

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	3
Chapitre I	
I. Présentation de BRANOMA.....	5
1. Informations générales	5
2. Structure organisationnelle	6
II. Généralités sur la bière	7
1. Définition	7
2. Histoire de la bière	7
3. Ingrédients.....	8
4. Composition de la bière.....	11
Chapitre II	
I. Processus de la fabrication.....	13
1. Le maltage	13
2. Le concassage.....	14
3. Le brassage.....	14
4. La fermentation	16
5. La filtration.....	18
6. Le conditionnement.....	19
Chapitre III	
I. Partie théorique	21
1. La bière et l'oxygène.....	21
2. La Stabilité colloïdale.....	22
II. Partie pratique.....	26
1. Mesure du taux d'oxygène	26
2. Mesure du taux du gaz étranger	29
III. Techniques proposées pour réduire le taux d'oxydation de la bière et maintenir sa stabilité colloïdale	30
1. Stabilisants améliorant la stabilité colloïdale	30
2. Traitement aux réducteurs	31
3. Prévention de l'oxydation	32
4. Prévention de la formation des troubles colloïdaux.....	33
CONCLUSION GENERAL	34

INTRODUCTION

La fabrication de la bière a évolué à travers les âges. Ce que l'on considérait comme de la bière il y a 8 000 ans est sans aucun doute très éloigné de ce que nous connaissons aujourd'hui.

Les brasseurs ont adapté le mode de fabrication en fonction des évolutions techniques et des matières premières disponibles. Ce qui n'était autrefois qu'une sorte de « bouillie » alcoolisée plus proche des aliments solides que des boissons, est devenu, notamment grâce aux progrès de la microbiologie et des techniques industrielles, la boisson limpide que l'on connaît aujourd'hui.

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 du gaz étranger « l'oxygène », cette non stabilité touche en particulier la flaveur et la couleur de la bière.

La stabilité de la bière est un souci majeur pour les brasseurs, qui doivent garantir, sur une période de plus en plus longue, la qualité à plusieurs niveaux : stabilité microbiologique, stabilité colloïdale, stabilité de la mousse, de la couleur et de la flaveur.

Actuellement, les brasseurs cherchent à prendre le plus de précautions possibles pour éviter l'oxydation, notamment en évitant l'incorporation d'une quantité importante d'oxygène tout au long du procédé de fabrication de la bière, afin d'améliorer sa stabilité organoleptique pendant son stockage.

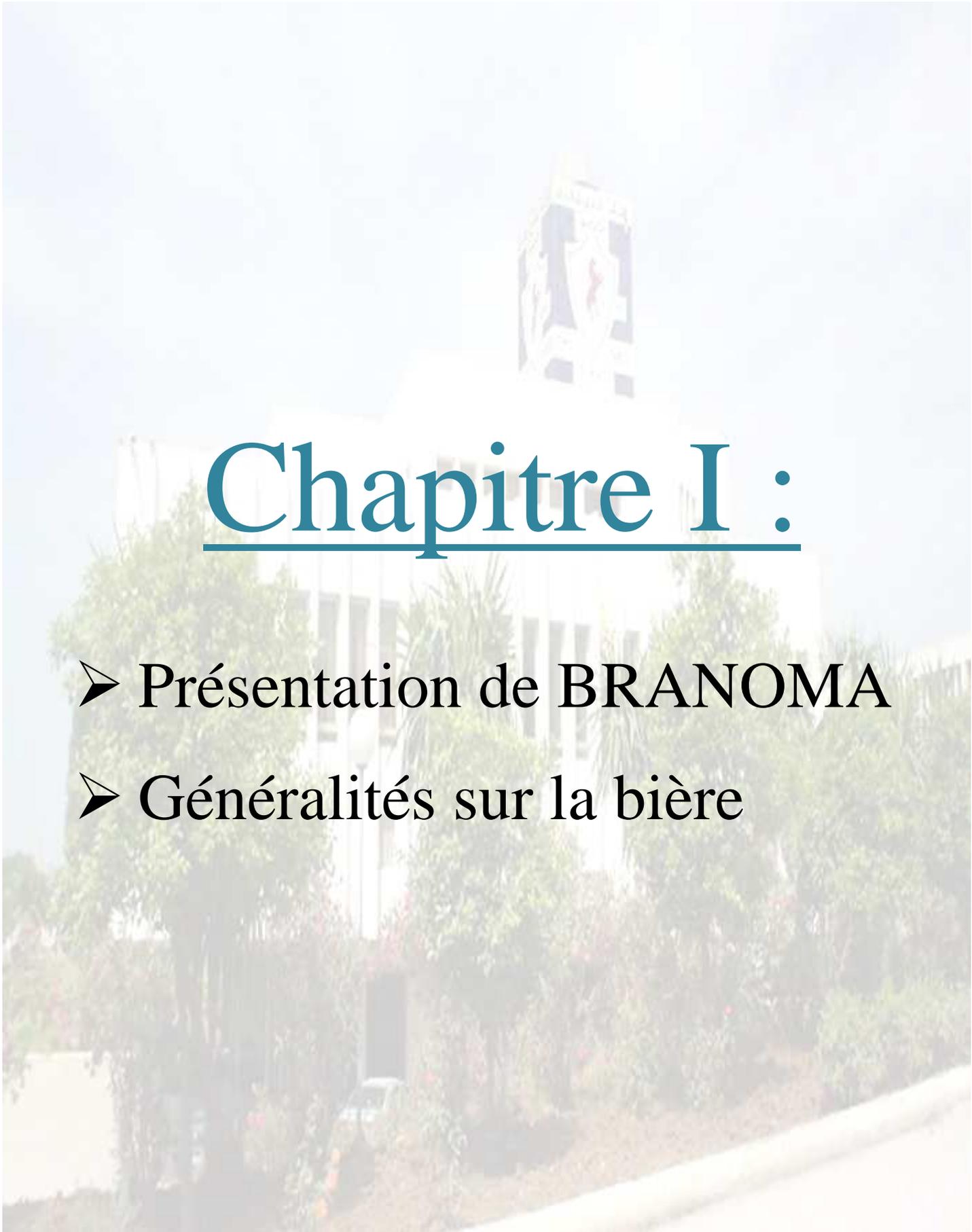
Mon travail consiste à déterminer l'impact de l'oxygène sur la bière ainsi que sa stabilité colloïdale. Afin de diminuer son action sur la qualité de la bière. Le plan que j'ai adopté est comme suit :

