisation de malts spéciaux qui favorisent la tenue de mousse par leur composition. L'étude s'est intéressée à la recette de l'Ambrée du Bouffay dans laquelle du malt Carahell® a été intégré à la recette. L'utilisation de ce malt a montré une amélioration de la tenue de mousse dans les quelques minutes qui suivent le service de la bière.

Dans un second temps, la Brasserie du Bouffay s'est engagée dans la mise en place d'une démarche HACCP dans l'optique d'améliorer la qualité de ses bières. Ont été exposés les CCP pour la Brasserie du Bouffay qui sont majoritairement transposables à n'importe quelle autre brasserie artisanale. En revanche, l'application de la démarche HACCP n'est pas à l'ordre du jour en raison de l'investissement en temps notamment qu'implique la démarche. Le projet de sa mise en place pourra cependant être repris lorsque les conditions auront évolué.

Bibliographie

- Amos industrie. Cuve inox 120l cylindro-conique 2.5 B. <https://www.amos-industrie.com/fr/cuves-conique-pression/106-cuve-inox-120l-cylindro-conique-25-b.html>
- Bamforth C. W., 1984. The foaming properties of beer. Journal of the Institute of Brewing. 91 (6), p. 370-383. doi : [10.1002/j.2050-0416.1985.tb04359.x](https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1985.tb04359.x)
- Brewpark, 2023. Rapport d'analyse de l'eau de brassage de la Brasserie du Bouffay. Réalisé à Cernay-lès-Reims le 15 juin 2023.
- Comment brasser sa bière (CBSB), 2023. Le houblonnage pour les nuls. <https://comment-brasser-sa-biere.fr/houblonnage/> (consulté le 05/09/2023)
- Didaxis group, 2010. Recommandation de mise en place de la méthode HACCP pour les petites brasseries françaises. Paris : 18 p.
- Englefield J., 2023. Nendo designs beer can with two pull tabs to “create an ideal foam”. <https://www.dezeen.com/2023/05/04/nendo-beer-can-two-pull-tabs/#> (consulté le 08/09)
- Enilbio, 2014. Guide d'aide pour la maîtrise du risque microbiologique en brasserie. <https://www.enil.fr/docs/r&d/GUIDE-METHODOLOGIQUE-Maitrise-du-risque-microbiologique.pdf> (consulté le 26/08/2023)
- Food and Agriculture Organization (FAO), 2001. Manuel de formation sur l'hygiène alimentaire et le Système d'analyse des risques - points critiques pour leur maîtrise (HACCP).
- Formation HACCP, 2021. Le plan HACCP en 12 étapes et 7 principes. <https://www.formation-haccp.com/plan-haccp/> (consulté le 29/08/2023)
- Gonzalez Viejo C., Torrico D. D., Dunshea F. R., Fuentes S., 2019. Bubbles, Foam Formation, Stability and Consumer Perception of Carbonated Drinks : A Review of Current, New and Emerging Technologies for Rapid Assessment and Control. Foods, 8 (12). doi : [10.3390/foods8120596](https://doi.org/10.3390/foods8120596)
- Janish S., 2014. How to prevent DMS in beer. <http://scottjanish.com/how-to-prevent-dms-in-beer/> (consulté le 05/09/2023)
- Krogerus K., Gibson B. R., 2013. 125th anniversary review : Diacetyl and its control during brewery fermentation. Journal of the Institute of Brewing ,119 (3), 86-97. doi : [10.1002/jib.84](https://doi.org/10.1002/jib.84)
- Kunze W., 2004. Technology brewing and malting. 3ème édition, Berlin : Versuchs- Und Lehranstalt für Brauerei in Berlin, 949 p.

- Larousse, 2023. Dictionnaire de Français.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais> (consulté le 11/09/2023)
- Moral L., 2022. Plan de saturation des bières chez Volcelest. Nantes : Oniris. Rapport de stage chargé de projet. 32 p.
- Rolland M., 2015. Comment réaliser un bon whirlpool / tourbillon ?
<https://www.happybeertime.com/blog/2015/09/27/le-whirlpool/> (consulté le 04/09/2023)
- Salager J-L. et Choplin L., 2008. Mousses – Formation, formulation et propriétés. Techniques de l'ingénieur. doi : [10.51257/a-v1-j2200](https://doi.org/10.51257/a-v1-j2200)
- Sowine et Dynata, 2022. La bière et les habitudes de consommation des Français. 19 p.
<https://sowine.com/barometre/barometre-2022/page-15/> (consulté le 08/09/2023)
- Sowine et Dynata, 2023. Les Français et les boissons alcoolisées. 12 p.
<https://sowine.com/barometre/barometre-2023/page-1/> (consulté le 08/09/2023)
- Tareb R., 2020. Le pain, un produit fermenté. Nantes, Oniris. Diaporama d'enseignement, UE 522, 20 p.
- Université des Sciences et Technologies de Lille (USTL), 2016. Polysaccharides alimentaires. https://biochim-agro.univ-lille.fr/polysaccharides/co/intro_ch1_III.html (consulté le 30/08/2023)
- Villanueva J., 2005. Mise en place de l'étude HACCP dans la brasserie. Nantes : ENITIAA (Mémoire assistant ingénieur, ENITIAA)

