



Licence Sciences et Techniques (LST)

TECHNIQUES D'ANALYSE ET CONTRÔLE DE QUALITÉ (TACQ)

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Impact du Taux d'Oxygène et du Taux des Gaz étrangers sur la
Qualité de la bière**

Présenté par :

♦ **BENJELLOUN Mohammed**

Encadré par :

♦ Mme **BENSLIMANE Chaimae** (SBM Fès)
♦ Pr. **BEN TAMA Abdeslem** (FST – Fès)

Soutenu Le 08 Juin 2016 devant le jury composé de:

- Pr. **BEN TAMA Abdeslem**
- Pr. **KANDRI RODI Youssef**
- Pr. **BOUAYAD Abdelouahed**

Stage effectué à SBM Fès

Année Universitaire 2015 / 2016

Dédicaces:

Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis
Jour et nuit, nous mènera vers le bonheur fleuri
Nous prions Dieu que nous serions enchantés
Par notre travail honoré

Je dédie ce projet à :

Mes chers parents :

Qui m'ont encouragé, et soutenu
Avec une inéluctable patience pendant mes études
& remerciement pour les sacrifices qu'ils ont consentis

À faire pour moi :

Que Dieu Vous Garde et vous procure Santé, bonheur, prospérité et
longue vie.

A mes frères,
qui me sont très chers.
Chacun de vous possède dans ma vie une place originale.

L'estime, la chaleur et l'amour qui nous unissent
Me procurent la force et le soutien permanents.
Je vous dédie ce travail en témoignage de mon affection la plus
sincère.

A tous les membres de la famille BENJELLOUN
A tous mes amis(es)
En reconnaissant de bien, de respect, et de sympathie
Qui nous ont toujours réunis.
A tous ceux qui m'ont suivi de loin ou de près.

Remerciements

Ce stage de fin d'étude a été effectué à SBM Fès. Je tiens à exprimer ma gratitude la plus profonde à Mr : **Abdellah LAOUJI**, Responsable Management Qualité de la SBM Fès, pour son encadrement, sa collaboration, son soutien continu tout au long de mon stage et surtout pour sa disponibilité et ses directives toujours constructives.

A l'issue de ce travail, je tiens à remercier chaleureusement mon encadrant Monsieur **Abdeslem BEN TAMA** d'avoir accepté d'encadrer mon projet de fin d'étude et pour ses conseils, sa sympathie, sa disponibilité et son aide considérable pour la rédaction de ce rapport.

Je remercie également **Mr Youssef KANDRI RODI** et **Mr Abdelouahed BOUAYAD** d'avoir accepté et d'examiner ce modeste travail, et tout le personnel de **SBM Fès**, qui m'a accueilli, soutenu et aidé, tout au long de mon stage et surtout Mme **Chaimae BENSLIMANE**.

J'adresse mes vifs remerciements à tous ceux qui ont contribué à faciliter la tâche de mon travail et ceux qui ont participé de près ou de loin à la réussite de mon stage.

Avant Propos

A l'issue des 3 années d'étude à FST Fès Saïs, mon esprit d'analyse et mes aptitudes opérationnelles se sont développés grâce à une formation polyvalente menant à une bonne maîtrise de la théorie et de la pratique. De plus, grâce aux études sur le terrain, l'opérationnalité devient une opportunité que chaque étudiant doit saisir, non seulement pour mettre en relief les théories enseignées mais aussi pour développer le travail en équipe. Le **stage de fin d'études** est un projet type, où toutes mes capacités testées et ma volonté d'aboutir est mise en question. L'objectif principal de cette expérience à atteindre bien sûr, c'est d'avoir conscience du faussé qui sépare les 2 mondes appelés

Le monde du travail & le monde des études

Liste des Figures

Figure 1 Organigramme Région Orientale

Figure 2 Les Matières Premières de La Bière

Figure 3 Procédés de Fabrication de La Bière

Figure 4 Variation de la température et de la densité durant la fermentation

Figure 5 Échelle de Turbidité de La Bière

Figure 6 Oxydation de l'acide linoléique Lors du Brassage

Figure 7 Orbisphère

Figure 8 Burette à Gaz

Liste des Tableaux

Tableau 1 Informations sur SBM Fès

Tableau 2 Événements Marquants à SBM FÈS

Tableau 3 Teneurs Tolérées des Substances à problème dans la bière (mg/l)

Tableau 4 Propriétés du Produit Fini

Tableau 5 Caractéristiques des Produits SBM Fès

Tableau 6 Différents Paliers de Température utilisés pendant Le Brassage

Tableau 7 Composition du Trouble Froid

Tableau 8 Gaz recommandés pour divers systèmes de bière pression

Liste des Abréviations

Abréviation	Signification
EBC	European Brewery Convention
PIB	Produit Intérieur Brute
SBM	Société Des Brasseries Du Maroc
ISO	Organisation internationale de normalisation
PVP	Poly vinyl pyrolidone
DCI	2,6-dichlorophénol-indophénol
°P	Degré Plateau : Le % en masse d'extrait sec du moût avant fermentation

Sommaire

INTRODUCTION.....	6
CHAPITRE 1 : Présentation de la SBM FÈS & Généralités sur la bière.....	7
I. Présentation de L'entreprise :.....	7
II. Structure organisationnelle :.....	8
III. Généralités sur la bière :.....	9
1. Composition de la bière Et Propriétés:.....	9
2. Produit Fini:.....	10
CHAPITRE 2 : Procédés de Fabrication de La Bière.....	12
I. Le Maltage :	12
II. Le Brassage :	12
1. La filtration et lavage des drèches.....	13
2. Cuisson et houblonnage du mout	13
3. Traitement et refroidissement du moût.....	13
III. La fermentation	13
IV. La filtration :.....	14
V. Le soutirage :	14
VI. Pasteurisation et Conditionnement :.....	15
CHAPITRE 3 : Impact Du Taux D'Oxygène et Des Gaz Étrangers sur la Qualité De La Bière....	16
I. Description de La Problématique :.....	16
II. Partie Théorique:.....	16
1. Origine d'O ₂ dans la bière	16
2. La Stabilité colloïdale.....	18
3. La Bière et Le CO ₂	18
4. Avantages et inconvénients des divers systèmes à gaz sur la qualité de la bière :	19
III. Partie Pratique:	20
1. Mesure du taux d'O ₂	20
2. Mesure du taux de Gaz étranger:.....	24
IV. Suggestions pour la réduction du taux d'oxydation à la bière et le maintien de stabilité :	26
1. Amélioration de la Stabilité Colloïdale	26
2. Traitement aux réducteurs	26
3. Contrôle de L'Oxygène :	27
CONCLUSION.....	27
BIBLIOGRAPHIE & WEBOGRAPHIE.....	28

INTRODUCTION

- Le secteur des industries agroalimentaires est l'un des piliers de l'économie marocaine, avec un chiffre d'affaires de plus de 60 milliards de dirhams, sa participation dans le PIB est de 4,4 %.
- Les boissons ont toujours constitué une part importante de ce secteur et essentiellement les boissons alcooliques tel que la bière.
- La bière est la boisson fermentée la plus ancienne, et la plus consommée aujourd'hui. Tout en conservant la tradition, et intégrant les progrès techniques qui peuvent être à l'écoute des exigences du consommateur qui sont les deux éléments essentiels pour garantir sa pérennité.
- Conciliation à la fois maîtrise de la qualité et rentabilité, la filière aujourd'hui fortement industrialisée, utilise de plus en plus les outils techniques, marketing et commerciaux pour y parvenir.
- C'est dans la perspective d'intégrer cet essor du secteur boisson marocain que j'ai effectué un stage de fin d'étude d'une durée de 6 semaines au sein de la SBM FÈS qui est un des pionniers de la production du bière au Maroc.
- Ce stage, effectué au sein de service production, m'a amené à faire face aux difficultés rencontrées par l'industriel pour produire un produit de qualité.

