UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Licence En-Sciences et Techniques (LST)

TECHNIQUES D'ANALYSE ET CONTROLE DE QUALITE (TACQ)

PROJET DE FIN D'ETUDES

Réduction des émissions du gaz étranger dans la bière

Présenté par :

- BOUASSAMI Sabah

Encadré par :

- Mr LOUAJI Abdellah (Société)
- Pr.BOULAHNA Ahmed (FST – Fès)

Soutenu Le 8 Juin 2016 devant le jury composé de:

- Pr. EL ASRI Mohamed
- Pr. MELIANI Abdeslam
- Pr.BOULAHNA Ahmed

Stage effectué à société des brasseries du Maroc Fès (SBM)

Année Universitaire 2015 / 2016

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES
B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES
Ligne Directe : 212 (0)5 35 61 16 86 – Standard : 212 (0)5 35 60 82 14
Site web : http://www.fst-usmba.ac.ma

Dédicaces

Je dédie ce travail :

Ceux qui se dévouent sans cesse pour expliquer la voie et les immenses horizons du savoir et dont la vocation mérite largement nos respects.

A mes chers parents qui ont toujours été là pour moi tout au long de mes études et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A mes chères sœurs et mon frère pour leurs patiences et leurs soutiens qu'ils n'ont cessés d'apporter au cours de ma formation

A tous ceux qui me sont chers.

Remerciements

Élaborer ce rapport fut pour moi un honneur, le rédiger fut un plaisir.

Je tiens avant d'aborder le développement de ce rapport, à remercier en toute sincérité toute l'équipe pédagogique de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès et les intervenants professionnels responsables de la formation LST TACQ, en particulier : ***Pr EL ASRI Et Pr MELIANI*** qui m'ont fait l'honneur d'avoir accepté d'être les membres du jury de cette mémoire. Veuillez agréer l'expression de ma sincère reconnaissance et mon respect.

Je tiens à remercier ***Pr. BOULAHNA*** et ***Mr. LAOUJI*** pour leurs aides et leurs conseils concernant les missions évoquées dans ce rapport, qu'ils m'ont apporté lors des différents suivis, et pour leur orientation, leur disponibilité tout au long de la période de stage et durant la préparation à la soutenance.

Je tiens à remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'elles m'ont fait vivre durant ces six mois au sein de la Société des Brasseries du Nord Marocain du Fès :

- ***Mr. FILALI*** , le directeur de la région oriental qui m'a donné l'opportunité de passer ce stage au sein de la Société.
- ***Mr. LAOUJI***, le responsable de management qualité, laboratoire et production pour m'avoir soutenu, m'avoir facilité l'intégration dans sa section, m'avoir accordé toute sa confiance; pour le temps qu'il m'a consacré tout au long de cette période, sachant répondre à toutes mes interrogations.
- ***Mr. EL OUALGHI,*** le responsable ressources humaines pour m'avoir intégré rapidement au sein de la société.

Et je profite de cette occasion pour adresser mes vifs remerciements à Mme BENSLIMANE , Mr. KHALLA et Mr. BENAMAR les laborantins de SBM et l'ensemble du personnel pour leurs conseils, leurs esprits coopératifs et qui m'ont aidé à surpasser les difficultés rencontrées et à mieux profiter de mon stage.

Et finalement, je tiens à porter mes remerciements sincères à tous les membres de ma famille et tous mes amis qui m'ont aidé de près ou de loin pour arriver à ce stade.

Table de Matière

Dédicace

Remerciement

Introduction……...1

Première partie : Revue bibliographique……..2

I. Présentation de la société SBM…….3
- **1-** Historique de la société……...3
- **2-** Fiche d'identification ……4
- **3-** Organigramme de la région oriental…….....4

II. Généralités sur la bière……..5
- **1-** Définition……5
- **2-** ingrédients pour une bonne bière……5
  - a- Composition……..…..5
  - b- Substances indésirables..……6
  - c- La mousse……....7
  - d- Gushing ou giclage……..7
- **3-** Produit Fini……...8

Deuxième partie : Processus de fabrication de la bière ……9

I. Introduction……..10

II. Les étapes de fabrication ……..……10
- **1-** Maltage……....11
  - a- Trempage……11
  - b- Germination……11
  - c- Touraillage……...12
- **2-** Concassage……...……12
- **3-** Brassage……...……...12
  - a- L'empattage……13
  - b- Filtration et Lavage…….....13
  - c- Cuisson et houblonnage……...13
  - d- Clarification/Traitement du moût du moût……..14
- **4-** Fermentation……...……...…15
- **5-** Maturation /Garde…….....15
- **6-** Filtration……..15
- **7-** Conditionnement…….....16

Troisième partie : Réduction des émissions du gaz étranger dans la bière..17

I. Introduction……18

II. Origine de l'oxygène au niveau de la bière……18
- **1-** La bière et l'oxygène……...18
  - a- Fermentation…….....18
  - b- Filtration / Tank bière claire …….……..19
  - c- Soutirage……...19

2- La Stabilité colloïdale…….....20
a- La composition de trouble…….....20
b- Les facteurs responsables de la formation de trouble…….……..21
c- Les facteurs responsables d'oxydation de la bière …….…….21
III. Analyses effectuées sur la bière…….....22
1- Evolution du taux d'oxygène dissous au cours de la fabrication de la bière……..….23
a- Appareillage et méthode……..23
b- Mode opératoire……..….23
2- Résultats du suivi du taux d'oxygène……..24
3- Mesure de la Teneur en gaz étranger de la bière en bouteille…….25
a- Appareillage et méthode……..25
b- Mode opératoire……...25
4- Résultats de mesure du gaz étranger……26
5- Discussion des résultats ……..27
6- Techniques proposées pour réduire le taux d'oxydation de la bière et maintenir sa stabilité…….28
a- Stabilisant améliorant la stabilité colloïdale……....28
b- Prévention de l'oxygène……..…29
c- Prévention de la formation des troubles colloïdaux……29

CONCLUSION……30

Liste des abréviations

- **ISO** : **I**nternational **O**rganization of Standarization
- **HACCP** : **H**azard **A**nalysis **C**ritical **C**ontrol **P**oint
- **EAE** : **E**uro-**A**fricaine des **E**aux
- **EBC** : **E**uropean **B**rewery **C**onvention : unité de la turbidité et la couleur
- **EBU** : **E**uropean **B**itterness **U**nits : unité de l'amertume
- **°P** : degré plato: unité pour la densité
- **Da** : Dalton : unité de masse atomique
- **ppb** : Nombre de molécules du gaz par milliard (billion)
    - ppb = µg/l
- **ppm** : Nombre de molécules du gaz par million
    - ppm = mg/l

Liste des Figures

- **Figure 1 :** Organigramme de la SBM FÈS
- **Figure 2:** Cellules de levure Saccharomyces cerevisiae (Microscope optique *100)
- **Figure 3 :** Processus de fabrication de la bière
- **Figure 4 :** Maltage de l'orge
- **Figure 5 :** Cuve de matière à SBM Fès
- **Figure 6 :** Cuve d'ébullition à SBM Fès
- **Figure 7 *:*** Whirlpool à SBM Fès
- **Figure 8 *:*** Refroidissement du moût
- **Figure 9 *:*** Tanks cylindro-coniques
- **Figure 10 *:*** Filtre à Kieselghur
- **Figure 11 *:*** Les étapes de conditionnement
- **Figure 12*:*** Appareil de mesure du taux d'oxygène dissous dans la bière «Orbisphère»
- **Figure 13:** Taux d'oxygène au niveau de la cuve de Garde (26/04/2016)
- **Figure 14 :** Taux d'oxygène au niveau de tank bière claire (26/04/2016)
- **Figure 15 :** Taux d'oxygène au niveau d'entrée de la soutireuse (26/04/2016)
- **Figure 16 :** Appareil de mesure des gaz étrangers (headspace)
- **Figure 17 :** Agitateur
- **Figure 18 :** Variation du taux de gaz étrangers au niveau du produit fini pasteurisé

Liste des tableaux

- **Tableau 1 :** Teneurs tolérées des substances indésirables dans la bière en (mg/L)
- **Tableau 2 :** Les caractéristiques des bières fabriquées à SBM Fès.
- **Tableau 3 :** Valeur du gaz étranger au niveau du produit fini
- **Tableau 4:** Taux d'oxygène au niveau de la cuve de Garde n°13 (26/04/2016)
- **Tableau 5 :** Taux d'oxygène au niveau d'eau de coupage : cuve n°35 (26/04/2016)
- **Tableau 6 :** Taux d'oxygéne au niveau de tank bière claire n° 3 (26/04/2016)

Introduction

Dans le but d'intégrer la dimension « entreprise » dans notre cursus universitaire la Faculté des Sciences et Technique de Fès nous a permis, de passer un stage de durée de 6 semaines qui fait l'objet d'un projet de fin d'études de licence sciences et techniques, option techniques d'analyses chimiques et contrôle de qualité.

Ce stage est une opportunité bénéfique et indispensable pour mobiliser et mettre en pratique tous nos connaissances acquises le long de nos années estudiantines ainsi que d'acquérir des nouvelles connaissances que cela soit sur le plan professionnel que sur le plan des relations humaines.

C'est dans ce but, que j'ai effectuée mon stage au sein de laboratoire des analyses physico-chimiques et microbiologiques de la société industrielle « Brasseries du Maroc Fès ».

Le groupe Brasseries du Maroc a adopté dans sa stratégie globale une démarche qualité comme base d'amélioration continue. D'après des sondages internationaux, la bière est considérée comme la boisson la plus consommée dans le monde entier, elle est le fruit d'un processus si compliqué qu'on se demande comment elle a été inventée. Et pourtant, elle existe et cela, depuis fort longtemps.