Le premier chapitre sera consacré à une présentation de BRANOMA, avec un aperçu général sur la bière, ses ingrédients, et sa composition chimique.

Le deuxième chapitre porte sur les différentes étapes du processus de fabrication.

Le troisième chapitre porte deux parties :

- une **théorique** qui traitera l'impact d'oxygène sur la qualité de la bière en particulier sa stabilité colloïdale
- une autre **pratique** dans laquelle un 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 I :

- **Présentation de BRANOMA**
- **Généralités sur la bière**

I. Présentation de BRANOMA

1. Informations générales

Date de création	: 1947
Arrêt de production des boissons gazeuses	: 1982
Déménagement à la nouvelle usine	: JUIN 2004
Arrêt de production de la Heineken	: 1990
Licence Heineken accordé à BRANOMA	: 1979
Raison sociale	: Brasserie du Nord Marocain.
Statut juridique	: Société Anonyme (S.A)
Capital social	: 50 000 000 Dhs.
Actionnariat	: Société des Brasseries du Maroc et autres.
Adresse	: Rue Ibn EL Khateb Sidi Brahim quartier Industriel Fès BP 2100.
Effectifs	: 151
Capacité de production	: 200 000 Hl/an
Surface totale	: 30 500 m ²

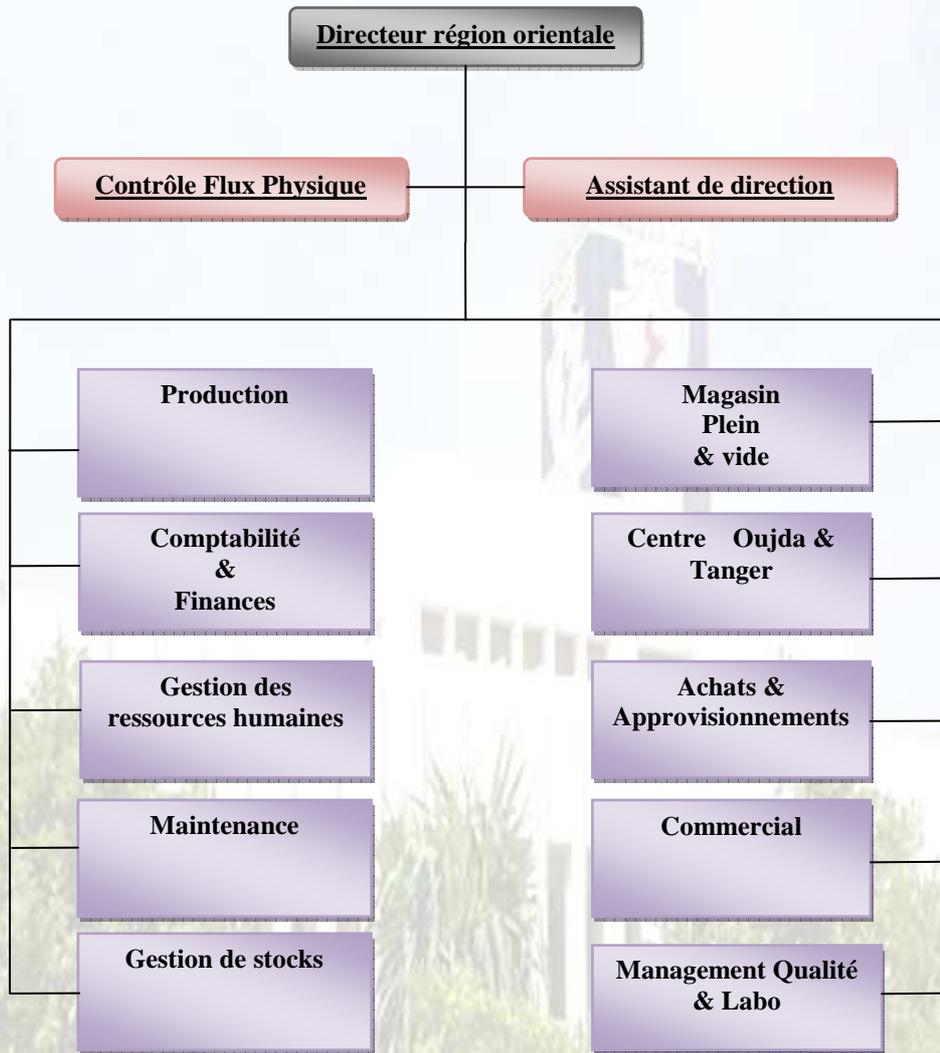
Domaines d'activité

- Fabrication, conditionnement de bière : Stork, Flag Spéciale.
- Distribution des produits BRANOMA, EAE & SBM.

Champ de certification

- ISO 9001 version 2008

- ISO 22 000 version 2005



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

2. Structure organisationnelle (Figure 1)



Figure 1 : Organigramme de l'entreprise de BRANOMA

II. Généralités sur la bière

1. Définition

La Bière est une boisson provenant de la fermentation d'un extrait aqueux de céréales germées, additionnées de houblon.