Notre travail repose sur l'influence du taux d'oxygène et des gaz étrangers sur la qualité de la bière. Le plan adopté est le suivant:

Le 1^{er} chapitre sera consacré à une présentation de SBM Fès, avec un aperçu général sur la bière, ses ingrédients, et sa composition chimique.

Le 2^{ème} chapitre porte sur les différentes étapes du processus de fabrication.

Le 3^{ème} chapitre porte 2 parties :

- **Partie théorique** : Impact d'oxygène sur la qualité de la bière en particulier sa stabilité colloïdale
- **Partie Pratique** : Suivi du taux d'oxygène dissout durant les étapes critiques du procédé de la fabrication de la bière a été réalisé puis une détermination de la teneur du gaz étranger au niveau du produit fini.

CHAPITRE 1 : Présentation de la SBM FÈS & Généralités sur la bière

I. Présentation de L'entreprise :

Face à un univers complexe, concurrentiel, évolutif et surtout exigeant, la qualité est d'une part, un moyen de différenciation par rapport aux entreprises concurrentes et d'autre part, c'est un moyen rentable. « Pour relever les défis liés à l'internationalisation des marchés, à la mondialisation des échanges, le processus qualité peut s'avérer nécessaire pour les entreprises marocaines, quelle que soit leur taille. »¹

- SBM Fès participe dans un secteur actif, de l'Industrie Agroalimentaire qui représente 32% de la valeur ajoutée de l'ensemble des Industries de transformation.
- L'activité principale de la société consiste à gérer et exploiter des unités industrielles qui permettent de conserver, traiter, transformer et distribuer des boissons alcooliques, tels que la bière.
- Dans le cadre de son système qualité, SBM FÈS s'engage dans une politique de qualité dont l'objectif principal est de satisfaire ses clients, d'être constamment à leur écoute et leur offrir des produits qui répondent le mieux à leur attente.

Tableau 1 Informations sur SBM Fès²

Raison Sociale	Brasserie du Nord Marocain.
Statut Juridique	Société Anonyme (S.A.).
Capitale Sociale	50 000 000 Dhs
Actionnariat	Société des Brasseries du Maroc et autres.
Adresse	Rue Ibn El Khateb Sidi Brahim Quartier industriel Fès BP 2100
Date de Mise en Service	1947
Effectifs	151
Capacité de Production	200 000 hl/an.
Surface Totale	30500 m²
Domaines d'activité	o Fabrication, conditionnement de la bière : Stock, Flag Spécial. o Distribution des produits BRANOMA et SBM.
Champs de Certification	Comprend les achats, la fabrication, le conditionnement, le stockage et la commercialisation.

- SBM FÈS fait partie du groupe des brasseries du Maroc, qui se compose de :
 - ↳ **SBM-Tit Mellil** : Société des Brasseries du Maroc
 - ↳ **SVCM** : Société de Vinification et de Commercialisation des Vins du Maroc

➔ **N.B :** Le groupe des Brasseries du Maroc fait partie du groupe Castel depuis Juin 2003.

Tableau 2 Évènements Marquants à SBM FÈS³

Évènement	Date
Date de création	1947
Licence Heineken accordé à SBM FÈS	1979
Arrêt de production des boissons gazeuses	1982
Arrêt de production de la Heineken	1990
ISO9001 : 1994	2001
HACCP norme Danoise DS 3025	2002
ISO 9001 :2000	2003
Déménagement à la nouvelle usine	Fin 2004
ISO 22000 :2005	2006
ISO 9001 : 2003	2009
ISO 22000 :2005	2016
ISO 9001 : 2015	2016

II. ⁴Structure organisationnelle :

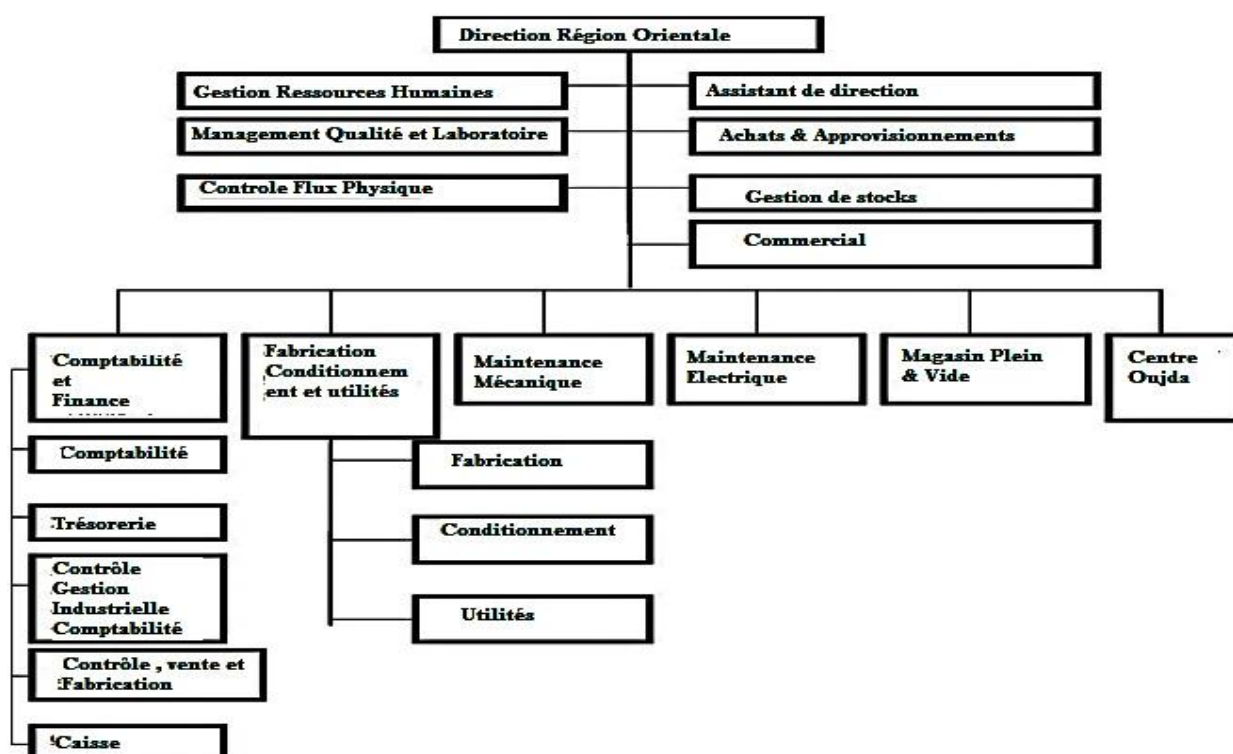


Figure 1 Organigramme de la région Orientale

III. Généralités sur la bière :

La bière est une boisson fermentée légèrement alcoolisée, préparée à partir des céréales germées, principalement de l'orge (céréale la plus riche en amidon) et parfumée avec du houblon.