La bière est riche en substances chimiques qui proviennent de différentes sources, principalement le malt, le houblon et la levure, ces composés ont un aspect de non stabilité durant le stockage de la bière en fonction du temps et en présence des gaz étrangers et plus précisément l'oxygène, cette non stabilité touche en particulier la flaveur et la couleur de la bière. Actuellement l'intérêt aux facteurs liés aux changements de l'arôme et le goût de la bière, sont considérés comme les paramètres les plus importants de la qualité du produit.

Le vieillissement de la bière est un phénomène très complexe. Ainsi la complexité des réactions du vieillissement et leurs interdépendances rend l'étude de la stabilité de la bière très délicate.

Dans le présent travail, je m'emploierai dans un premier temps à présenter la société des brasseries du Maroc en cernant tous les aspects de la société d'un point de vue général et organisationnel, je présenterai des généralités sur la bière; son historique, ses ingrédients, sa composition chimique, ses différentes propriétés et caractéristiques.

Dans un second temps, et dans une partie théorique, j'exposerai les différentes étapes de fabrication.

La troisième partie portera la réduction des émissions du gaz étranger, notamment l'oxygène sur la bière théoriquement et les missions que j'ai réalisées et la méthodologie employée pour effectuer chacune de ces missions qui ont pour objectif la mise en évidence de cet impact expérimentalement, ainsi que les résultats détaillés de ces dernières et les techniques proposées pour lutter contre les effets défavorables sur la qualité de la bière.

Première partie

Revue Bibliographique

I. *Présentation de la société*

1-Historique de la société :

- **1919 :** Création de la société des brasseries du Maroc, exerçant son activité dans le domaine de la fabrication et la vente de la bière et des boissons gazeuses.
- **1947 :** Création de la filiale (Société des brasseries du Maroc) SBM Fès **.**
- **1974 :** Marocanisation de SBM par la société marocaine d'investissement (SMI).
- **1979 :** Obtention de la licence Heineken par SBM.
- **1982 :** Arrêt de la production de la boisson gazeuse.
- **1990 :** Arrêt de la production de Heineken.
- **1998 :** Abandon de l'activité de la boisson gazeuse et arrêt du site de Meknès.
- **Avril 2001 :** Certification ISO 9002 version 1994.
- **Juin 2002 :** Certification HACCP. • Mai 2003 : Certification ISO 9001 version 2000.
- **Juin 2003 :** Acquisition du groupe de brasseries du Maroc par le groupe français CASTEL.
- **Novembre 2004** : Transfert du siège social à une plus grande implantation équipée d'une nouvelle usine avec moyens sophistiqués.
- **Septembre 2005 :** Certification de suivi, suit au déménagement à la nouvelle usine.
- **2007 :** Importation et commercialisation de l'eau minérale Cristaline.
- **2010 :** Acquisition de la société Euro-africaine des eaux (EAE) qui exploite la source de Ben Smim et lancement de la nouvelle eau de source baptisée Ain Ifrane Inauguration de l'usine de trituration d'huile d'olive.
- **2011 :** Démarrage de la commercialisation de l'huile d'olive.
- **2012 :** Arrêt de la ligne d'embouteillage de la marque Fayrouz.

2-Fiche d'identification :

- **Raison sociale** Brasserie du Nord Marocain.
- **Statut juridique** Société anonyme (S.A).
- **Adresse** Rue Ibn El khateb Sidi BrahQuartier industriel FES BP : 2100
- **Surface totale** 30 500 m².
- **Capital social** 50 000 000 dh.
- **Actionnariat** Société des brasseries du Maroc et autres
- **Date de mise en service** 1947.
- **Effectifs** 151 personnes.
- **Capacité de production** 200 000 HL/an.

-Domaine d'activité :

- La SBM Fès renferme la fabrication et le conditionnement de quatre type de bière : FlagSpéciale ,Stork, Flag Pils et "33" Export.
- La Distribution des produitsEAE & SBM.

-Surface de certification :

Comprend les achats, la fabrication, le conditionnement, le stockage et la commercialisation.

- **ISO 9001**Version 2015
- **ISO 22000** Version 2005

3-Organigramme de la SBM Fès :

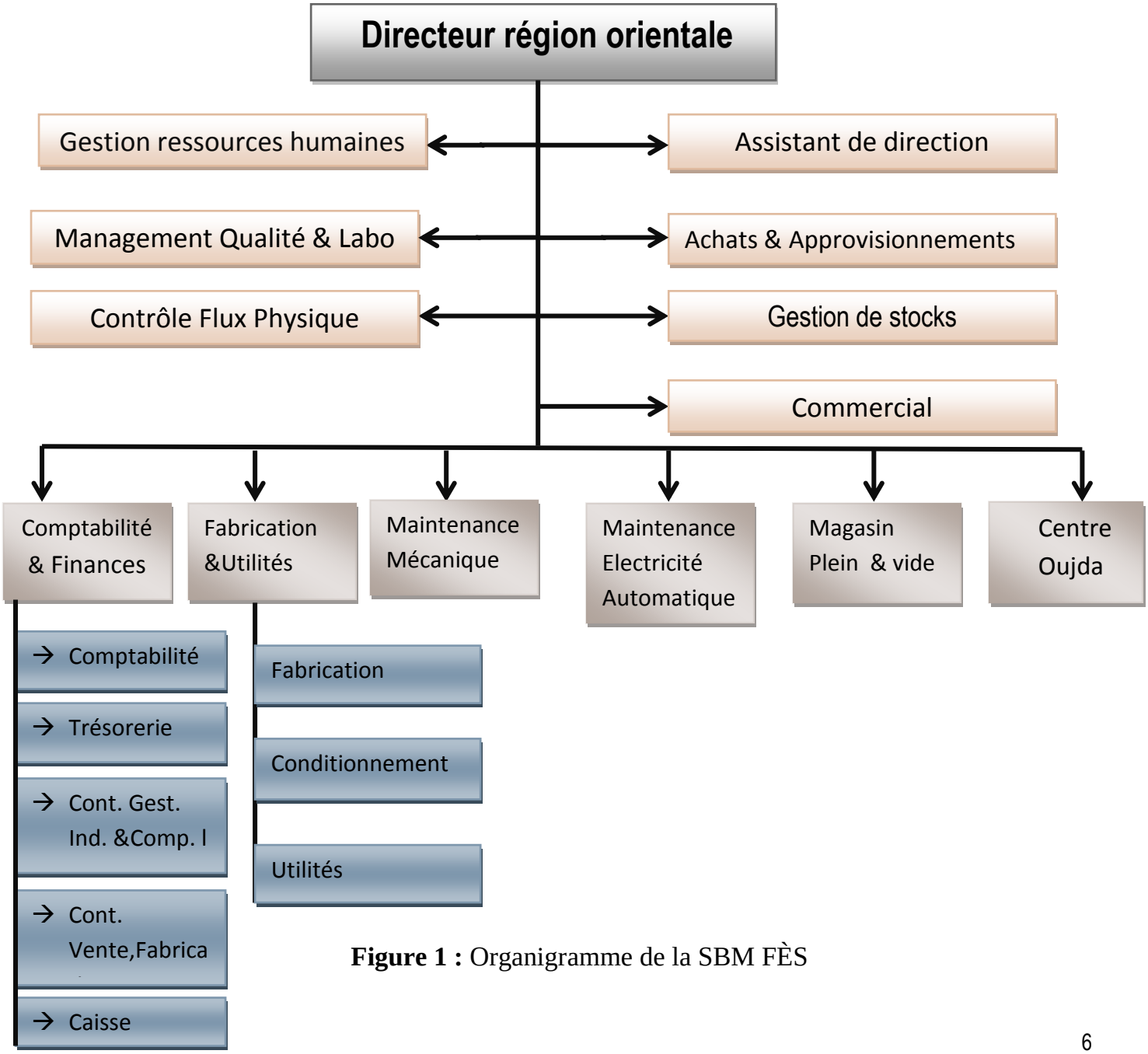


Figure 1 : Organigramme de la SBM FÈS

I. Généralités sur la bière

1- Définition :

La bière est l'un des breuvages les plus ancienne, fermentée légèrement alcoolisée, préparée à partir des céréales germées, principalement de l'orge (céréale la plus riche en Amidon) et parfumée avec du Houblon.

2- Les ingrédients pour une bonne bière :

a- Composition :

La bière contient 2 à 14% d'alcool, du gaz carbonique et des sucres en quantités variables. Elle est préparée dans les brasseries [1] à partir des matières premières suivantes :

L'orge : Cette céréale très riche en amidon est le principal ingrédient de la bière qui nécessite une transformation en malt pour la production des enzymes nécessaires à la transformation de l'amidon en sucres fermentescibles.

D'autres céréales sont également utilisées dans la fabrication la bière telles que : l'avoine, le maïs, le froment et

Le houblon : « Humulus lupulus » est une plante vivace de la famille des cannabinacées. La plante d'houblon contient :

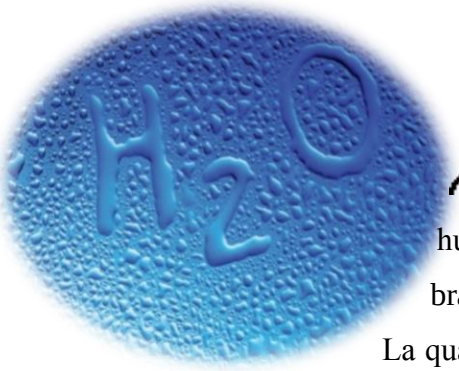
* Des résines : responsables de l'amertume et possèdent des propriétés bactériostatiques.

* Des huiles essentielles: responsables de l'arôme (terpènes, sesquiterpènes, aldéhydes alcools, composés soufrés).

* Des folioles contiennent des tannins utiles.

Le houblon, se présente en brasserie, sous forme de cônes mais aussi de pellets (petits cylindres verts), ou en poudres on distingue 2 sortes :

- Aromatiques: apportant l'amertume à la bière.
- Amérisant: apportant le parfum et l'arôme à la bière.



L'eau : est omniprésente à tous les stades de la fabrication de la bière, humidifiant les grains d'orge, qui se transforment en malt, indispensable au brassage.