2. Histoire de la bière [1]

La bière est l'un des breuvages alcoolisés les plus anciens. Les premières traces de son existence remontent à environ 4000 ans avant J-C en Mésopotamie. Des tables d'argile témoignent de la présence d'une boisson fermentée élaborée à base de grains, le « Sikaru ». Ce breuvage fort apprécié a été l'objet de différentes croyances tout au long de son histoire. Sous l'ancienne Egypte, la " bière " était une boisson d'origine divine. Selon la légende, le dieu Osiris aurait oublié au soleil une décoction d'orge mélangée à de l'eau sacrée du Nil, créant ainsi "le vin d'orge". La bière était préparée par des femmes et servie par des prêtresses. La divine bienfaitrice est de plus en plus appréciée et ses usages thérapeutiques se multiplient. La bière s'affirme également comme boisson d'accueil, comme aliment, puis devient monnaie d'échange.

Antiquité

Dans la Grèce Antique, la bière est reconnue pour ses vertus médicinales. Mais les Grecs et les Romains, grands amateurs de vin, ne s'intéressent guère à la bière.

Pour les Gaulois, la bière ou Cervisia (Cervoise en l'honneur de Cérès, la déesse des moissons) est une véritable potion magique. Les Gaulois sont aussi les inventeurs du tonneau permettant de mieux contrôler la fermentation et le stockage de la cervoise. La recette ressemble étrangement à celle que l'on connaît aujourd'hui mais la bière était aromatisée (miel, épices et plantes aromatiques).

Moyen Age

C'est au VIII^{ème} siècle que le houblon, plante réputée pour ses vertus antiseptiques, fit une apparition dans la fabrication de la bière et y conféra sa délicieuse amertume.

La fabrication devient alors un art particulièrement subtil. A ce jeu là, les moines se montreront experts. Et certains noms d'abbayes traverseront les siècles. Durant tout le Moyen-âge, la bière s'épanouit principalement dans le Nord, chez les peuples anglo-saxons.

La boisson religieusement fermentée connaît de nombreux adeptes chez les germains et ce sont eux qui lui donneront son nom actuel : "Bier", qui deviendra "Bière".

Charlemagne, par soucis de qualité, confère le monopole de la fabrication de la bière aux moines. Du IX au XIVe siècle, la bière était principalement fabriquée par les moines. Les laïcs s'adonnant à cette pratique devaient s'acquitter d'une taxe : le droit de Gruyt qu'ils reversaient aux moines.

Renaissance

En France, la fabrication de la bière est codifiée réglementée et fiscalisée, le statut des brasseurs de Paris est défini en 1489 et le terme de «bière» est utilisé. La bière doit être fabriquée uniquement par des maîtres brasseurs et à partir des ingrédients suivants : du grain, de l'eau et du houblon.

La révolution industrielle

Depuis toujours la bière est un produit instable et fragile la fermentation reste un phénomène mystérieux et divin. En 1854, Pasteur s'intéresse à la chimie de la fermentation et met à jour l'existence de micro-organismes dans la levure. Les recherches scientifiques sur les micro-organismes vont permettre de maîtriser le processus de la fermentation alcoolique et d'améliorer les conditions sanitaires des brasseries afin de produire une boisson plus saine et plus claire.

Pour les brasseurs et tous les amoureux de la bière, c'est une révolution! Cette boisson fragile peut maintenant être conservée et consommée loin de son lieu de fabrication. Le développement de la verrerie, des appareils de filtration, du soutirage sous-pression, de l'embouteillage et de la réfrigération permet d'accroître la qualité et la production.

Les brasseries fonctionnent désormais en toute saison, quels que soient les caprices du temps. Le fruit des brasseries est maintenant très répandu en Europe.

De nos jours

Le goût de la bière devenu maintenant plus doux attire une nouvelle clientèle. Le brassage de la bière et la distribution se font à une plus grande échelle. C'est ainsi que nous en arrivons à la bière d'aujourd'hui, une bière aux goûts variés et consommée dans les quatre coins du monde.

La fabrication de la bière est maintenant presque totalement automatisée dans la plupart de ses étapes de fabrication, le nombre de brasseries traditionnelles est en déclin. Les nouvelles technologies et la recherche permettent d'obtenir un produit de très bonne qualité.

3. Ingrédients

Les matières premières essentielles pour la fabrication de la bière sont :

- ✓ L'orge
- ✓ L'eau
- ✓ Le houblon
- ✓ La levure

3.1. L'orge

L'orge est particulièrement bien adaptée à la fabrication de boissons fermentées car elle renferme le taux de sucres fermentescibles le plus élevé parmi les céréales.

De plus, elle a la particularité de posséder une enveloppe résistante (la balle) qui sert :

- ❖ à protéger le grain pendant les manutentions et le maltage,
- ❖ de filtre naturel lors de la première étape du brassage pendant la séparation solide/liquide de la maische (mélange d'eau et de farine de malt).

D'une part le grain d'orge renferme de l'amidon qui, lors de la fabrication de la bière, est transformé en sucres fermentescibles qui sont à leur tour transformés en alcool.

D'autre part sa teneur en protéines joue un rôle très important dans la fabrication de la bière. Ces derniers servent de nourriture à la levure pendant la fermentation et sont les principaux facteurs du mousses et du moelleux. L'orge de brasserie doit contenir entre 9 et 11,5% de protéines (idéalement 11%). La teneur en protéines exerce une influence directe sur le rendement en extrait d'une variété d'orge donnée. Un excès de protéines pose de nombreux problèmes techniques au brasseur :

- il diminue le rendement en salle de brassage,
- il provoque un trouble lors de la conservation de la bière par précipitation des complexes protéines-tanins.
- freine la pénétration de l'eau, les grains restent durs et la qualité du malt est réduite.