1. Composition de la bière Et Propriétés:

a. Matières Premières

La bière contient 2 à 14% d'alcool, du gaz carbonique et des sucres en quantités variables, les constituants de la bière proviennent des matières premières suivantes:

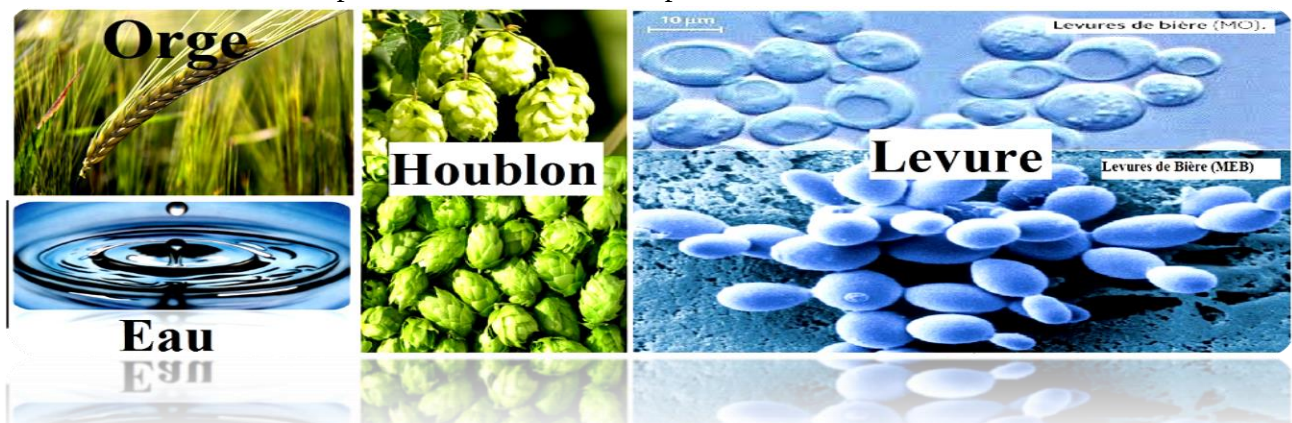


Figure 2 : Les Matières Premières de La Bière

- ❖ **L'orge :** « Cette céréale très riche en amidon est le principal ingrédient de la bière. L'orge suit le cycle de maltage avant d'être exploitée. L'orge partiellement germé et touraillé donne non seulement l'alcool, mais aussi une grande partie du parfum et produit les enzymes nécessaires à la transformation de l'amidon en sucres fermentescibles (capable de se fermenter). la couleur de la bière. Cette Céréale produit les enzymes nécessaires à la transformation de l'amidon en sucres fermentescibles (capable de se fermenter). L'orge possède une enveloppe qui sert de filtre naturel lors de la première étape qui consiste à extraire les sucres naturels du malt. Il renferme un taux de sucre fermentable très élevé et permet d'obtenir une bière au goût plus pur. »⁵
- ❖ **Les Levures (*Saccharomyces Cerevisiae*) :** sont des champignons qui favorisent la fermentation en utilisant les sucres dérivés de l'amidon pour se développer.
- ❖ **L'eau :** « C'est le principal élément entrant dans la composition de la bière. Elle va permettre aux autres ingrédients de prendre vie, de s'animer et de se combiner entre eux, par un phénomène nommé hydrolyse. L'eau de brassage doit être d'une qualité irréprochable : pure avec un pH neutre et une teneur idéale en sels minéraux : peu pour une bière blonde, importante pour une brune. »⁶
- ❖ **Le Houblon :** est une plante qui porte l'arôme et l'amertume à la bière

b. Propriétés :

❖ Substances à Problèmes :

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 cancérigènes.
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
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. ⁷

Tableau 3 Teneurs Tolérées des Substances à problème dans la bière (mg/l)

❖ Gushing(Giclage) de La Bière:

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

Les facteurs pouvant induire le Gushing de la bière :

- Certaines souches de moisissures
- 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 pas 12%),
- Maintenir une bonne hygiène durant le processus de fabrication,
- Éviter des températures élevées au cours de touraillage et de germination.

2. Produit Fini:

Tableau 4 Propriétés du Produit Fini

Nom du produit	Bière
Caractéristiques importantes du produit fini	- pH 4 (acide) - aw > 0,99 (humidité élevée) - Alcool 5,2 %
Comment le produit sera t-il utilisé	Consommé directement tel qu'il est.
Emballage	Emballage primaire: Bouteille hermétiquement fermée en verre de couleur verte limitant l'intensité de la lumière. Emballage secondaire : en caisse en plastique ou en carton

Durée de conservation	9 mois, à des températures normales de conservation et à l'abri de la lumière.
Lieux de vente du produit	Canaux CHR (café, hôtel, restaurant), GMS (grands et moyens surfaces) et alimentaires
Instructions d'étiquetage et de bouchage	Sont nécessaires pour garantir la sécurité du produit. L'étiquette indique la date et l'heure de fabrication, ainsi que le taux d'alcool et le lieu de fabrication.
Contrôle spécial à la distribution	Éviter tout dommage physique, l'excès d'humidité, températures et lumière extrêmes.

Les Produits Fabriqués à SBM FÈS sont : Flag Spéciale, 33 Export, Flag pils et Stork, 4 bières blondes de caractéristiques suivantes:

Caractéristiques / Nom Du Produit	Spécial/33 Export	Stork/ F.pils
Turbidité	<0,8 EBC	<0,8 EBC
Couleur	8+/-2 EBC	8+/-2 EBC
Extrait Primitif	12+/-2°P	10+/-2°P
Amertume	22+/-2 EBC	20+/-2°P
Taux d'alcool	4+/-0,2 g/l	3,6+/- 0,2 g/l
pH	4+/- 0,2	4+/-0,2

Tableau 5 Caractéristiques des Produits SBM Fès⁸

CHAPITRE 2 : Procédés de Fabrication de La Bière

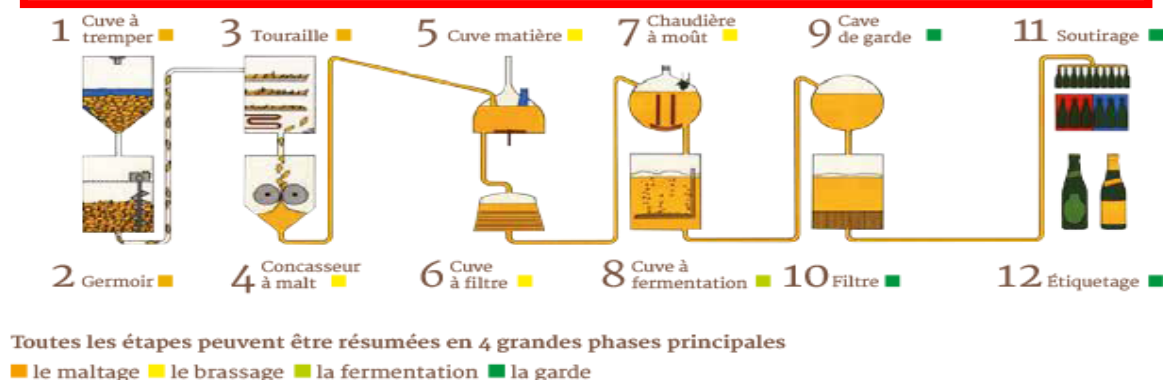


Figure 3 : Procédés de Fabrication de La Bière

I. Le Maltage :

Cette opération se fait dans des malteries hors des brasseries, le malt utilisé pour la préparation de la bière à SBM FÈS est importé de l'étranger.

Le maltage a pour but d'obtenir à partir du grain d'orge un malt dont l'amande (grain d'amidon) est susceptible d'être transformée en sucres au cours du brassage en passant par : le trempage, la germination, le touraillage et le dégermage.

II. Le Brassage :

Le but du brassage est de solubiliser la plus grande quantité de matières hydrosolubles de Malt, appelée extrait, pour obtenir un mélange sucré : l'amidon du malt sous l'action d'enzymes va se transformer en sucres, principalement en maltoses et dextrines. Donc le brassage consiste à ajouter de l'eau à la farine de malt (empâtage) et à chauffer le mélange obtenu (extraction de la Mouture).