La qualité de l'eau de brassage est essentielle pour la clarté et le goût de la bière.

La pureté de l'eau destinée au brassage permet de produire une bière débarrassée de toute infection tandis que sa dureté ou sa douceur aidera à déterminer le goût en bouche de la bière finie.
A SBM Fès, le traitement de l'eau est considéré comme une étape essentielle de la fabrication de la bière, dès que l'eau arrive de la RADEEF, elle subit un adoucissement pour diminuer sa dureté totale; par un adoucisseur manuel pour l'eau de rinçage, lavage et pasteurisation, et par un adoucisseur automatique pour l'eau de brassage qui subit ensuite une déchloration sur charbon actif.

- **La levure** : transforme les sucres du moût en alcool et en gaz carbonique, dans les brasseries deux sortes de levures sont principalement utilisées dans la fabrication de la bière : la ***Saccharomyces cerevisiae*** et la ***Sacharomyces carlsbergensis***

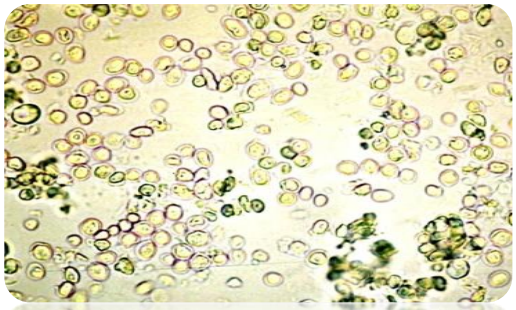


Figure 2: Cellules de levure Saccharomyces cerevisiae (Microscope optique *100)

b- Substances indésirables :

La présence de certaines substances indésirables dans la bière peut nuire à sa qualité, parmi ces dernières, on trouve [2] :

Tableau 1 : Teneurs tolérées des substances indésirables dans la bière en (mg/L)

Substances	Teneur tolérée (mg/L)	Description
Carbamate	0,01 – 0,02	✦ Ce composé a plusieurs origines mais il est surtout rencontré dans les boissons fortement alcoolisées, sa toxicité réside dans la possibilité de se métaboliser en produits cancérogènes.
Arsenic	0,2	✦ La source majeure est le chauffage des tourailles avec l'anthracite, ou les produits de traitement du houblon et les impuretés dans le kieselguhr. ✦ L'arsenic, diminue la respiration cellulaire, ce qui peut conduire à l'hémolyse et à des lésions possibles des reins et du foie.
Plomb	0,2	✦ Ce composé peut être amené par l'eau, ou par les anciennes conduites en plomb, ou du kieselguhr impur.
Nitrates	10	✦ Les principales sources sont l'eau et les matières amères, pour éviter les problèmes liés à leur présence dans la bière, il faut contrôler l'eau de brassage

c- La mousse :

La qualité et la quantité de mousse de la bière sont des phénomènes encore largement subis par le brasseur. Une bière qui ne possède pas une mousse stable et adhérente est déclassée par le consommateur.

Les aspects physiques de la mousse intègrent les principaux phénomènes suivants :

- Formation de bulles au moment du versement de la bière qui sont dues à la sursaturation de la bière en CO_2 après échappement de la pression.
- Diffusion gazeuse entre les bulles causée par la différence de pression de gaz entre les bulles (le gaz migre des petites bulles vers les grosses) .
- Coalescence de la mousse lorsqu'il y a fusion de deux bulles causée par la rupture du film entre les deux : la mousse disparaît petit à petit.

La bière contient naturellement des facteurs qui allongent ou limitent la durée de vie de la mousse.

- Les facteurs mousse-positifs sont:

Les polypeptides, les glycoprotéines de la levure, l'éthanol, l'anhydride carbonique, les mélanoïdines.

La présence de protéines de poids moléculaire compris entre 12 000 et 30 000 Da est donc essentielle pour la formation de la mousse.

- Les facteurs mousse-négatifs sont en revanche :

Les lipides (mono, di et triglycérides, phospholipides), les acides gras libres, les protéases de la levure.

Il faut donc diminuer le taux de lipides, en particulier en agissant sur la filtration de la maîsche (mélange des grains concassés et d'eau).

d- Gushing ou giclage :

Le giclage est un phénomène qui se présente au moment de l'ouverture de la bouteille ou la bière déborde ± fortement.

Les substances responsables de gushing sont produites à partir de plusieurs souches de moisissures : Fusarium, Aspergillus, Penicillium…

D'autres facteurs pouvant induire le gushing de la bière :

- Certains métaux : fer, nickel, étain,
- L'oxalate de calcium,
- Certains extraits d'houblon isomérisés

Pour éviter le gushing, plusieurs mesures peuvent être prises :

- Sécher les orges (avoir un taux d'humidité qui ne dépasse pas12%).
- Maintenir une bonne hygiène durant le processus de fabrication.
- Eviter des températures élevées au cours de touraillage et de germination.

3- Produit Fini :

Tableau 2 : Les caractéristiques des bières fabriquées à SBM Fès

Types / Caractéristiques	Flag Spéciale	"33" Export	Flag Pils	Stork
Extrait primitif (°P)	**11.8±0.2**		**10.6±0.2**	
Turbidité (EBC)	**<0.8**			
Amertume (EBU)	**16-18**		**15-17**	
Couleur (EBC)	**7±1EBC**	**8±1EBC**	**7±1**	
Taux d'alcool (g/l)	**4±0.2**		**3.6±0.2**	
pH	**4.25-5.55**			
Volume (cl)	**24**		**33**	

Deuxiéme partie

Processus de fabrication de la bière

I. Introduction

La bière est le produit de la fermentation d'un moût de bière, liquide et sucré. Les meilleures qualités d'orges, de malt et de houblon sont importées, transportés et transformés dans des unités de production ultra modernes. L'absolu respect des normes de qualité et de goût assure aux bières une qualité constante et leur permet de répondre aux exigences des marches Export [6].

Les différentes étapes de fabrication de la bière :

- ✓ Le maltage : l'orge devient malt
- ✓ Le brassage : le malt devient moût
- ✓ La fermentation : la transformation du sucre en alcool
- ✓ La garde

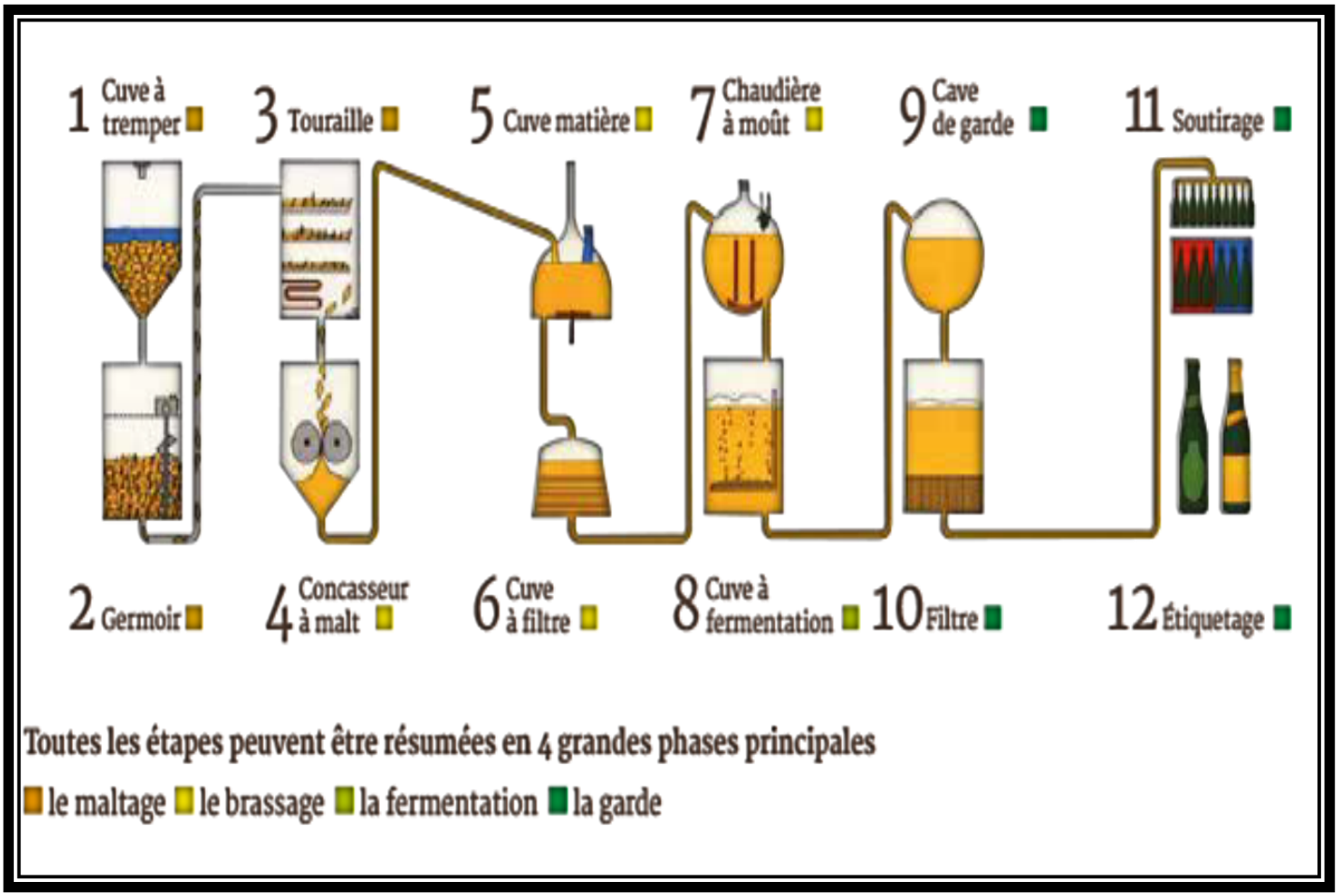


Figure 3 : Processus de fabrication de la bière

II. *Les étapes de fabrication*

1- Maltage :

C'est la seule opération qui s'effectue à l'extérieure de la SBM Fès, c'est un malt exporté. Le maltage a pour but de développer dans l'orge toutes les enzymes capables de transformer l'amidon en sucres fermentescibles.