3.2. La levure

La levure n'est pas à proprement parlé une matière première mais un agent de fermentation. C'est un micro-organisme unicellulaire (champignon) capable de transformer le sucre en alcool et dioxyde de carbone. Elle donne le parfum et le caractère de la bière.

3.3. Le houblon

Le houblon est un condiment (épice) qui apporte l'amertume à la bière. Cette substance donnera amertume et parfum à la bière et les tanins qu'elle contient permettront de clarifier le moût et de conserver la bière grâce à ses propriétés antiseptiques.

On distinguera deux grandes familles de houblons : les amérisants (riches en acide α 10 à 15%) et les aromatisants (pauvres en acide α 2 à 5%). L'houblon renferme 15% des protéines, 4% des tanins, 8% des cendres, 3% des lipides, 6 à 10% d'humidité, 2% des monosaccharides, 0,1% d'acides aminées libres, 0,5% des huiles essentielles, 15% des résines et 40% de celluloses, des lignines et d'autres composés fibreux.

3.4. L'eau

L'eau est omniprésente à tous les stades de la fabrication de la bière. La qualité de l'eau de brassage est essentielle pour la clarté et le goût de la bière.

Elle permet au malt et au houblon de libérer leurs sucres, arômes et parfum, et stimuler la levure afin qu'elle transforme les sucres en alcool. 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.

À BRANOMA, le traitement de l'eau est considéré comme 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, de lavage et de pasteurisation, et par un adoucisseur automatique pour l'eau de brassage qui subit ensuite une déchloration sur charbon actif.

L'eau de brassage doit être conforme aux normes de l'eau potable :

- le pH doit être compris entre 6,5 et 9
- les concentrations en minéraux sont présentées dans le tableau 1:

Composition chimique		
Ion	Quantité	Effet
Bicarbonate HCO_3^-	< 50 ppm	Libère du CO_2 qui diminuera le pH de la cuisson du moût, favorise l'extraction de composés aromatiques désagréables du houblon.
Calcium Ca^{2+}	< 270 ppm	Pouvoir acidifiant qui améliore la filtration et la coagulation des protéines, favorise la floculation des levures, protège l'alpha amylase de la chaleur.
Sulfate de calcium CaSO_4 (gypse)	< 800 ppm	
Chlorure de calcium CaCl_2	< 100 ppm	
Chlorure Cl^-	< 100 ppm	Améliore la stabilité et le moelleux mais provoque la floculation des levures
Cuivre Cu^{2+}	< 10 ppm	Toxique pour la levure et catalyse l'oxydation.
Fe^{2+}	< 1 ppm	Problématique tout au long du brassage (goût astringent, inhibe les amylases, néfaste pour les levures)
Manganèse Mn^{2+}	< 0.2 ppm	Poison pour la levure
Magnésium Mg^{2+}		Développe un goût aigre à la bière
Chlorure de magnésium MgCl	< 100 ppm	
Sulfate de magnésium MgSO_4	< 100 ppm	
Nitrate NO_2^-	< 20 ppm	Très mauvais pour les levures, même à faibles doses.
Phosphore P	< 10 ppm	
Silicate SiO_2	< 30 ppm	
Chlorure de sodium Na^+	< 300 ppm	Développe un goût peu agréable
Sulfate	< 650 ppm	Acidifie le moût, donne des bières plus sèches et amères
Zinc	< 0.6 ppm	Toxique en grandes concentrations mais indispensables aux levures.

Potassium	< 75 ppm	Poison pour les enzymes si présent en trop grandes quantités et accessoirement laxatif.
NH ₄ ⁺		Indice putréfaction de matières organique en suspension dans l'eau.
NO ₃ ⁻		Nuisible pour les levures.

Tableau 1 : Composition chimique de l'eau [2]

4. Composition de la bière

Le tableau 2 regroupe la composition globale de la bière.

Valeur énergétique	450 Kcal
Eau	91 %
Alcool	5 %
Résidus d'hydrates de carbone	4 %
Substances protéiques	6 g
Anhydride carbonique	5 g
Potassium	350 mg
Phosphore	250 mg
Magnésium	80 mg
Acide citrique	110 mg
Poly phénols	100 mg
Alcools supérieurs	100 mg
Acides aminés essentiels	80 mg
Calcium	40 mg
Sodium	30 mg
Esters	25 mg
Acide pyruvique	80 mg
Cuivre	0,05 mg
Fer	0,03 mg
Vitamine B3 ou PP (niacine)	7700 µg
Vitamine B5 (acide pantothénique)	1500 µg
Vitamine B6 (pyridoxine)	600 µg
Vitamine B2 (riboflavine)	300 µg
Vitamine B9 (acide folique)	80 µg

Vitamine B1 (thiamine)	25 µg
Vitamine H (biotine)	10 µg

Tableau 2 : Composition globale de la bière.