Tableau 6 : Différents Paliers de Température utilisés pendant Le Brassage

Paliers de température	Transformations
45 à 50°C	Dégradation du manteau protéolytique des grains d'amidon permettant la libération des β -amylases
60 à 65°C	Action des β -amylases qui transforment l'amidon en sucres fermentescibles (en majorité du maltose)
70 à 75°C	Action des α -amylase qui transforment l'amidon en maltose et dextrine

1. La filtration et lavage des drèches

Le but c'est la séparation du moût (Phase Liquide) des drèches (Phase Solide) qui donne maïsche.

2. Cuisson et houblonnage du moût

La cuisson stabilise le moût en détruisant les enzymes, en le stérilisant et en faisant coaguler les matières azotées complexes.

3. Traitement et refroidissement du moût.

Le moût sorti de la cuve d'ébullition est pompé dans un récipient cylindrique en acier inoxydable (le Whirlpool). La vitesse d'entrée du moût est de 13m/s, et l'entrée se situe en général au premier tiers de la hauteur totale pour éviter l'oxydation et pour créer un tourbillon permettant la décantation des particules en suspension. Cette étape dure environ 20 à 30min. Une fois le moût clarifié, il sera refroidi dans un échangeur de chaleur à contre-courant.

III. La fermentation : permet :

- Croissance des levures
- Transformation des oses du moût
- Réduction du taux de diacétyle

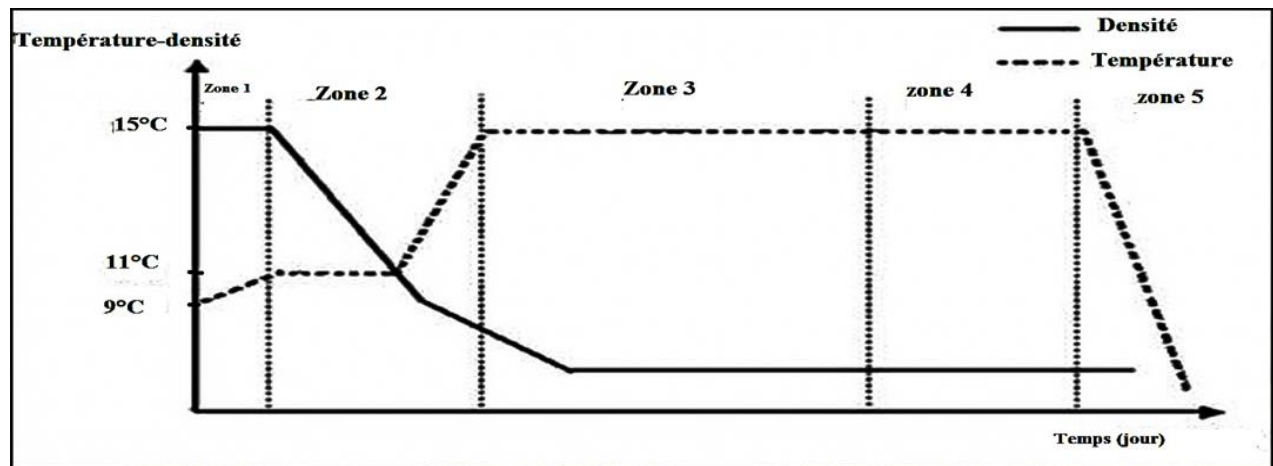


Figure 4 : Variation de La température et de la densité lors de la Fermentation

- ❖ **Zone 1** :- La température d'entrée du moût dans le brassin est de 9-10°C.
- Division Cellulaire des Levures (présence d'O₂)
 - Épuisement d'O₂ du milieu
 - Augmentation maintenue de la température.

- ❖ **Zone 2** : $T=11^{\circ}\text{C}$ (pendant 3 à 5 jours) après 24 h de fermeture du fermenteur (favoriser la Fermentation). La diminution de la densité reflète la consommation des sucres fermentescibles avec production d'alcool et CO_2 .
- ❖ **Zone 3** : la température passe à 15°C , la densité continue à diminuer jusqu'à sa stabilité à une valeur limite ce qui traduit la fin de la fermentation et l'épuisement des sucres fermentescibles.
- ❖ **Zone 4** : Appelée « **Garde Ou Maturation** »

A une température de 15°C et à une densité voisine de 3°P (Plateau), la bière subit dans les tanks fermés une seconde fermentation. Les buts à poursuivre au cours de la garde sont :

- laisser déposer la levure et les particules amorphes qui troublent la bière
- saturer la bière de CO_2 par une fermentation secondaire
- précipiter le trouble au froid, pour obtenir des bières plus brillantes et pour empêcher qu'elles ne se troublent par le froid après filtration

- ❖ **Zone 5** : la température baisse jusqu'à 0°C , c'est l'étape de la stabilisation de la bière.

La bière ne se clarifie pas entièrement par simple dépôt. Pour avoir une bière brillante il faut la filtrer

IV. La filtration :

Le but de la filtration est de rendre la bière plus brillante et plus stable, le filtre chargé de clarifier, de stériliser et de stabiliser la bière réalise cela par 2 actions tout à fait différentes:

- ❖ **Tamissage** : arrêter mécaniquement les particules trop grosses pour traverser les pores du filtre.
- ❖ **Adsorption** : arrêter les substances même moléculairement dissoutes

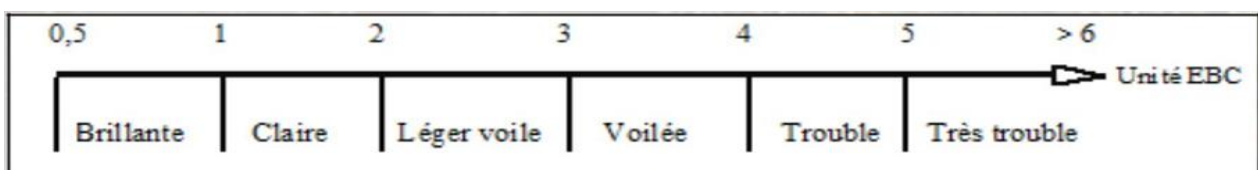


Figure 5 : Echelle de Turbidité de La Bière

V. Le soutirage :

Une fois les bouteilles lavées (soude, eau) et inspectées, celles-ci doivent être remplies sans qu'il y ait de contact entre la bière et l'air ambiant (O_2 et les microorganismes ambiants sont nocifs pour la bière). Ainsi les bouteilles sont remplies avec une contre pression du CO_2 . A la sortie de la soutireuse, le travail consiste à faire mousser la bière (pour que le volume du goulot



soit occupé par de la mousse) par l'intermédiaire d'un fin jet d'eau. Ensuite la bouteille est encapsulée.

❖ Les dangers imputables au soutirage :

- L'oxydation au soutirage.
- L'infection au soutirage : Le Climat est favorable pour le développement des microorganismes
- Perte d'acide carbonique.

VI. Pasteurisation et Conditionnement :

La bière contient encore quelques cellules de levure ; elle est donc sujette à une refermentation, avec apparition d'un trouble non dangereux pour la consommation. La pasteurisation va permettre d'éliminer ce phénomène, la bière est chauffée progressivement à 65°C puis refroidit très rapidement. Avec ce choc thermique, on affaiblit fortement les germes nocifs pour la bière (levures et bactéries). Ce traitement permet une longue conservation de la bière. À SBM FÈS, on trouve une ligne d'embouteillage automatisée qui travaille à une cadence de 30 000 bouteilles/h.