Table des illustrations et tableaux

Figure 1 : Organigramme social de la Brasserie du Bouffay	6
Figure 2 : Les bières en agriculture conventionnelle de la Brasserie du Bouffay.....	8
Figure 3 : Les bières en agriculture biologique de la Brasserie du Bouffay	9
Figure 4 : Echelle de couleur des bières en EBC	12
Figure 5 : Schéma de la gélatinisation de l'amidon	13
Figure 6 : Schéma de dégradation enzymatique de l'amidon (Kunze, 2004)	14
Figure 7 : Activité enzymatique des amylases en fonction de la température	15
Figure 8 : Schéma de whirlpool (Rolland, 2015).....	18
Figure 9 : Photo d'un fermenteur cylindro-conique (Amos industrie, 2023).....	20
Figure 10 : Cônes de houblon (Hopsteiner, 2016)	27
Figure 11 : Graphique comparatif entre les mousses des deux recettes de blanche.....	32
Figure 12 : Graphique comparatif entre les mousses des deux recettes d'ambrée.....	33
Figure 13 : Méthode dynamique de Bikerman (Salager et Choplin, 2008)	35
Figure 14 : Lg-Foamtester pour les mesures de stabilité de mousse (Kunze, 2004).....	36
Figure 15 : Exemple d'arbre de décision HACCP (FAO, 2001)	38
Figure 16 : Logigramme pour l'identification des bactéries d'altération dans la bière avec les pourcentages de contaminations par bactérie (Enilbio, 2014)	43
Tableau 1 : Tableau comparatif des différents produits de dégradation des protéines.....	17
Tableau 2 : Paliers d'empâtage pour les deux recettes de blanche.....	30
Tableau 3 : Différence entre les recettes de bières ambrées réalisées.....	31

Glossaire des termes techniques

Brassin : Ensemble des matières premières mises en œuvre dans la cuve-matière dans l'opération du brassage afin de fabriquer le moût. (Larousse, 2023)

Drêches : Résidu solide de l'orge qui a servi à faire de la bière. (Larousse, 2023)

EBC : Unité standard pour décrire la couleur d'une bière ou d'un malt.

Entonnement : Mise en fermenteur du moût de bière.

Mätsche : Mélange de mouture de malt et d'eau réalisé lors de l'empâtage. (Larousse, 2023)

Moussabilité : Capacité d'une solution à former de la mousse

Moût : Jus obtenu après filtration à partir de la mätsche. (Larousse, 2023)

Palatable : Se dit d'un aliment qui procure une sensation agréable lors de sa consommation. (Larousse, 2023)

Tourailage : Opération qui consiste à sécher et à aromatiser par l'air chaud le malt vert provenant de la germination. (Larousse, 2023)

Trub : Ensemble des particules solides en fin d'ébullition.

Whirlpool : Étape de séparation du trub et du moût. Se dit également de la cuve qui sert à réaliser cette étape.



Diplôme : Ingénieur Oniris

Agroalimentaire

Parcours personnalisé de l'approfondissement de 3^{ème} année :
Eureca - Formulation

Auteur : Loïc Moral

Structure d'accueil : Brasserie du Bouffay

Nombre de pages : 49

Adresse : 54 rue des Monceaux, 44470 Carquefou

Année de soutenance : 2023

Titre : Étude de la formation et de la stabilité de la mousse dans la bière / Mise en place de l'étude HACCP en brasserie

Title : Study of foam formation and stability in beer / Implementation of HACCP study in brewery

Résumé :

L'amélioration de la qualité des bières en brasserie peut être de deux ordres : l'amélioration des qualités organoleptiques de la bière ou une augmentation de la sécurité de la bière. La mousse dans la bière constitue un enjeu majeur pour les brasseries artisanales pour la satisfaction client et la conservation des arômes de la bière après service. De nombreux facteurs ont montré un impact sur la stabilité de la mousse de la bière avec cependant des contreparties sur d'autres caractéristiques de la bière. Les protéines de la bière exercent le rôle de tensioactif faisant d'elles les principaux responsables de la stabilité de la mousse dans la bière. C'est pourquoi cette étude s'est focalisée sur deux facteurs influençant les protéines de la bière : l'étude du palier protéolytique dans les bières ainsi que sur l'utilisation de malts spéciaux à fort taux protéiques. Les résultats de cette étude ont été obtenus à l'aide de la méthode de Constant. D'autre part, la mise en place d'une démarche HACCP permet d'identifier, d'évaluer et de maîtriser les dangers vis-à-vis de l'hygiène et de la sécurité des aliments. Les problématiques d'hygiène et notamment d'altération de la bière sont également des points d'intérêts pour l'amélioration de la qualité de la bière et leur maîtrise est d'autant plus nécessaire que les brasseries artisanales sont les plus touchées par les contaminations microbiennes.

Abstract :

Improving quality of beers in breweries comes from improving organoleptic qualities of beer or from an increase in the security of beer. Foam in beer is a major issue in micro-breweries to enhance the customer satisfaction and the preservation of aromas in beer after pouring. Many factors have demonstrated to impact stability of beer foam although with some downsides on other beer characteristics. Proteins from beer are the main component for foam stability in beer as they act as surfactants. This is why this study focused on two factors influencing either the quantity or the surfactant role of proteins in beer. The first factor is the proteolytic stage during mashing and the other one is the use of special malts with high protein content. The results of this study were obtained using the Constant method. On the other hand, there was the implementation of an HACCP study in the brewery. The objective of this study is to identify, evaluate and master the hazards regarding the hygiene and the security of food. Hygiene issues and alteration in beer are also important for beer quality as the microbreweries are the most vulnerable in the concern of microbial contaminations.

Mots-clés : Bière, Mousse, HACCP

Key Words : Beer, Foam, HACCP