Chapitre II :

Procédé de la fabrication de la bière

I. Processus de la fabrication

La fabrication de la bière passe par plusieurs étapes (Figure 2). Ces étapes sont les suivantes:

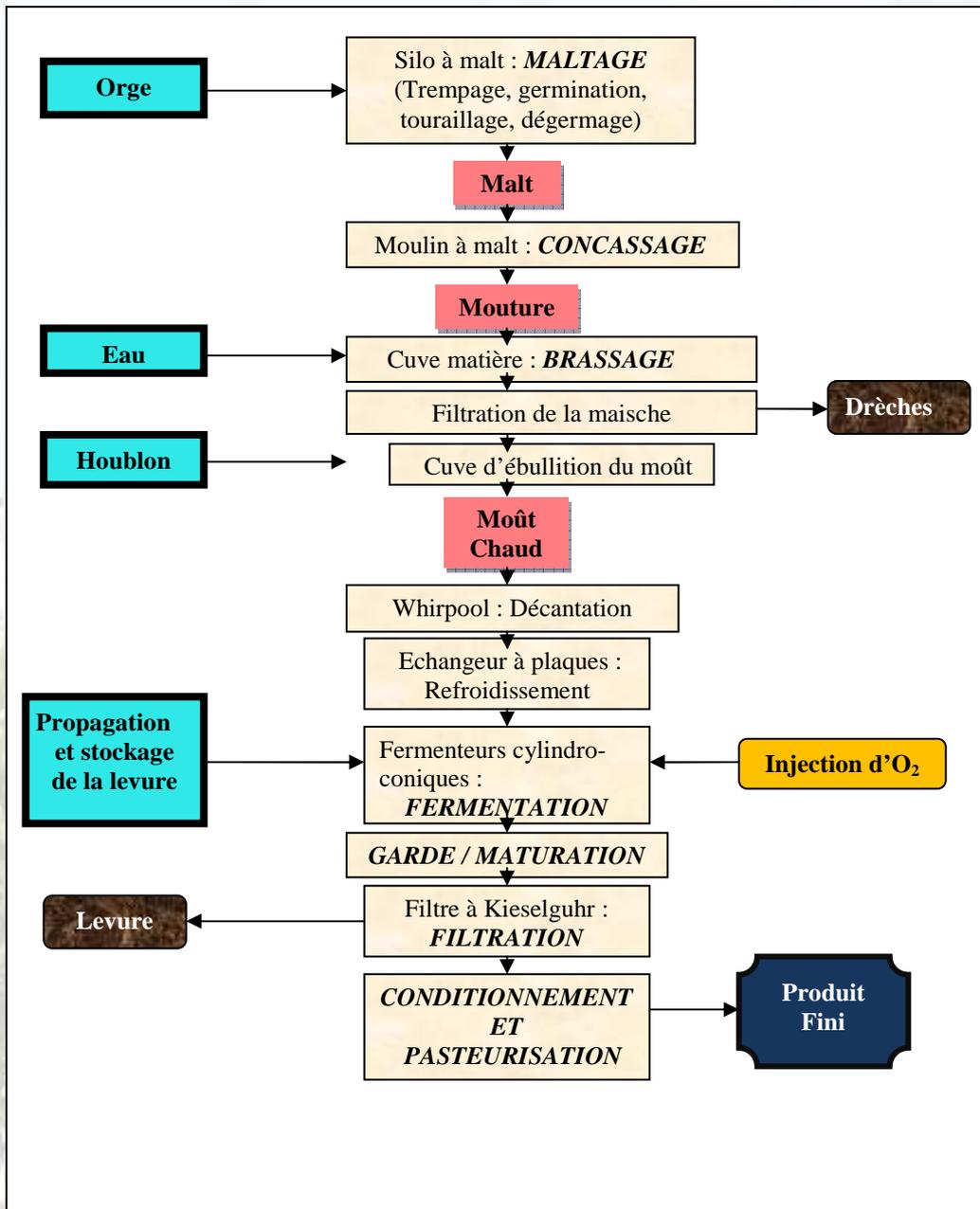


Figure 2: Procédé de fabrication de la bière

1. Le maltage

C'est la seule opération qui s'effectue dans les unités de «malterie» à l'extérieur de BRANOMA de Fès. Le but de maltage est de développer dans les grains d'orge les différents types d'enzymes capables de transformer l'amidon en sucres fermentescibles.

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

1.1. Trempage

Quand l'orge entre dans la malterie elle est d'abord nettoyée, après elle est mise dans des cuves ouvertes remplies d'eau. Elle subit un trempage par période d'une dizaine d'heure. Durant cette période les grains d'orge absorbent une quantité d'eau de 45% de leur poids. Cette opération se déroule à une température de 20 à 22°C. Le but de cette étape est de fournir à l'orge toute l'eau et l'oxygène nécessaires à la germination.

1.2. Germination

Quand l'orge absorbe une quantité suffisante d'eau, elle est transférée des cuves de trempage dans des germoirs. C'est là que la germination a lieu. Afin de pouvoir germer les grains ont besoin d'Air, d'eau et de la chaleur de 15 à 17°C.

Cette étape dure 6 jours avec humidité élevée de 45%. La germination est arrêtée dès que suffisamment d'enzymes se sont développés dans les grains d'orge.

1.3. Touraillage

Le grain est maintenant conduit à la touraille, four à air chaud pulsé, où il va être séché à une température de 45°C, pendant une vingtaine d'heure.

Quand le taux d'humidité est assez faible pour que les enzymes ne puissent plus réagir avec l'amidon, le malteur procède aux coups de feu. La température doit monter selon la couleur désirée pour le malt entre 80 et 84°C pendant 3 à 5 heures et c'est à ce moment qu'apparaissent les arômes du malt.

1.4. Dégermage

Le Malt peut maintenant passer au dégermoir qui est un grand tambour perforé, afin d'enlever les radicelles qui seront destinées par la suite à l'alimentation animale. Ne comportant plus de 1 à 4% d'humidité, le malt est maintenant un produit inerte qui peut être stocké une année avant de perdre sa qualité.

2. Le concassage

Avant de commencer le brassage, le malt doit être concassé dans un moulin. À BRANOMA 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.

Le but de cette opération est de faire éclater les grains, en évitant de faire la farine car celle-ci peut former une couche imperméable pendant la filtration. Les enveloppes des grains doivent rester entières, afin de constituer un lit filtrant pour l'opération de filtration. Ces fractions sont adaptées au filtre presse utilisé lors du brassage, et donne une meilleure filtration.