CHAPITRE 3 : Impact Du Taux D'Oxygène et Des Gaz Étrangers sur la Qualité De La Bière

I. Description de La Problématique :

Pour maîtriser la qualité du produit pendant la conservation et le stockage, il est nécessaire de contrôler certains facteurs qui déclenche certaines réactions d'oxydation et par la suite la perte de la qualité organoleptique de la bière, parmi ces facteurs on peut citer le taux des gaz étrangers dans les bouteilles du produit fini qui contient un volume important d'O₂, le facteur primordiale d'oxydation.

- **Comment déterminer le taux d'O₂ et des Gaz étrangers au cours des étapes de la fabrication de la bière?**
- **Quels sont les inconvénients dus à l'augmentation des taux des Gaz Étrangers et d'O₂ sur la Qualité de Bière?**
- **Comment Réduire le taux d'O₂ et maintenir la stabilité de la bière?**

II. Partie Théorique:

1. Origine d'O₂ dans la bière

L'O₂ est un véritable souci pour les brasseurs car la moindre quantité introduite au mauvais moment entraîne l'oxydation alors qu'il est essentiel pour la fermentation. Un excès en O₂ peut être du soit à la perte des matières premières soit au non suivi de son taux durant le brassage.

a. O₂ dans la Fermentation :

La fermentation alcoolique nécessite l'adjonction de levure dans le mout, cette micro-organisme a besoin d'O₂ pour sa multiplication, celle-ci dégrade les glucides par un métabolisme fermentatif qui conduit la formation d'éthanol et de CO₂. L'O₂ est injecté dans la ligne de mout à une pression total allant jusqu'à 4 bars. La proportion de mout et d'O₂ est maintenue constante pendant la période de remplissage. La majorité des brasseries oxygène le moût à froid car une oxygénation du mout à chaud provoque une oxydation et contribue à des faux-goût dans la bière (goût d'ail).

b. O₂ dans la Filtration / Tank bière claire :

L'O₂ dissous dans la bière lors de la filtration est à l'origine de :

- Altération du gout, de l'arome et la couleur
- Destruction des vitamines.
- des Troubles colloïdaux
- la croissance de microorganismes éventuellement présents.

Pendant la filtration, la dissolution de l'O₂, dans la bière, dépend de la quantité d'O₂ qui se trouve au niveau du filtre et pendant l'alluvionnage.

« Un test effectué sur les feuilles de *Gongronema latifolium* comme substitut éventuel du houblon pour brasser la bière montrent que l'acide linoléique de formule semi développée $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$ est le principal acide gras insaturé avec une teneur de 31.1%. »⁹

L'O₂ réagit lentement dans la bière à fin 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 poly phénols, les sucres et les composés carbonyles qui contribuent principalement à la flaveur oxydée de la bière.

L'absence des Acides Gras dans la composition de la bière est due à leur oxydation durant le brassage :

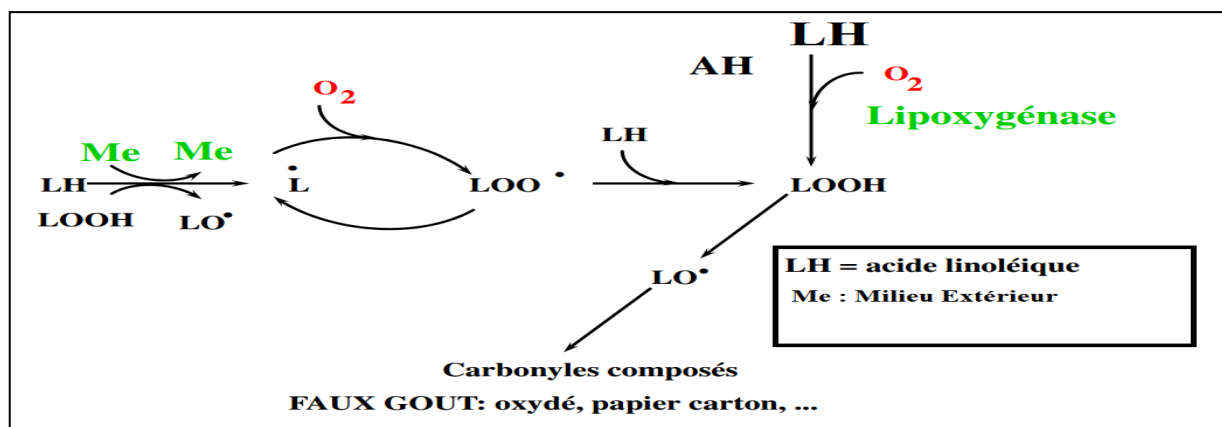


Figure 6 Oxydation de l'acide linoléique Lors du Brassage¹⁰

c. O₂ pendant le Soutirage :

Pendant le transfert dans les bouteilles, la bière sera en contact avec l'air. L'oxygène de l'air dans le col va progressivement se dissoudre dans la bière après soutirage. Cette oxydation aura des conséquences néfastes :

- ❖ Suite à l'oxydation des matières amères du houblon et des matières volatiles (α -acétolactate), le gout et le parfum de la bière vont devenir déplaisant.
- ❖ La diminution de la stabilité colloïdale de la bière.
- ❖ L'augmentation de la coloration de la bière.

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.

a. Trouble au froid :

Matières azotées	40 à 76 %
Tanins	17 à 55 %
Polyphénols	10 à 30 %
Cendres	2 à 3 %
Humidité	70 à 80 %
Hydrates de carbone	3 à 13 %

Trouble formé lorsque la bière est refroidie à 0°C et qui se redissout lorsque la bière est réchauffée à plus de 20°C. La taille des particules de ce trouble se situe entre 0.1 et 1 μm

Tableau 7 Composition du Trouble Froid

b. Trouble Permanent:

Trouble présent dans la bière, vers 20°C ou plus la taille des particules du trouble permanent s'élève à 1-10 μm .

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

- ❖ Augmentation de La température de conservation de la bière,
- ❖ L'oxydation et surtout par la Lumière
- ❖ La présence de métaux,
- ❖ L'agitation.

3. La Bière et Le CO₂

« Le CO₂ est utilisé dans de nombreux procédés de fabrication de la bière. Il est notamment injecté dans la bière (saturation). Le CO₂ est aussi utilisé pour pressuriser les cuves de bière

finie. Lors de ces procédés, le CO₂ est en contact direct avec la bière (CO₂ gazeux dans les cuves et CO₂ dissous dans la bière). C'est pourquoi la qualité du CO₂ est fondamentale. »¹¹