On lui fournit de l'oxygène par un système d'aération et le grain aéré libère de l'eau et de la chaleur qui doit être évacués car ils pourraient entraver le vieillissement du grain.

Le maltage se fait en 4 étapes : trempage, germination, touraillage et dégermage.

Figure 4 : Maltage de l'orge

a- Trempage :

Les grains d'orge sont tout d'abord nettoyés et trié selon leur calibre, puis ils subissent le processus de « Trempe » dans des silos (action de plonger les grains dans l'eau durant 3 à 5 jours).

Le but de cette étape et de fournir à l'orge toute l'eau et l'oxygène nécessaire pour la germination.

b- Germination :

L'orge trempée est placée dans des germoirs à une température de 12 à 15°C environ 5 à 7 jours. L'orge subit alors une germination limitée et contrôlée. Il est nécessaire de tourner l'orge sans cesse, afin qu'elle ne forme pas une masse compacte.

c- Touraillage :

Lorsque la germination de l'orge est suffisante, elle est arrêtée par le **« touraillage »**durant lequel le malt vert est séché par soufflage d'air chaud. Le touraillage confère au malt son arôme et sa couleur. Plus la température sera élevée, plus la couleur du malt sera marquée :

- Malt pâle pour les bières blondes
- Malt caramel pour les bières rousses
- Malt ambré pour les bières brunes

d- Dégermage

Le but de dégermage est d'enlever les radicelles, qui seront destinées à l'alimentation animale.

2- Concassage :

Le but de cette opération est de faire éclater les grains de malt, en évitant de faire de la farine. Les enveloppes des grains doivent rester entières, afin de constituer un lit filtrant pour l'opération de filtration. Toutefois, les particules internes doivent être assez fines pour offrir un maximum de surface d'attaque aux enzymes.

A la SBM Fès, on utilise des moulins à 5 cylindres pour donner une mouture à 5 fractions différentes du malt : enveloppes, gros gruaux, petits gruaux, farine et fine farine. L'élimination des particules étrangères qui peuvent endommager les cylindres du moulin se fait à l'aide d'un aiment. Ces fractions sont adaptées au filtre presse utilisé lors du brassage, et donne une meilleure filtration.

3- Brassage :

L'objectif du brassage est d'obtenir une meilleure extraction solide-liquide et solubiliser la plus grande quantité de matières hydrolysables du malt et des grains crus appelés extrait, sans oublier la création des conditions favorables pour les enzymes telles que les amylases, maltase, et protéinases ayant la possibilité de rendre le mout fermentescible par la levure.

Plusieurs facteurs influencent la qualité et le rendement de brassage : la qualité du malt, la composition de l'eau de brassage, le rapport eau/ versement, le pH de la maïsche, le diagramme de la température de la cuve matière et de la chaudière à trempe (cuve ébullition), l'efficacité de l'agitation (effet de cisaillement) etc.

- Le brassage comprend les étapes suivantes :
  - L'empattage.
  - La filtration.
  - La cuisson et houblonnage.
  - La clarification/traitement du moût.

a- L'empattage :

Cette opération a pour but la transformation de l'amidon des grains du malt en sucres fermentescibles, cette transformation s'effectue en favorisant l'action enzymatique du malt, en procurant à chaque enzyme les meilleures conditions de températures et d'acidité pour son action spécifique.

Figure 5: ***Cuve de matière à SBM Fès***

La salle de brassage à SBM Fès est équipée d'une cuve matière où se déroule l'empattage selon plusieurs étapes :

- La 1ère étape consiste à mélanger le malt avec 2 à 3 fois son volume d'eau chaude (maische). L'empattage se fait avec une maische concentrée à 58°C pour tenir compte des enzymes protéolytiques. Avec un ajout d'acide chlorhydrique 33%, un mélange d'enzymes « filtrasses » chlorure de calcium ($CaCl_2$) pour enrichir la bière en calcium, et le chlorure de zinc ($ZnCl_2$) qui joue un rôle à l'activation de la levure.
- La 2ème étape consiste à l'augmentation de la température à 63-65 °C pour avoir une activité optimale des β-amylases.
- La 3ème opération se déroule à 76 °C ; température d'activité optimale des α-amylases pour atteindre la saccharification.

b- Filtration et Lavage :

La salle de brassage à SBM Fès est équipée d'un filtre presse, dans lequel la partie liquide se délie de la partie plus ou moins solide (également appelée la drèche). Cette drèche est ensuite utilisé comme aliment pour les bétails.

Les objectifs attendus par cette opération sont :

- Obtenir un moût composé de premier bouillon et des lavages avec un extrait maximum.
- Avoir un moût avec une faible turbidité.

c- Cuisson et houblonnage :

Le moût filtré est transvasé dans une cuve appelée cuve d'ébullition où il est porté à l'ébullition (100°C) pendant 90 min. On ajoute le houblon afin de donner à la bière son goût amer et ses arômes.

Figure 6: Cuve d'ébullition à SBM Fès

Les objectifs de l'ébullition sont multiples et toutes les opérations se déroulent simultanément dans la chaudière à houblonner :

- Désactivation des enzymes.
- Stérilisation du moût.
- Concentration du moût.
- Elimination des volatils nuisibles à la flaveur de la bière.
- L'inhibition du développement des bactéries qui pourraient interférer avec la levure lors de la fermentation.

d- Clarification /Traitement du moût :

Le but du traitement du moût est d'obtenir un moût froid, stérile, aéré, libéré du trouble chaud et ne contenant qu'une partie du trouble de froid.

Pour obtenir un moût libéré du trouble, du houblon et des substances non dissoutes, le moût sorti de la cuve d'ébullition est pompé dans un bac tourbillonnaire appelé Whirlpool, ce dernier est fabriqué en acier inoxydable et possède une forme cylindrique. La vitesse d'entrée du moût est de 13m/s, et l'entrée se situe en général au premier tiers de la hauteur totale.

Le moût tourne avec une grande vitesse créant un cyclone permettant la décantation des particules en suspension dans le Whirlpool pour former un cône.

Le temps de séjour du moût dans le Whirlpool varie entre 20-30 min avant le début de refroidissement.

Figure 7: ***Whirlpool à SBM Fès***

Le soutirage du moût doit être effectué à un tiers du bas du Whirlpool pour éviter l'entraînement du trouble.

Le moût est pompé du Whirlpool vers l'échangeur de chaleur à contre-courant.

Le refroidissement est assuré par l'eau alcoolisée selon le schéma suivant :

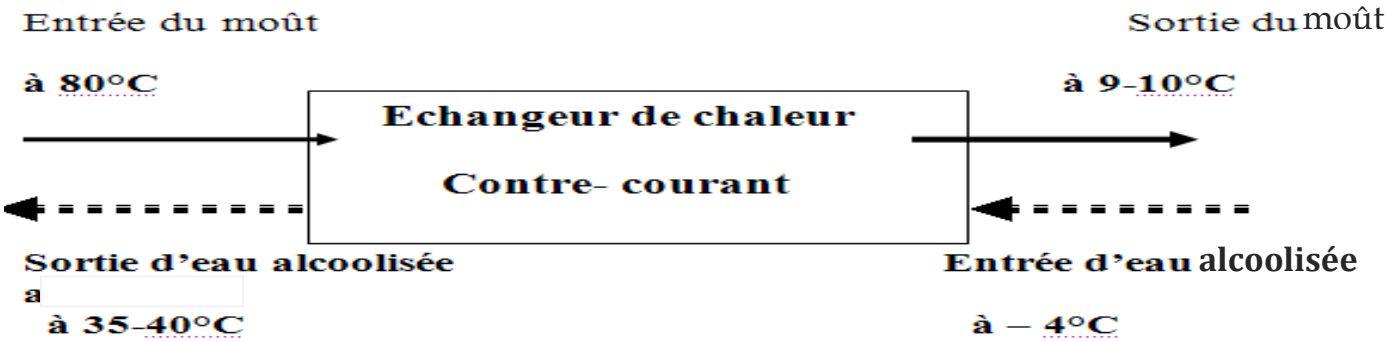


Figure 8 : Refroidissement du moût

4- Fermentation :

La fermentation a pour but la transformation des sucres fermentescibles en alcool avec de CO_2 ainsi une petite quantité d'énergie.

$$C_6H_{12}O_6 + \text{LEVURE} \rightarrow 2\,C_2H_5OH + 2CO_2 + \text{ENERGIE}$$

SBM Fès possède une fermentation contenant :

- Un refroidisseur.
- 11 fermenteurs.
- 3 levuriers.
- Filtre à piques (filtre à kieselguhr).
- 3 Tanks bière claire.

Figure 9: ***Tanks cylindro-coniques***

5- Maturation/Garde :

C'est une étape de maturation pendant laquelle la bière subit dans les tanks fermés une seconde fermentation qui lui permet de s'affiner et de s'équilibrer; sucres et levures continuent de réagir, tout en produisant du gaz carbonique et la bière prend tous ses arômes. C'est également durant la garde que la bière va se clarifier et acquérir naturellement de la brillance.

6- Filtration:

La filtration est une opération nécessaire pour éliminer la levure et les particules colloïdales et pour donner à la bière la limpidité et la brillance recherchées. Après la filtration, la saturation avec CO_2 se fait au moyen d'appareils appelés saturateurs.

A SBM Fès la filtration est réalisée par un filtre à Kieselghur.

Le Kieselghur ameublit la texture et augmente la surface interne de la couche filtrante.

Figure 10: ***Filtre à Kieselghur***

7- Conditionnement :

A SBM Fès, on trouve une ligne d'embouteillage automatisée qui travaille à une cadence de 30 000 bouteilles/h [3].