3. Le brassage

L'objectif de brassage est d'obtenir à partir des matières premières, un moût sucré et aromatisé qui, par la suite subira une fermentation alcoolique.

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 maische...

Le brassage comprend les étapes suivantes :

- L'empâtage
- La filtration.

- La cuisson et le houblonnage.
- La clarification.

3.1. L'empâtage

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. La salle de brassage à BRANOMA est équipée d'une cuve matière où se déroule l'empâtage selon plusieurs étapes :

- **La première étape** : mélanger le malt avec 2 à 3 fois son volume d'eau chaude (maïsche). L'empâtage se fait avec une maïsche concentrée à 58°C pour tenir compte des enzymes protéolytiques. Avec un ajout d'acide chlorhydrique alimentaire 33%, chlorure de calcium alimentaire CaCl_2 pour enrichir la bière en calcium, et le chlorure de zinc ZnCl_2 qui joue un rôle dans l'activation de la levure.
- **La deuxième étape** : augmenter la température à 63-65 °C pour avoir une activité optimale des β -amylases.
- **La troisième étape** : augmentation la température à 75-78°C pour avoir une activité optimale des α -amylases garantissant la saccharification.

3.2. La Filtration

L'objectif attendu par cette opération est d'avoir un moût avec une faible turbidité. La salle de brassage à BRANOMA est équipée d'un filtre presse, dans lequel la partie liquide se délève de la partie plus ou moins solide (également appelée le drèche).

Les drèches contiennent en moyenne 20% de matières sèches (Tableau 3) et 80% d'humidité. Un versement classique 100 Kg de maïsche donnent environ 120-130 Kg de drèches suivant la composition du versement. Les nouveaux filtres à maïsche cités fouissent des drèches avec beaucoup moins d'humidité. Les drèches sont utilisées dans l'alimentation animale.

	Sur matière humide
Matières azotées totales	5-7%
Matières azotées digestibles	3-5%
Cellulose	3-5%
Matières grasses	1,5-2,0%
Extrait non azoté	9-10%
Matières minérales	0,7-1,0%

Tableau 3 :

	Sur matière humide
- Matières azotées totales	5-7%
- Matières azotées digestibles	3-5%
- Cellulose	3-5%
- Matières grasses	1,5-2,0%
- Extrait non azoté	9-10%
-Matières minérales	0,7-1,0%

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 amère et ses arômes. Les objectifs de l'ébullition du mout sont multiples :

- ✓ Inactivation des enzymes
- ✓ Stérilisation du mout
- ✓ Concentration du mout
- ✓ 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.

3.4. La clarification / Refroidissement

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. Ceci est assuré par l'eau alcoolisée selon le schéma de la figure 3.

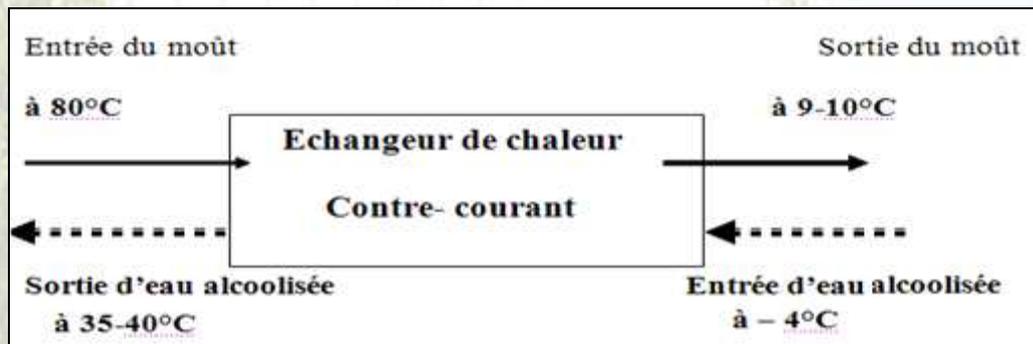


Figure3 : refroidissement du moût

4. La fermentation

BRANOMA possède une salle de fermentation contenant :

- Un refroidisseur (échangeur contre courant).
- 11 fermenteurs.
- 3 levuriers.
- Filtre à plaque (filtre à Kieselguhr).
- 3 tanks bière claire.

A BRANOMA, on utilise la fermentation basse, qui s'effectue à basse température ($\leq 15^\circ\text{C}$). Le moût passe par 2 étapes :

- ✓ **Aération** : le fermenteur est saturé en oxygène obtenu par purification d'air à travers une membrane permettant la filtration des micro-organismes pour éviter toute contamination possible du moût.
- ✓ **Ensemencement** : Il s'agit d'injection de la levure qui se trouve dans les levuriers. Le moût clarifié et oxygéné estensemencé juste à la sortie du réfrigérant avec de la levure liquide à raison de 0.5hl/hl du moût à 9-10°C.

Le séjour du mélange moût et levure demeure 21 jours dans les cuves de fermentation. Durant cette période la levure consomme 96% de sucres en libérant le gaz carbonique (CO₂) et l'alcool éthylique selon la réaction :



1g de sucre → 0,49g de CO₂ + 0,47g d'éthanol

Le diagramme de la figure 4 représente la variation de température et de densité dans le fermenteur en fonction du temps.