4. Avantages et inconvénients des divers systèmes à gaz sur la qualité de la bière :

Tableau 8 Gaz recommandés pour divers systèmes de bière pression¹²

SYSTÈME À GAZ	AVANTAGES	DÉSAVANTAGES
Air comprimé	Faible coût par fût	Effet négatif sur l'arôme; bière éventée; donne aux bactéries aérobies, si elles sont présentes, de l'oxygène.
Air comprimé avec mélange de CO ₂	La carbonatation de la bière sera supérieure en soi à celle provenant d'un système à air comprimé.	Effet négatif sur l'arôme; bière éventée; donne aux bactéries aérobies, si elles sont présentes, de l'oxygène.
CO ₂	Le CO ₂ est présent naturellement dans la bière. Ce système aidera à maintenir le bon niveau de carbonatation; de plus, il n'y a pas d'oxygène pour détériorer la bière.	Les coûts d'exploitation initiaux sont plus élevés que dans le cas de l'air comprimé. Cependant, ce coût sera probablement récupéré grâce à une plus grande satisfaction des clients et à une diminution des pertes de bière pression.
Mélanges N ₂ /CO ₂ i) Gaz pour la bière : 70 % N ₂ / 30 % CO ₂ ii) Mélange 50/50 : 50 % N ₂ / 50 % CO ₂	Pour les conduites de 9 mètres et plus, le mélange 50/50 permet une pression suffisante dans le système pour maintenir le débit sans influencer négativement sur l'équilibre du CO ₂ . En général, le mélange N ₂ /CO ₂ aide à maintenir la carbonatation d'autres bières; l'oxygène ne peut requies – il permet une pression plus élevée pour distribuer la bière sans l'intervention de pompes. Les mélangeurs de gaz et les générateurs d'azote peuvent réduire les coûts globaux en gaz.	Les mélanges N ₂ /CO ₂ représentent un coût plus élevé que les systèmes fonctionnant uniquement au CO ₂ . Le gaz pour la bière assure la nitrogénéation et fait en sorte que les bières sans azote s'éventent et sont moins rafraîchissantes. On ne peut obtenir partout un mélange 50/50 déjà prêt.
Mélangeurs de N ₂ / CO ₂ Et générateurs d'azote avec mélangeurs	Mélangeurs simples et doubles disponibles pour différents types de bière. Si l'on utilise un générateur d'azote, il n'est pas nécessaire de commander des bouteilles de N ₂ . Les inquiétudes en matière de sécurité avec les bouteilles sont éliminées. Le générateur d'azote présente aussi un coût moindre que les gaz mélangés au préalable.	Les générateurs d'azote doivent être achetés ou loués, ce qui donne des coûts d'installation plus élevés.

III. Partie Pratique:

L'évolution du potentiel d'oxydation présent dans la bière à partir de l'étape de maturation jusqu'au produit fini a amené l'objet de mon travail vers une étude expérimentale comprenant 2 volets essentiels :

Le 1^{er} Essai : Mesure des Concentrations en O_2 à l'aide d'un orbisphère dans : les cuves de fermentations, Tanks bière claire et l'entrée de la soutireuse.

Le 2^{ème} Essai : Étude de l'évolution du taux de gaz étranger dans le **Head Space au niveau du produit fini** à l'aide d'une burette à gaz remplie de lessive de potasse.

1. Mesure du taux d' O_2

a. Appareillage :

L'orbisphère est un instrument de mesure du taux oxygène en phase liquide.



Figure 7 Orbisphère

b. Mode Opérateur :

La chambre à circulation est utilisée pour mettre en contact l'échantillon à partir d'un point d'échantillonnage. Au niveau de ce point un tuyau est raccordé à l'entrée de 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.

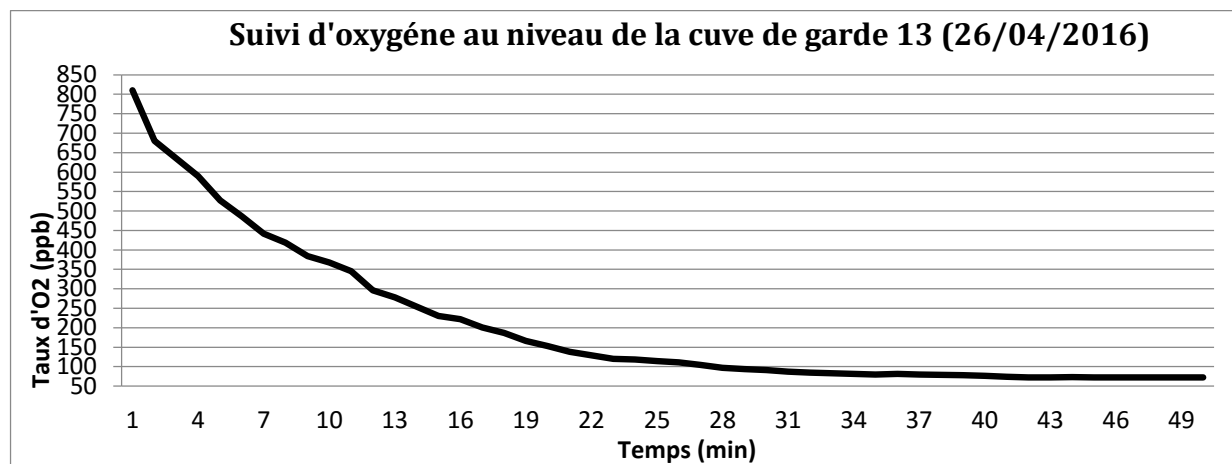
- o On doit tout d'abord ajuster le débit d'échantillon, à travers la chambre à circulation, à une valeur de 100 ml/min.
- o On met le système en fonction en appuyant sur ON/OFF puis on attend quelques secondes jusqu'à ce que le système effectue son autocontrôle et affiche les mesures de concentrations en oxygène.
- O 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.
- o 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 ($\mu\text{g/l}$ d'oxygène dissous) et en $^{\circ}\text{C}$ (température de l'échantillon).

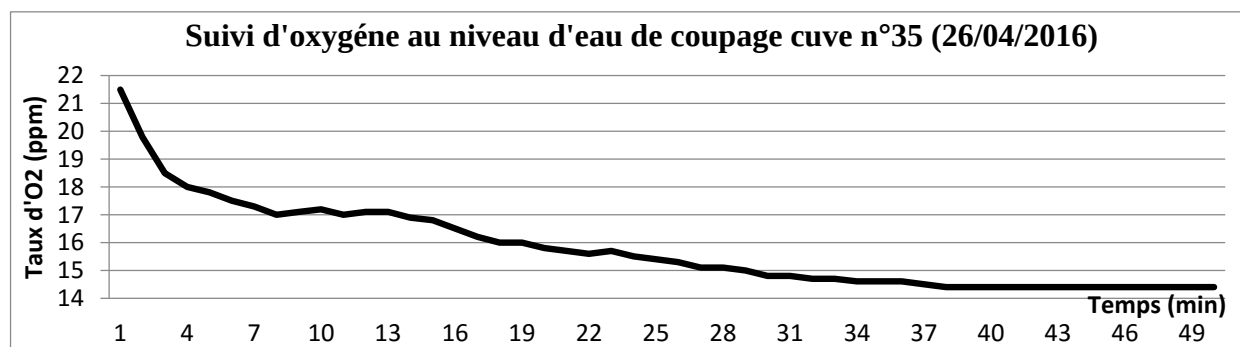
- o Le passage de l'affichage des quantités d'oxygène vers la température s'effectue en appuyant sur la touche ($\uparrow$ ou $\downarrow$) et vice versa.

c. Résultats du Suivi du taux d' O_2 :

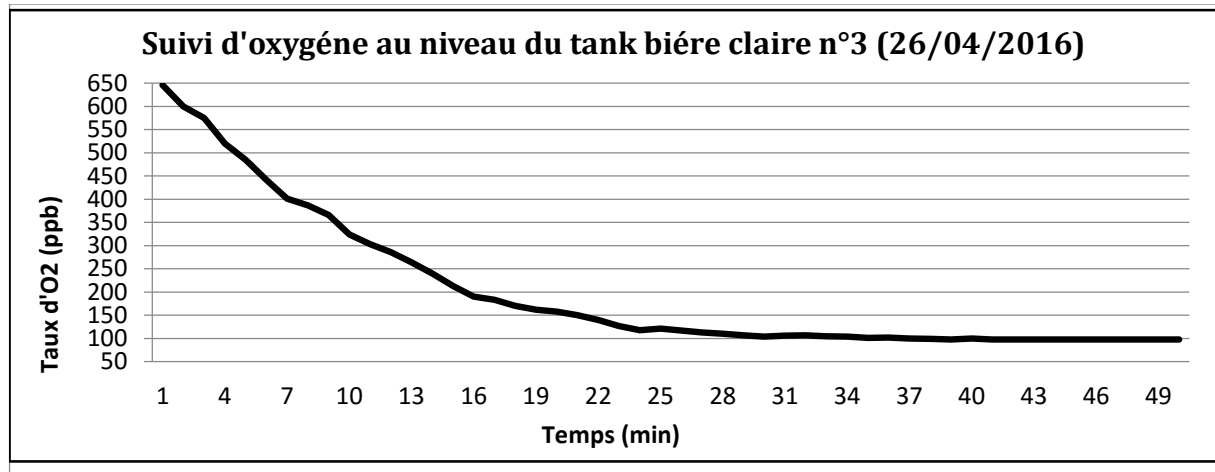
Ces mesures sont prises au cours de 50 à 60 min, durant lesquelles les valeurs des concentrations en oxygène sont prises à chaque minute. Les résultats enregistrés sont mises sous forme de graphes pour chaque étape étudiée.