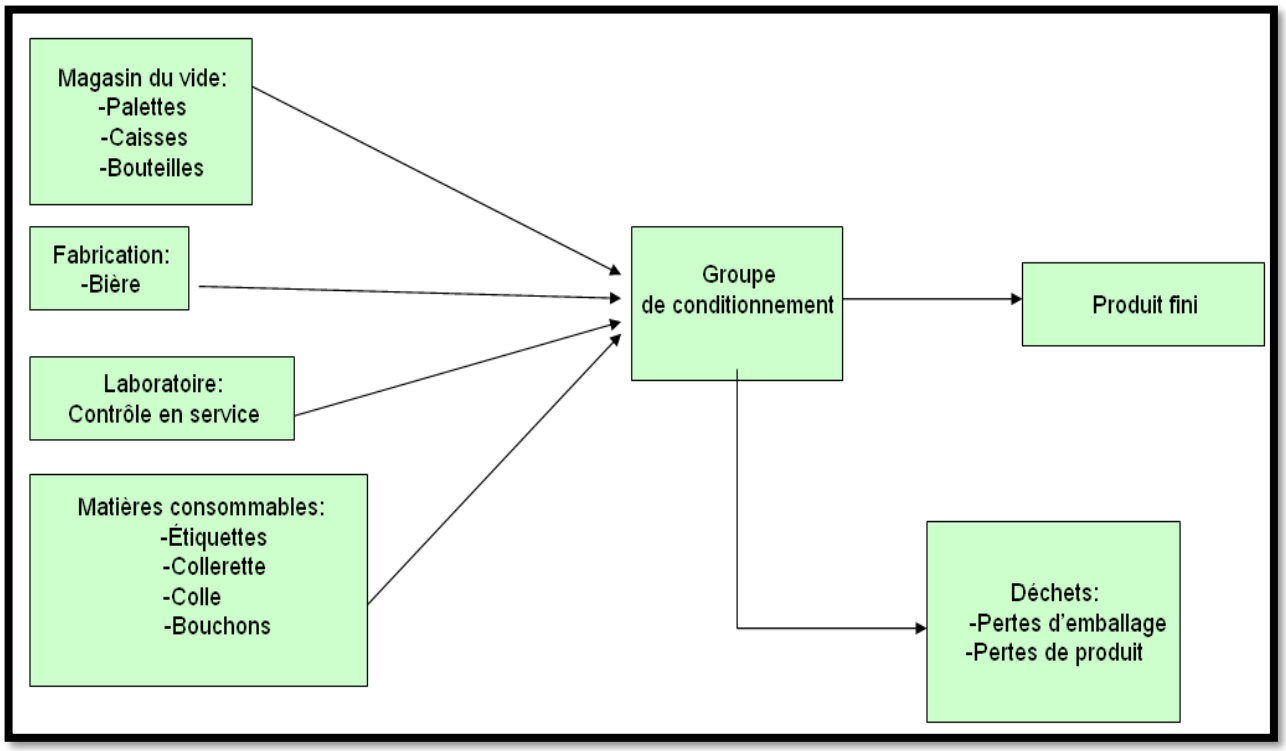


Figure 11 : Les étapes de conditionnement

Les étapes de l'embouteillage à SBM Fès sont :

- ***L'avant soutirage : (laver - contrôler).***

  Réception des bouteilles vides provenant des verriers (verre perdu) ou du circuit de distribution (verre consigné). Les bouteilles sont lavées et un contrôle au laser est effectué pour la propreté.

- ***Le soutirage : (pas d'oxygène).***

  La bière arrive des T.B.F (Tank de Bière Filtrée) à une température proche de 0 °C. En fin de remplissage, un filet d'eau à haute pression va faire mousser le produit de façon à évacuer l'air résiduel dans le col de la bouteille avant qu'elle ne soit bouchée par capsulage.

- ***La pasteurisation : (conservation prolongée).***

  Elle permet de détruire les éventuelles levures qui se seraient 'glissées' au travers du filtre et qui peuvent troubler la bière. Environ 15 UP (1 UP = 1 minute à 60° C) sont nécessaires pour effectuer cette opération qui se fait par un passage dans un tunnel.

- ***L'étiquetage : (l'habit de la bouteille et l'identité du produit).***

  L'habillage de la bouteille comporte une étiquette, une contre étiquette et une collerette.

  La mention de la date de soutirage et le groupe est inscrite au rayon laser sur l'étiquette.

- ***L'emballage : (séduction et praticité).***

  Les bouteilles consignées sont remises dans des caisses qui sont également lavées.

  Les bouteilles perdues sont regroupées en packs, lesquels sont regroupés en fardeaux ou en cartons. Enfin, le tout est palettisé et rejoint le stock des produits finis dans l'attente d'être chargé.

Troisième Partie

Réduction Des émission Du gaz étranger Dans la bière

I. Introduction

L'oxygène est un véritable casse-tête pour les brasseurs. La moindre quantité introduite au mauvais moment entraîne l'oxydation. Et pourtant, l'oxygène est un élément essentiel du processus de fermentation, qui se fait en anaérobiose (absence d'oxygène), et sa présence dans la bière peut provoquer des dégâts au niveau de la qualité par oxydation de certaines substances. Le produit fini connait un problème persistant exprimé par une défaillance au cours de sa production présentée par un taux élevé des gaz étrangers qui dépasse 1ml/l. les gaz étrangers sont des gaz présents dans l'air sauf le dioxyde de carbone qui entre dans la préparation de la bière.

L'utilisation d'outils adaptés à la surveillance et la mesure de l'oxygène du début à la fin de ce processus permet de garantir un goût parfait et de conserver les boissons en rayon plus longtemps.

II. Origine de l'oxygène au niveau de la bière

1- La bière et l'oxygène :

L'oxygène est un gaz indispensable à la vie, mais sa présence dans la bière peut se nuire à la qualité organoleptique pendant les étapes critiques (Fermentation, Filtration et soutirage) de la fabrication de la bière.

L'oxydation qui signifiait à l'origine la fixation d'O_2 sur un corps ou liaison .Sa présence dans la bière peut être due aux désoxygénations et d'altération ou enfin à un contact fortuit entre la bière et O_2 de l'air.

Dans cette partie, on va traiter l'impact de l'oxygène sur la qualité de la bière pendant les 3 étapes critiques (fermentation, filtration et soutirage) de la fabrication de la bière.

a- Fermentation :

La fermentation alcoolique nécessite l'adjonction de levure dans le moût, ce micro-organisme a besoin de l'oxygène pour sa multiplication afin d'atteindre un maximum de population, celle-ci dégrade les glucides par un métabolisme fermentatif qui conduit à la formation d'éthanol et de CO_2.

L'oxygène est injecté dans la ligne de moût à une pression totale allant jusqu'à 4 bar. La proportion de moût et d'O_2 est maintenue constante pendant la période de remplissage. Le débit volumétrique de ces deux composants est contrôlé avec des débitmètres.

La majorité des brasseries oxygène le moût à froid. Car une oxygénation du moût à chaud provoque une oxydation et contribue à des faux-goût dans la bière (goût d'ail).

a- Filtration / Tank bière claire :

L'oxygène dissous dans la bière lors de la filtration:

- Altère : le goût, l'arôme et la couleur
- Détruit les vitamines.
- Peut être à l'origine des troubles colloïdaux
- Favorise la croissance de microorganismes éventuellement présents.

Pendant la filtration, la dissolution de l'oxygène, dans la bière, dépend de la quantité d'O_2 qui se trouve au niveau du filtre et pendant l'alluvionnage.

L'oxygène réagit lentement dans la bière afin de se transformer en radicaux libres qui jouent un rôle prédominant dans la détérioration du goût de la bière. Ces radicaux oxydent plusieurs composés organiques tels que les isohumulones, les alcools, les polyphénols, les sucres et les composés carbonyles qui contribuent principalement à la flaveur oxydée de la bière.

Cette formation des radicaux libres est catalysée en présence d'ions métalliques ferreux à une concentration >50 µg/L et de cuivre à plus haute concentration > 100 µg/L.

Concernant le tank de la bière claire, l'absorption de l'oxygène lors du remplissage dépend de l'usage de déflecteur qui est placé devant l'orifice d'entrée et de la quantité résiduelle d'oxygène dans les tanks. La présence d'oxygène pendant la filtration et le stockage de la bière est indésirable.

b- Soutirage :

Le soutirage est la plus grande source d'oxydation de la bière. Pendant le remplissage, la bière entre en contact avec l'air qui reste dans les bouteilles. Si on laisse de l'air dans le col des bouteilles, l'oxygène va progressivement s'y dissoudre après le soutirage. Cette oxydation va avoir des conséquences très néfastes sur la qualité à savoir :

- Le goût et le parfum vont devenir déplaisants, car les matières amères du houblon ainsi que les tanins prennent un goût acre en s'oxydant. Les matières volatiles qui donnent le parfum comportent des composés facilement oxydables, qui perdent ainsi la finesse et se transforment même en odeurs désagréables lorsqu'ils s'oxydent.
- La stabilité colloïdale de la bière va diminuer fortement si on oxyde les matières azotées qui sont les causes premières des troubles colloïdaux.

Notons que la teneur en oxygène dissous d'une bière normalement soutirée est généralement inférieure à 0,5 mg/l. Etant donné que 1 ml d'air contient environ 0,3 mg d'oxygène par litre, une bouteille de 1/3 litre avec 1 ml d'air dans le col représente donc déjà 0,9 mg d'oxygène. Or la présence de moins de 1 ml d'air dans le col d'une bouteille est rare ; on est déjà satisfait lorsqu'on en trouve moins de 2 ml et bien souvent on en trouve plus [4].

Les bouteilles qui laissent passer de la lumière (artificielle ou soleil) à une longueur d'onde ʎ 350 à 500 nm ne protègent plus la qualité de la bière. Une pasteurisation mal contrôlée et une température de la bière en bouteille à la sortie du pasteurisateur supérieur à 25°C, dégradent la bière surtout si celle-ci est stockée à des températures ambiantes. Le transport et le stockage dans certains brasseries aux U.S.A. sont effectués à une température ne dépassant pas 12°C jusqu'au magasin ou au restaurant. Les magasins de stockage sont réfrigérés et les camions sont étanches à la lumière.