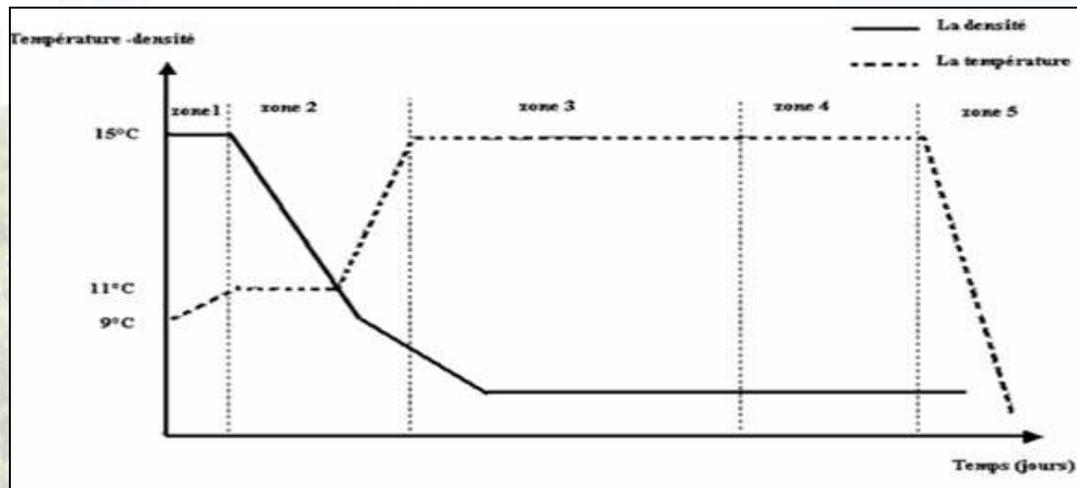


Figure 4 : Variation de la température et de la densité durant la fermentation

Zone 1 : La température d'entrée du moût dans le brassin est de 9-10°C. Dans cette zone, on assiste à une division cellulaire des levures puisqu'il y a présence d'oxygène. L'oxygène du milieu s'épuise pendant cette phase. La température augmente mais elle est maintenue dans la consigne par un système de froid à l'eau alcoolisée circulant dans des poches appropriées.

Zone 2 : Le passage à la consigne 11°C après 24 h de fermeture du fermenteur favorise la fermentation. On maintient cette consigne pendant 3 à 5 jours. On assiste à une diminution de la densité ce qui reflète la consommation des sucres fermentescibles avec production d'alcool et CO₂.

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 sucre fermentescible.

Cette zone est une étape intermédiaire entre la fermentation et la garde caractérisée d'une longue durée de séjour à 15°C favorisant les réactions chimiques dans le milieu. On prévoit dans cette période un début de récupération de levure (lorsqu'on constate une stabilité de la densité pendant 2-3 jours successifs).

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 CO₂ 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

5. La filtration

La filtration est une opération nécessaire pour éliminer la levure, les particules colloïdales et pour donner à la bière la limpidité et la brillance recherchées. A BRANOMA on utilise des filtres à Kieselguhr. Ce filtre est composé de deux parties principales :

- **L'alluvionneur ouvert :**

Depuis lequel le Kieselguhr est injecté en mélange avec la bière provenant de la cuve de garde. Le Kieselguhr est un minerai que l'on trouve en gisement épais à certains endroits où de grands lacs se trouvaient il y a des millions d'années. Le Kieselguhr est formé de restes squelettiques de très petites formes de vie ayant existé dans ces lacs. Après qu'on l'a extrait, le Kieselguhr brut doit être nettoyé, calciné, moulu en poudre blanche très fine. Ce Kieselguhr est utilisé pour la filtration.

Un agitateur maintient la suspension de Kieselguhr en mouvement. Afin d'éviter que la poudre ne se dépose pas au fond de réservoirs.

- **Le filtre fermé :**

Renferme un certain nombre de plateaux filtrants (34 plaques), qui maintiennent le gâteau fixe pendant la filtration. Entre la paroi et ces plateaux, il y a un certain espace par lequel la bière filtrée peut couler vers la sortie.

La Filtration commence lorsque les précouches sont préparées. On pompe la bière de la cuve avec une vitesse de 70hl/h afin de conserver la poudre sur les plaquettes du filtre. La bière vient avec une température de 1-2°C, on la fait descendre à -1 ou -2°C par un échangeur à plaques avec l'eau alcoolisée. Pendant la filtration on ajoute 10g/hl du P.V.P ce dernier ralentit l'oxydation de la bière. L'opérateur doit avoir une turbidité (Figure 5) inférieure à 0,8 EBC. Cette dernière a pour but de tester la clarification de la bière claire.

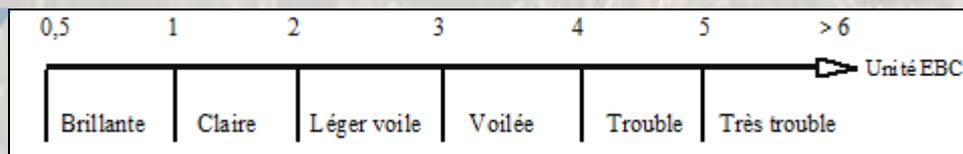


Figure 5 : Echelle de turbidité de la bière

Après la filtration, la saturation avec CO₂ se fait au moyen d'appareils appelés saturateur (sous forme d'un long serpent) juste à la sortie du filtre. Elle peut se faire par :

- Injection de CO₂ dans la bière après filtration.

- Saturation au soutireuse.

NB: Le CO₂ a déjà subi un traitement efficace à l'aide d'une installation sous forme d'une chaudière ballon.

Le stockage de la bière claire est assuré par trois tanks en acier inoxydable de capacité de 500hl chacun, leur remplissage est effectué tout en réalisant une contre pression en CO₂ pour favoriser un bon remplissage sans débordement de mousse, et aussi pour éviter toute oxydation imprévue.

6. Le conditionnement

6.1. Organisation et fonctionnement des machines

A **BRANOMA** le travail dans le département de soutirage est mécanisé. Nous donnerons la liste des machines et leurs fonctions [3].