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.

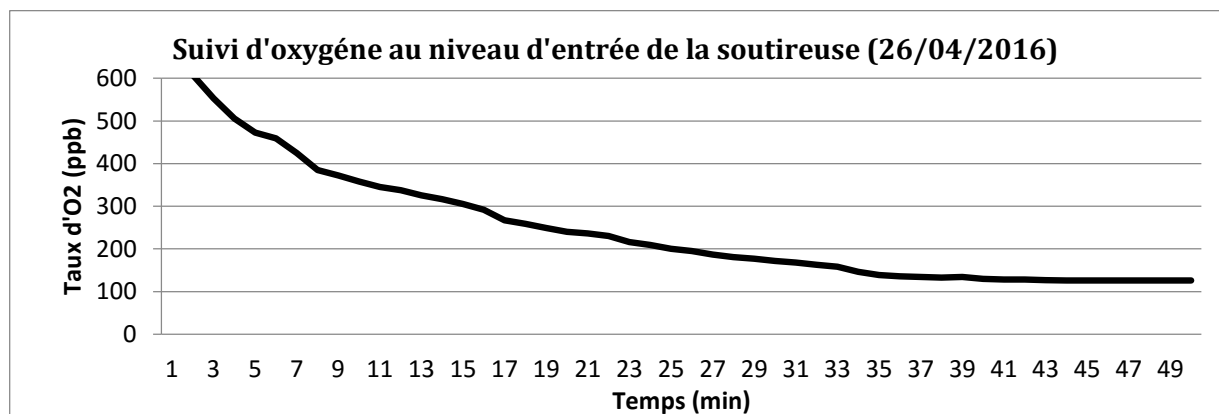


La diminution du taux d' O_2 dans l'eau de coupage partir de 21.5 ppm jusqu'à 14.5 ppm signifie que le taux d' O_2 en Bière Claire est supérieur à celui de la garde.



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

Cette concentration en oxygène est supérieure à celle mesurée dans la cuve de garde. Cela est d  à l'addition de la suspension du filtre Kieselguhr qui contient une quantité non négligeable d'oxygène.



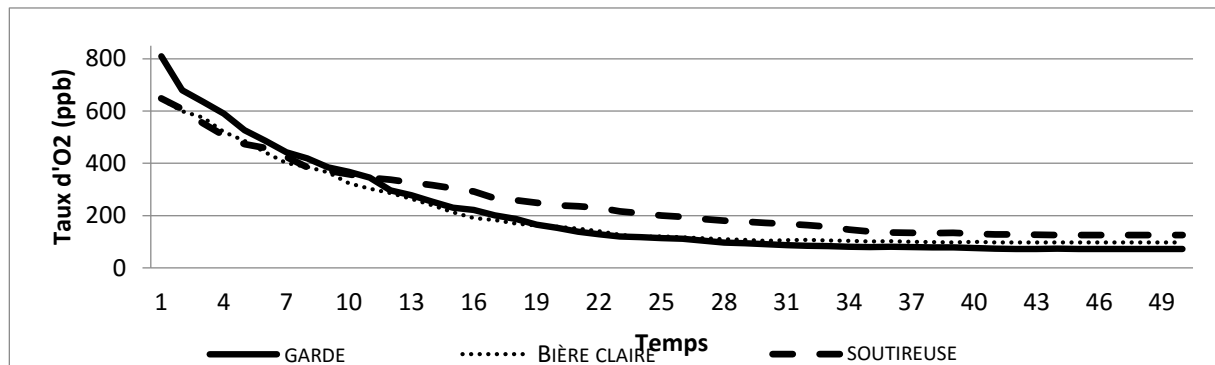
  l'entrée de la soutireuse, le taux d'oxygène diminue progressivement à 120 ppb.

d. Interprétation des Résultats:

Le taux d'O₂ dissous dans le moût est très important, car le moût a été aérer pour assurer une bonne multiplication de la levure.

Pendant la période de garde le taux d'oxygène diminue jusqu'à des valeurs minimale, ce qui est expliqué par la consommation d'oxygène par la levure au début de fermentation et précisément pendant la phase de respiration qui permet sa croissance et sa développement.

Au niveau de la bière claire, il y a une augmentation importante du taux d'O₂ due essentiellement à la méthode de coupage et de filtration, mais il reste toujours dans les normes.



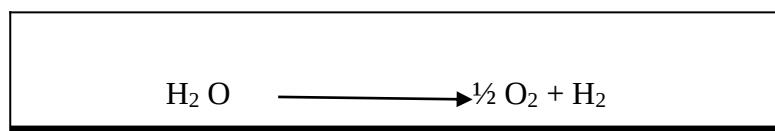
Ainsi on distingue une large différence entre le taux d'oxygène dissous mesurer à l'entrée de la soutireuse et le taux d'oxygène dans le produit fini, ce qui nous informe qu'il y'a une défaillance au niveau de la soutireuse. Parmi les différents facteurs qui sont à l'origine de la variation du taux d'O₂ dissous lors de la fabrication de la bière, on cite :

❖ 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 complètement après la fermentation. 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° plateau) à une bière de 12° plateau pour le type « spéciale », l'eau de coupage utilisé est déjà traité et désaérer, mais malgré ça il contient un taux d'oxygène dissous entre 14 et 19 ppm, qui peut être expliqué par la décomposition d'eau selon la réaction suivante :



❖ 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. Cet accroissement 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 l'eau et 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 une reprise importante d'oxygène par la bière car si par hasard la vidange de l'alluvionneur est totale, la pompe doseuse peut aspirer l'air et l'injecter dans la bière.

c. Conclusion :

D'après le suivi du taux d'oxygène dissous au cours de la chaîne 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.

2. Mesure du taux de Gaz étranger:

Le suivi du taux d'oxygène dissous dans la bière reste incomplet, et il faut le compléter par la mesure du taux des gaz étrangers au niveau du produit fini, pour qu'on puisse déterminer le degré d'influence d'oxygène sur la qualité de la bière. La valeur des gaz étrangers ne doit pas dépasser le ml/l.

a. Principe :

- Établir un équilibre entre la phase gazeuse et la phase liquide dans la bouteille.
- Sans aucune agitation préalable de l'échantillon, passer le HeadSpace tout entier dans une burette à gaz remplie de lessive de potasse.
- Le Gaz Carbonique du HeadSpace est lié à la lessive de potasse.