Dans des conditions normales, la fixation de l'oxygène moléculaire sur les composés organiques s'effectue lentement. Ceci est dû au fait que l'oxygène moléculaire est normalement présent à l'état triplet alors que les substrats oxydables se trouvent à l'état singulet. L'oxygène peut réagir à l'état singulet, mais il faut pour cela qu'il y ait un apport d'énergie (lumière en présence d'un agent photosensibiliseur, augmentation de la température) [4]

2- La Stabilité colloïdale :

La bière, comme toute solution colloïdale évolue toujours vers la coagulation. Les molécules complexes ou les micelles s'y entrechoquent constamment et finissent par former des agglomérats visibles à l'œil nu, donc un trouble.

Une bière normale est brillant immédiatement après la filtration même si on la refroidit à 0°C. Après quelque temps elle donne une voile lorsqu'on plonge la bouteille dans l'eau glacée : c'est le « trouble au froid ». Mais ce trouble se redissout à température normale. Après un temps de conservation plus long, il apparait un trouble à température normale, c'est « le trouble permanent ». La vitesse d'apparition de ces troubles normaux de la bière est excessivement différente d'un cas à l'autre c'est ce qui préoccupe le brasseur.

a- La composition de trouble :

Les composés du trouble qui interviennent de façon décisive sont :

- Les polyphénols, en particulier le dimère pro anthocyanidine B_3, le trimère pro anthocyanidine C_2 et bien d'autres polymères.
- Les fractions protéiques qui se lient avec des polyphénols pour former le trouble colloïdal.

- Les métaux tels que le cuivre ,le fer, l'aluminium, et zinc , le manganèse , le nickel ,l'étain ...etc. .peuvent être entrainés jusqu'à la bière et peuvent provoquer un trouble en liaison avec les constituants organiques et de l'oxygène de la bière.
- L'oxalate et en particulier l'oxalate de calcium peut être rencontré dans les troubles de la bière. Il est recommandé d'éliminer au brassage les oxalates par addition de sels de calcium (80 mg/l de Ca^{2+} dans le moût fin cuisson).

b- Les facteurs responsables de la formation de trouble :

les facteurs qui influencent sur la vitesse de formation du trouble , par ordre d'importance , sont :

- La température de conservation de la bière : le trouble se forme de 3 à 5 fois plus vite à 40°C qu'à 25°C et 10 à 30 fois plus vite à 60°C qu'à 25°C le trouble se forme de plus en plus lentement , sauf lorsqu'on se rapproche de 0°C
- L'oxydation : le trouble se forme d'autant plus vite que la bière est oxydée .Une forte oxydation peut accélérer 5 fois la vitesse d'apparition.
- La présence de métaux : tous les métaux lourds donnent un trouble avec les matières azotées à partir de 5 mg/l [4].
- L'agitation : tenant la bascule, le trouble apparaissait 3 fois plus vite d'après [4].
- La lumière : elle active l'oxydation [4].

c- Les facteurs responsables de la l'oxydation de la bière :

- ***La souche et l'âge de la levure*** :

Les résultats obtenus montrent que l'oxygène dissous du moût est réduit rapidement par la levure c'est-à-dire les valeurs initiales disparaissent complétement [8].

Ont montrés que la réduction de l'oxygène dissous du moût en fermentation est favorisée par une dose de levure et une température plus élevées ainsi que par une levure jeune, cette réduction dépend également de la souche de levure , des besoins en oxygène de la levure et de la composition du moût

- ***Méthode de coupage (dilution) :***

La méthode de coupage ou dilution est une méthode qui permet de passer d'une bière de haute densité (14°P) à une bière de (12°P) pour le type « Spéciale ,"33"Export » et une bière de 10°P type « stork,Flag pils » , l'eau de coupage utilisé est déjà traiter et désaérer ,mais malgré ça il contient un taux d'oxygène dissous entre 14 -19 ppm , qui peut être expliqué par la décomposition d'eau selon la réaction suivante :

$$H_2O \longrightarrow \frac{1}{2} O_2 + H_2$$

- ***Filtration de la bière claire à l'aide de la suspension aqueuse de kieselguhr :***

Une suspension de Kieselguhr, même préparée avec de l'eau ayant une faible quantité d'oxygène dissous présente un taux élevé d'oxygène .Cette augmentation d'oxygène est dû principalement à l'oxygène introduit par le kieselguhr (oxygène emprisonné dans les pores).

La température, et le mode de remplissage de l'alluvionneur ,ainsi que l'agitation ont une influence sur l'absorption de l'oxygène par la suspension de kieselguhr . Lors de la filtration de la bière , il y a intérêt de garder un volume constant de suspension ,afin d'éviter totale ,la pompe doseuse peut aspirer l'aire et l'injecter dans la bière.

III. Analyses effectuées sur la bière

Le produit fini connait un problème persistant exprimé par une défaillance au cours de sa production présentée par un taux élevé des gaz étrangers qui dépasse 2ml/l (Norme de tolérance).

Face à ce souci, une étude expérimentale a été l'objet de mon travail qui comprend 2 volets essentiels :

Le premier volet s'est penché sur la mesure des concentrations en oxygène à l'aide d'un **Orbisphère**

⇒ Les cuves de fermentation

⇒ Tanks bière claire

⇒ Entrée de la soutireuse.

Un autre volet a été consacré à l'étude de l'évolution du taux du gaz étranger au niveau du produit fini à l'aide de l'appareil **Headspace**.

1- Evolution du taux d'oxygène dissous au cours de la fabrication de la bière :

a- Appareillage et méthode :

Figure 12: Appareil de mesure du taux d'oxygène dissous dans la bière « Orbisphère »

L'évolution du taux d'oxygène dissous dans la bière dépend de plusieurs facteurs et pour les déterminer un diagnostic sera nécessaire .Ce diagnostic a été fait dès la préparation du moût jusqu'à soutirage dont le but de déterminer l'effet de chaque étape sur la variation du taux d'oxygène dissous.

b- Mode Opératoire [7]:

La chambre au moyen d'un raccord et l'autre extrémité du tuyau est équipée d'un raccord de contre pression. La sortie d'échantillon est équipée d'une vanne de réglage du débit.

- On doit tout d'abord ajuster le débit d'échantillon, à travers la chambre à circulation, à une valeur de 100 ml/min.
- On met le système en fonction en appuyant sur ON/OFF puis on attend quelques secondes jusqu'à ce que le système effectue son autocontrôle et affiche les mesures de concentrations en oxygène.
- La sonde, après mis en contact avec l'échantillon, générera un signal qui diminue rapidement en premier lieu puis lentement au fur et à mesure qu'il se rapproche du niveau de la concentration en oxygène de l'échantillon. Le temps de réponse du système varie suivant la vitesse de diffusion de l'oxygène.
- L'écran nous indique par une marque horizontale située sur sa droite l'unité de mesure dans laquelle la valeur est exprimée. Cette marque est placée

automatiquement par le système, soit ppm (mg/l d'oxygène dissous) ou ppb (µg/l d'oxygène dissous) et en °C (température de l'échantillon).

- Le passage de l'affichage des quantités d'oxygène vers la température s'effectue en appuyant sur la touche (↑ ou ↓) et vice versa.

2- Résultats du suivi du taux d'oxygène :

Ces mesures sont prises au cours de 50 à 60 min, durant lesquelles les valeurs des concentrations en oxygène sont prises à chaque minute. Les résultats enregistrés sont donnés sous forme de graphes pour chaque étape étudiée.

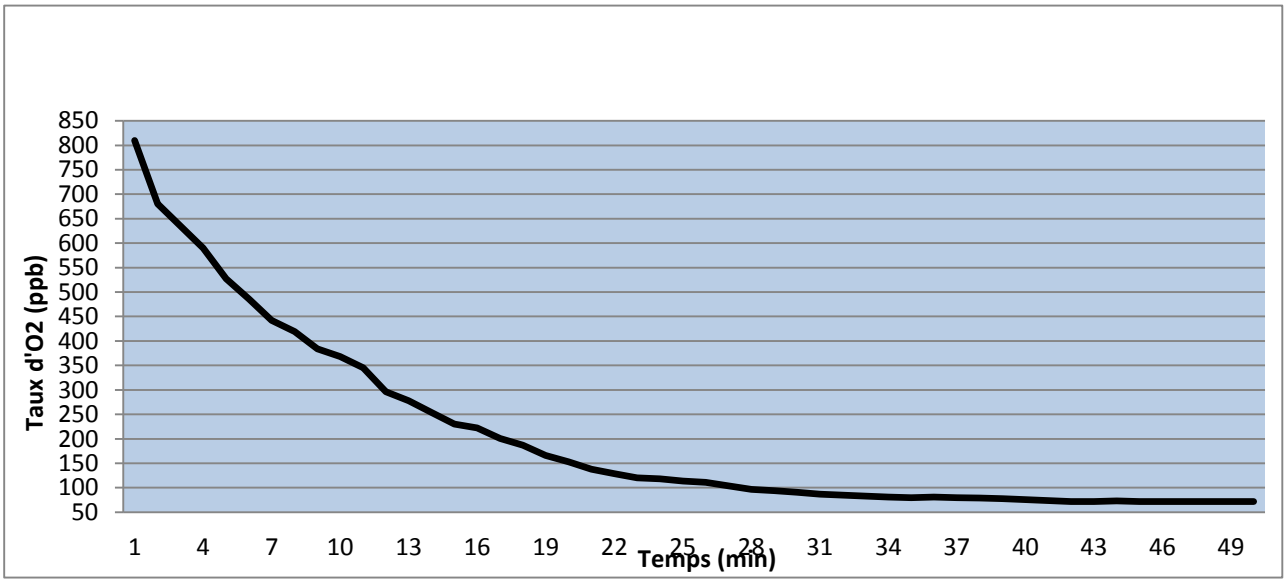


Figure 13 : Taux d'oxygène au niveau de la cuve de Garde n°13 ***(26/04/2016)***

⇒ Dans la cuve de garde le taux d'oxygène diminue, car il est consommé par la levure au début de la fermentation et plus précisément pendant sa phase de respiration et de multiplication.

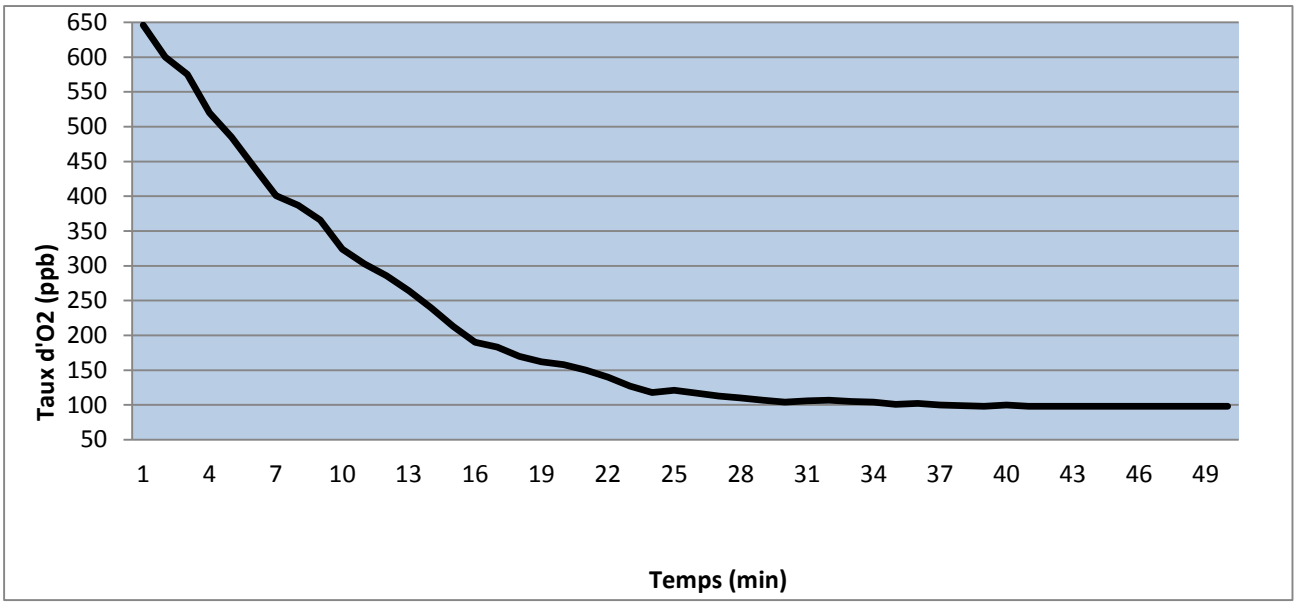


Figure 14 : Taux d'oxygène au niveau de tank bière claire n° 3 ***(26/04/2016)***

⇒ Dans les tanks de bière claire , la concentration de l'oxygène diminue au cours du temps .Cela est dû à l'élimination des bulles d'air formé au début de la filtration.

⇒ Cette concentration d'oxygène est supérieure à celle mesurée dans la cuve de garde, ceci est exprimé par l'addition de la suspension du filtre Kieselguhr qui contient une quantité non négligeable d'oxygène

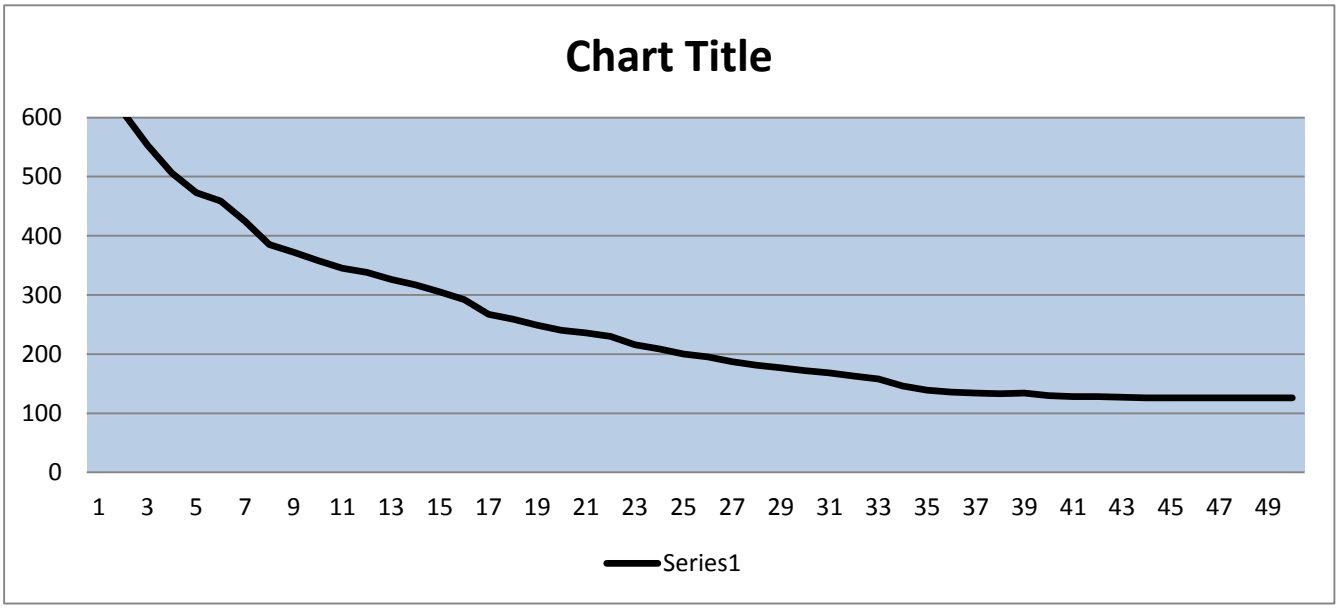


Figure 15 : Taux d'oxygène au niveau d'entrée de la soutireuse ***(26/04/2016)***

⇒ A l'entrée de la soutireuse le taux d'oxygène mesuré dans la bière diminue progressivement avec le temps.

3- Mesure de la teneur en gaz étranger de la bière en bouteille

a- *Appareillage et méthode* :

Figure 16 : Appareil de mesure des gaz étrangers (headspace)

Par agitation, on établit un équilibre entre la phase gazeuse et la phase liquide dans la bouteille. On fait passer le « Headspace » tout entier dans une burette à gaz remplie de lessive de potasse, le gaz carbonique du « Headspace » est lié par la lessive de potasse

b- *Mode opératoire [7] :*

Avant de commencer une série de détermination, il faut mettre les bouteilles à analyser dans un bain marie de 20 ± 1 °C

- On place les bouteilles dans un appareil agitateur afin de les tourner pendant 5min à une vitesse d'environ 70/min .
- Puis on chasse l'air de la burette à gaz ,en suite on place la bouteille sur le statif de mesure et on ferme le robinet de purge .
- On Perce la bouteille et on ouvre le robinet de la burette à gaz en frappant sur la bouteille.
- On ferme le robinet de la burette a gaz et on note le volume du gaz.
    - Stork/Flag Pils : lecture *3.9 = Volume (ml/l)
    - "33" Export/Flag Spéciale :lecture *4.5=Volume (ml/l)

Figure 17: Agitateur

4- Résultats de mesure du gaz étranger :

Les valeurs de la mesure du gaz étranger obtenu a l'aide de « HEADSPACE» , réalisées sur 12 bouteilles sont rassemblées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Valeur du gaz étranger au niveau du produit fini

Bouteille N°	Taux du gaz étranger (mL/L)
1	1,08
2	1,35
3	1,08
4	1,08
5	1,08
6	1,35
7	1,08
8	1,35
9	1,08
10	1,08
11	1,08
12	1,35

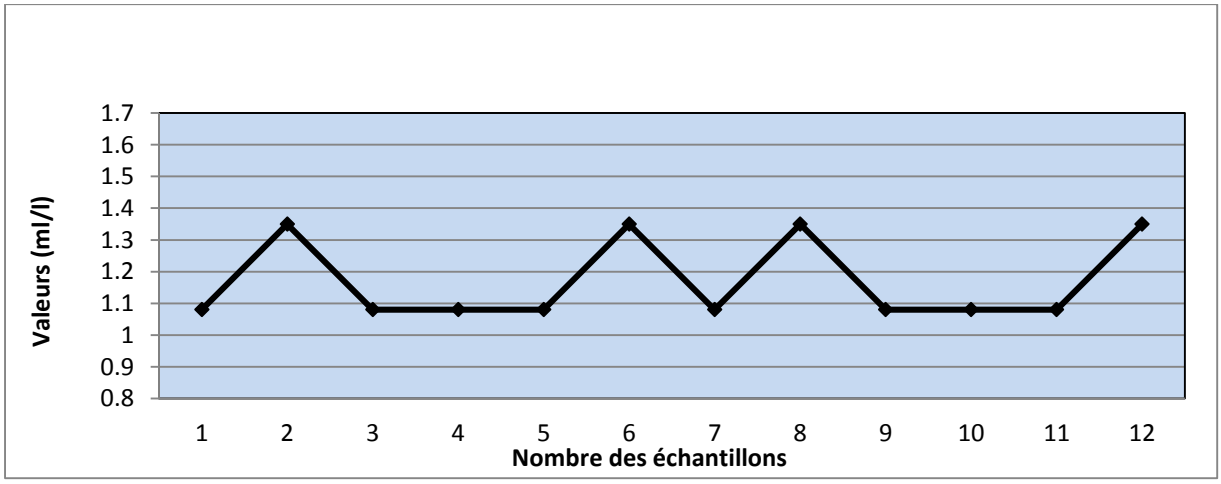


Figure 18 : Variation du taux de gaz étrangers au niveau du produit fini pasteurisé

⇒ La Figure 18 représentant la variation du taux du gaz étranger au niveau de produit fini, montre que le volume d'oxygène piégé dans le col varie entre 1,08 ml /L et 1,35 ml /L. Il est donc presque le même dans toutes les bouteilles analysées. Ceci est en accord avec la norme de tolérance qui doit être ≤ 2 ml/L , mais pour répondre aux attentes de la société, il est de préférence que ce taux ne dépasse pas 1ml/L.