Figure 8 Burette à Gaz

b. Mode Opératoire :

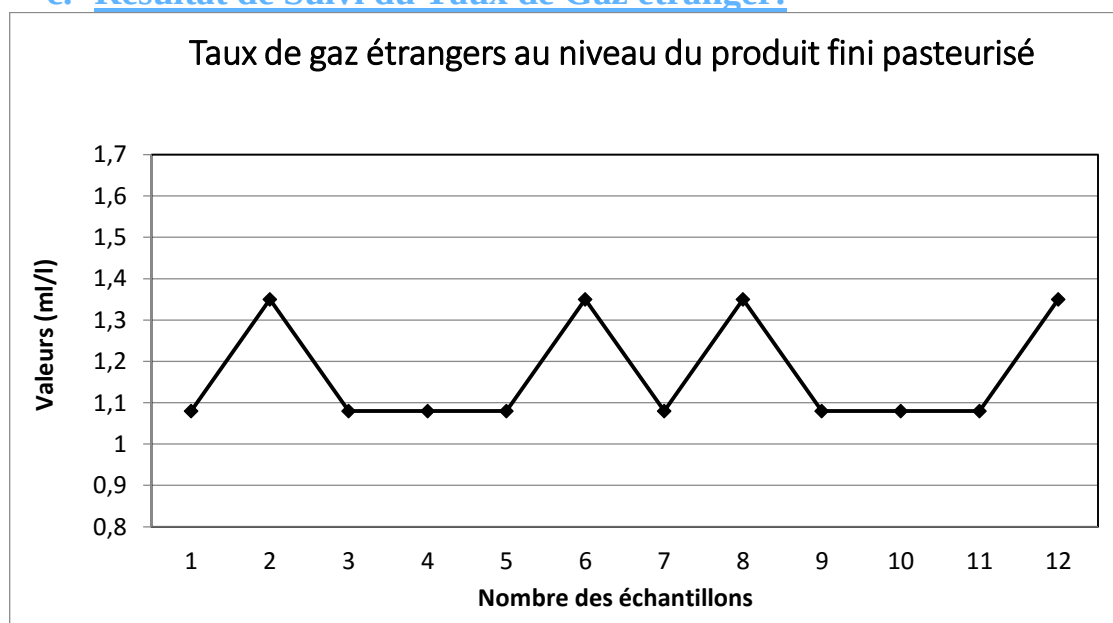
- Chasser l'air de l'appareil
- Placer la bouteille sur le statif de mesure
- Fermer le robinet de purge
- Percer la bouteille
- Ouvrir le robinet de la burette à gaz en frappant sur la bouteille avec un objet dur.
- Déplacer le HeadSpace
- Fermer ensuite le robinet de la burette à gaz
- Lecture du volume de gaz étranger **a** dans la burette :

$$\text{Taux de gaz étranger} = \frac{1.3 \cdot 1000 \cdot a}{v} \text{ ml de gaz/l}$$

Avec v : volume de la bière dans la bouteille (ml) / a : volume du gaz étranger lu dans la burette (ml)

Le facteur 1.3 n'est valable qu'entre 18 et 22°C lorsque le volume de la phase gazeuse est de 5 à 6%.

c. Résultat de Suivi du Taux de Gaz étranger:



Le graphe 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 1,1ml /l et 1.4 ml /l. Il est donc presque le même dans toutes les bouteilles analysées. Ceci est en accord avec des travaux antérieurs qui déclarent une satisfaction lorsqu'on trouve moins de 2 ml d'oxygène au niveau du produit fini et bien souvent on en trouve un peu plus.

IV. Suggestions pour la réduction du taux d'oxydation à la bière et le maintien de stabilité :

1. Amélioration de la Stabilité Colloïdale

a) Par élimination des Polyphénols

- ❖ **Charbon actif** : utilisé pour adsorber les Polyphénols et les composés protéiques et pour éliminer les faux-goûts de la bière.
- ❖ **Nylon** : Les polyamides sont des adsorbants spécifiques des anthocyanogènes.
- ❖ **Perlon polyamide** : 50-100g/hl. Le perlon agit également de façon voisine de celle du nylon sur les Polyphénols.
- ❖ **Kératine** : 20-150g/hl. Ce composé adsorbe les Polyphénols.
- ❖ **Traitement par E.D.T.A** : L'éthylène-diamine-tétraacétate est utilisé dans l'industrie pour empêcher l'action nocive des métaux lourds qui provoquent des troubles colloïdaux
- ❖ **Traitement au P.V.P** : il stabilise la bière contre le trouble au froid.
- ❖ **Élimination des Polyphénols à partir :**
 - *De l'orge : orge sans proanthocyanidine*
 - *Du mout : polymérisation des Polyphénols oxydase, formaldéhyde*
 - *De la bière : polyamides PVPP.*

b) Par élimination des Protéines :

- ❖ **Élimination des protéines à partir** : du malt ou *de la bière par utilisation des enzymes protéolytiques, ou précipitation des gallotannins ou encore adsorption des silicagels, bentonites.*

2. Traitement aux réducteurs

Ce traitement a pour but de fixer l'oxygène dissout dans la bière. Les réducteurs d'après une méthode spectro-photométrique au 2,6-dichlorophénol-indophénol (DCI) peuvent être classés en 3 groupes :

- ❖ **Les réducteurs immédiats** qui réduisent le DCI en moins de 15 secondes à 20°C : acide ascorbique, les fonctions –SH en grande partie et une partie des fonctions réductrices des réductones et melanoïdines.
- ❖ **Les réducteurs rapides** qui agissent en moins de 5 minutes : ce sont les fonctions réductrices moins actives que les précédentes des réductones et melanoïdines et éventuellement le SO₂.



- ❖ **Les réducteurs lents** qui réagissent jusqu'à 150 minutes : ce sont les tanins, résines et fonctions secondaires de melanoïdines.

3. Contrôle de L'Oxygène :

Contrôler O₂ 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 procédé de brassage il faut travailler à des températures d'empattage élevées (62°C) et pH de la maische bas.

CONCLUSION

Le présent travail avait comme objet l'évaluation du taux oxygénique et le taux de gaz étranger, afin de trouver les étapes de fabrication de la bière qui sont à l'origine de l'augmentation de ces taux. Pour réduire ces taux, je propose des techniques réalisées dans la Majorité des brasseries Européennes et qui peuvent être applicables à SBM Fès.

Ce stage à SBM Fès m'a permis aussi de connaître que l'O₂ est une pièce à 2 faces :

1. La 1ère face représente les 2 effets néfastes pour toute bière filtrée et embouteillée :
 - ✚ Oxydation de la bière
 - ✚ Formation des troubles Colloïdaux
2. La 2^{ème} face réside dans son importance pour initier la fermentation (la multiplication des levures).



BIBLIOGRAPHIE & WEBOGRAPHIE

¹ <http://www.leconomiste.com/article/certi...>

² Documents internes de la SBM FES

³ Documents internes de la SBM FES

⁴ Documents internes de la SBM Fès

⁵ <http://la-cave-de-gambrinus.com/category/la-biere/zythologie/fabrication-de-la-biere/?age-verified=c61d0d00a8>

⁶ <http://la-cave-de-gambrinus.com/category/la-biere/zythologie/fabrication-de-la-biere/?age-verified=c61d0d00a8>

⁷ <http://www.citepa.org/fr/air-et-climat/polluants/metaux-lourds/arsenic>

⁸ Documents internes de la SBM Fès

⁹ « Plantes médicinales 2 » de Schmelzer et Gurib Fakim

¹⁰ IMPACT ET MAITRISE DE L'OXYGÈNE EN BIÈRE, 'IFBM' INSTITUT FRANÇAIS DES

BOISSONS, DE LA BRASSERIE ET DE MALTERIE.

¹¹ http://fr.mt.com/fr/fr/home/supportive_content/specials/enews_co2.html

¹² BIÈRE PRESSION : GUIDE TECHNIQUE SUR LA DISTRIBUTION - 2007
COMITÉ DE LA QUALITÉ DES PRODUITS