5- Conclusion :

D'après le suivi du taux d'oxygène dissous au cours de la chaine de fabrication de la bière et le taux des gaz étrangers dans le produit fini, on a constaté que le soutirage est l'étape critique qui permet l'enrichissement de la bière par les gaz étrangers et surtout l'oxygène. Donc c'est à ce niveau qu'il faut intervenir pour déterminer les différents facteurs de soutirage afin de les contrôler et de les optimiser pour avoir un produit de bonne qualité qui peut être stocker pendant une longue durée.

6- Techniques proposées pour réduire le taux d'oxydation de la bière et maintenir sa stabilité :

a- Stabilisants améliorant la stabilité colloïdale :

Dans le but de réduire du gaz étranger dans la bière au sein de SBM Fès il nous a été demandé
La stabilité de la bière est un phénomène complexe qui préoccupe les brasseurs qui doivent avoir des standards très strict au niveau de la :

- stabilité microbiologique,
- stabilité colloïdale,
- stabilité de la mousse, de la couleur et de la flaveur.

Les traitements proposés ci-dessous améliorent plus au moins la qualité de la bière :

- Charbon actif : Le charbon actif adsorbe les polyphénols et les composés protéiques. Il est également utilisé pour éliminer les faux-goûts de la bière.
- Nylon : Les polyamides sont des adsorbants spécifiques des anthocyanogènes. Ceux-ci sont des composants des troubles colloïdaux et le traitement aux polyamides retarde la formation de ce trouble dans la bière.
- Traitement par E.D.T.A : L'éthylène-diamine-tétraacétale est utilisé dans l'industrie pour empêcher l'action nocive des métaux lourds. L'ajout de l'E.D.T.A à la bière séquestre le cuivre, le fer et l'étain, et les empêchent de provoquer des troubles colloïdaux.
- Traitement au P.V.P : Lorsqu'on ajoute polyvinyle-pyrolidone ou P.V.P à la bière, elle se trouble d'abord et se clarifie par la suite. Elle est alors stabilisée contre le trouble au froid. Ce traitement est adopté par SBM Fès.

b- Prévention de l'oxydation :

L'objectif de chaque brasseur est de travailler à l'abri de l'air évitant minutieusement toute oxydation. Les techniques proposées ci-dessous permettent la prévention de l'oxydation [8].

- Contrôle de l'oxygène par :
  - Utilisation de l'eau désaérée et sans métaux lourds.
  - Agitation faible.
  - Entrée du mout par le bas.
  - Pompage doux. - Utilisation des cuves inoxydables (Fe2+, Cu2+)
- Pendant le procédé de brassage il faut travailler à :
  - Des températures d'empâtage élevées (62°C)
  - pH de la maische bas.

c- Prévention de la formation des troubles colloïdaux :

Un excès dans la teneur en protéines et en polyphénols aboutit à la formation des troubles colloïdaux. Pour éviter ceci il faut éliminer ces deux composés .

- Elimination des protéines à partir de :
  - Malt
  - La bière par utilisation des enzymes protéolytique ,ou précipitation des gallotanin ou encore absorption des silicagel ,bentonites.
- Elimination des polyphénols à partir de :
  - L'orge : orge sans proathcanidine.
  - Mout : polymérisation des polyphénols oxydase, formaldéhyde
  - La bière : polyamides PVPP

Conclusion

Ce stage m'était de plus grande utilité, c'était un stage dont j'ai acquis plusieurs connaissances dans le domaine de brassage et surtout sur le procédé de fabrication de la bière qui a été pour moi un mystère. Il m'a permis de mettre mes connaissances théoriques à l'épreuve pratique afin de faire une comparaison entre les deux et particulièrement dans le domaine d'altération des aliments.

La réduction du taux du gaz étranger dans la bière a enrichi mon expérience professionnelle et m'a permis également d'avoir une vision détaillée sur la démarche suivi pour corriger un problème au niveau de la chaine de fabrication.

La réduction du taux du gaz étranger dans le produit fini permet de garantir une meilleure conservation de la bière pendant une longue durée et pour bien maitriser, les recommandations qui semblent très utiles sont les suivantes :

- ✓ Vérifier l'étanchéité des circuits pour éviter l'injection d'air au niveau des tuyaux.
- ✓ Vérifier la performance des pompes et surtout la pompe à vide.
- ✓ Changer la méthode de coupage après la phase de garde, par un coupage pendant le brassage, car l'eau de coupage contient un taux élevé d'oxygène dissous d'où son augmentation dans la bière.

Références Bibliographiques

- **[1] :**Wolfgang KUNZE, « Technology Brewing and Malting ». 2 éme édition, chapitre 1. KUNZE International Edition. 2005, Pages 6 - 12.
- **[2] :** Manfred. MOLL, « Bières &Coolers : Définition – Fabrication- Composition ». 3éme édition, Chapitre 4. Collection Sciences & Techniques Agro-Alimentaires. 1992, Pages 345-352.
- **[3] :** J.GOMBERT. HEINKEN N.V HOLLONDE « Une introduction au brassage de la bière », 1973
- **[4] :**BIERES & COOLERS. M. MALL, J. DE BLAUWE; collection sciences & techniques agro-alimentaire 2001.
- **[5]:**DECLERCKJean:CoursdeBrasserieVol.1:matièrespremières, Fabrication, installations. Louvain1980- BELGIQUE.
- **[6] :** Procédé de la fabrication de la bière, 'IFBM' INSTITUT FRANÇAIS DES BOISSONS, DE LA BRASSERIE ET DE MALTERIE 2000
- **[7] :** Documents internes de la société des Brasseries du Maroc , 2005-2010.
- **[8] :** SOBERKA R ET WARZECHA A : Influence of certain factors on the level of oxygen dissolved during beer manufacture (part 4,concluded),1987.
- **[9] :** www. univers-biere.net.

Tableau 4: Taux d'oxygène au niveau de la cuve de Garde n°13 (26/04/2016)

Temps (min)	Taux d'O_2 (ppb)	Température (C°)
1	810	14,9
2	680	14,7
3	635	14,2
4	590	13,9
5	527	13,6
6	486	13,5
7	442	13,2
8	419	13
9	384	12,8
10	368	12,7
11	345	12,5
12	296	12,4
13	278	12,2
14	254	12
15	230	11,9
16	222	11,9
17	201	11,9
18	187	11,7
19	166	11,6
20	153	11,6
21	138	11,6
22	129	11,5
23	120	11,5
24	118	11,5
25	114	11,4
26	111	11,3
27	104	11,2
28	97	11,1
29	94	11,1
30	91	11,1
31	87	11,1
32	85	11,1
33	83	11,1
34	81	11
35	80	11
36	81	11
37	80	11
38	79	10,9
39	78	10,8
40	76	10,8
41	74	10,8
42	72	10,8
43	72	10,8
44	73	10,8
45	72	10,7
46	72	10,7
47	72	10,7
48	72	10,7
49	72	10,7
50	72	10,7

Tableau 5 : Taux d'oxygène au niveau d'eau de coupage : cuve n°35

Temps (min)	Taux d'O_2(ppm)	Température (C°)
1	21,5	14,2
2	19,8	13,9
3	18,5	13,8
4	18	13,7
5	17,8	13,6
6	17,5	13,4
7	17,3	13,3
8	17	13,3
9	17,1	13,2
10	17,2	13,1
11	17	13
12	17,1	12,8
13	17,1	12,8
14	16,9	12,7
15	16,8	12,5
16	16,5	12,4
17	16,2	12,3
18	16	12,2
19	16	12,1
20	15,8	12
21	15,7	11,9
22	15,6	11,9
23	15,7	11,8
24	15,5	11,7
25	15,4	11,5
26	15,3	11,4
27	15,1	11,3
28	15,1	11,3
29	15	11,3
30	14,8	11,3
31	14,8	11,1
32	14,7	11
33	14,7	10,9
34	14,6	10,9
35	14,6	10,9
36	14,6	10,9
37	14,5	10,8
38	14,4	10,8
39	14,4	10,7
40	14,4	10,6
41	14,4	10,5
42	14,4	10,5
43	14,4	10,4
44	14,4	10,4
45	14,4	10,3
46	14,4	10,3
47	14,4	10,3
48	14,4	10,3
49	14,4	10,3
50	14,4	10,3

Tableau 6 : Taux d'oxygène au niveau de tank bière claire n° 3

Temps (min)	Taux d'O_2(ppb)	Température (C°)
1	649	18,9
2	608	18,8
3	553	18,7
4	506	18,7
5	473	18,6
6	459	18,6
7	425	18,5
8	385	18,5
9	372	18,4
10	358	18,4
11	345	18,3
12	338	18,1
13	326	18
14	317	17,9
15	305	17,8
16	292	17,6
17	267	17,5
18	259	17,5
19	249	17,5
20	240	17,5
21	236	17,4
22	230	17,5
23	216	17,4
24	209	17,4
25	200	17,3
26	195	17,2
27	187	17,1
28	181	16,9
29	177	16,7
30	172	16,5
31	168	16,3
32	163	16,1
33	158	15,9
34	146	15,8
35	139	15,8
36	136	15,8
37	134	15,7
38	133	15,7
39	134	15,7
40	130	15,6
41	128	15,6
42	128	15,5
43	127	15,4
44	126	15,3
45	126	15,3
46	126	15,3
47	126	15,3
48	126	15,3
49	126	15,3
50	126	15,3