- **DEPALETTISEUR** : Déchargement des palettes (Dans une palette 56 caisses).
- **DECAISSEUSE** : Déchargement des caisses (Dans une caisse 24 bouteilles).
- **LAVEUSE DES CAISSES**: Lavage des caisses.
- **LAVEUSE DES BOUTEILLES** : Lavage des bouteilles (avec de l'eau chaude 70°C mélangée avec de la soude caustique).
- **1ER MIRAGE** : Pendant lequel les bouteilles nettoyées sont inspectées et les bouteilles insuffisamment lavées ou ébréchées sont retirées.
- **SOUTIREUSE** : Dans laquelle la quantité exacte de bière est mise dans les bouteilles propres.
- **BOUCHEUSE** : Laquelle ferme les bouteilles remplies à l'aide de bouchons-couronne.
- **2EME MIRAGE** : Pendant lequel les bouteilles remplies et bouchées sont contrôlées à nouveau, on prête alors spécialement attention au niveau de remplissage et bouchage.
- **PASTEURISATEUR** : Pasteurisation des bouteilles, des bouchons, et de la bière.

Pour pasteuriser la bière, il est nécessaire de la faire passer environ 15 min à 62°C. Cette opération se fait par passage dans un tunnel équipé de 6 bains remplis d'eau à différentes températures :

- Deux bains à 35°C placés au début et à la fin du pasteurisateur.
- Deux bains à 51°C placés au début et à la fin du pasteurisateur.
- Un bain à 60°C : pré-pasteurisation.
- Un bain à 62°C : pasteurisation.

Les bouteilles remplies de bière passent sur un tapis roulant sous des douches d'eau chaude qui cède sa chaleur aux bouteilles.

- **ETIQUETEUSE** : Laquelle appose une ou plusieurs étiquettes sur chaque bouteille.
- **3EME MIRAGE** : Pendant lequel les bouteilles sont une fois de plus inspectées quand à leur mal propreté éventuelle, leur remplissage, bouchage, étanchéité et leur présentation générale.
- **ENCAISSEUSE** : Dans laquelle le nombre exact de bouteilles pleines est mis dans les caisses.
- **PALETTISEUR**: Chargement des caisses dans des palettes.

Chapitre III :

L'oxygène dans la bière

- Partie Théorique
- Partie Pratique

Rapport-gratuit.com

LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES



I. Partie théorique

1. La bière et l'oxygène

L'oxygène (ou dioxygène, O₂) est un gaz indispensable à la vie, apparu sur la Terre il y a plus de 2 500 millions d'années. Elle peut être considérée comme un des éléments fondamentaux de la chimie et de la biochimie (avec l'azote, le carbone et l'hydrogène).

Dans la bière cette espèce est responsable d'une manière directe ou indirecte, de nombreux dommages oxydatifs.

Dans cette partie sera présenté l'impact de l'oxygène sur la qualité de la bière pendant les 3 étapes critiques (fermentation, filtration et stockage dans les tanks bière claire et soutirage) de la fabrication de la bière.

1.1. Oxygène dans la Fermentation

La fermentation alcoolique nécessite l'adjonction de levure dans le mout, cette 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 CO₂.

L'oxygène est injecté dans la ligne de mout à une pression total allant jusqu'à 4 bar. La proportion de mout et d'O₂ 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 mout à chaud provoque une oxydation et contribue à des faux-goût dans la bière (goût d'ail).

1.2. Oxygène dans la Filtration / Tank bière claire

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

- Altère : le gout, l'arome 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'O₂ qui se trouve au niveau du filtre et pendant l'alluvionnage.

L'oxygène 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 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.

1.3. OXYGENE PENDANT LE 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 gout et le parfum* vont devenir déplaisants, car les matières amères du houblon ainsi que les tanins prennent un gout 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 λ 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 $>$ à 25°C, dégradent la bière surtout si celle-ci est stockée à des températures ambiantes. Le transport et le stockage dans certaines 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 photosensibilisateur, augmentation de la température) (MALL et MOLL 1990) [4].

2. La Stabilité colloïdale

La bière est fort sujette à l'apparition de troubles principalement provoqués par la précipitation de matières azotées, qui n'apparaissent souvent que lorsqu'on la refroidit. Anciennement on appelait cela le « trouble de glutine », actuellement on les appelle « troubles colloïdaux ».

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 brillante immédiatement après la filtration, même si on la refroidit à 0°. 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 apparaît 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.

2.1. Trouble au froid

Trouble (Tableau 4) formé lorsque la bière est refroidie à 0°C et qui se redissout lorsque la bière est réchauffée à 20°C ou plus. La taille des particules de ce trouble se situe entre 0,1 et 1 µm.

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 %
des métaux lourds Fer, cuivre, selon HUDSON [4]	

Tableau 4 : Composition du trouble froid

2.2. 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.

Le trouble permanent se produit directement par une substance qui précipite les protéines. MICHEL, GAGNAIRE ET LEBRETON [4], ont montré que le trouble d'étain résulte d'une précipitation directe et non par catalyse de l'oxydation, comme dans le cas du cuivre et du fer. On voit d'ailleurs que ce trouble se forme très vite dans les tuyaux de débit en étain. Il en est de même, par exemple, du trouble qui peut se former par du formol ou d'autres antiseptiques accidentellement mélangés à la bière, ou par le tanin dissous de liège des bouchons.

Les composés du trouble qui interviennent de façon décisive sont :

- ✓ Les polyphénols, en particulier le dimère proanthocyanidine B3, le trimère proanthocyanidine C2 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, le zinc, le manganèse, le nickel, l'étain, etc. peuvent être entraînés 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 mout fin cuisson).

La formation du trouble se fait selon le schéma suivant (Figure 5)

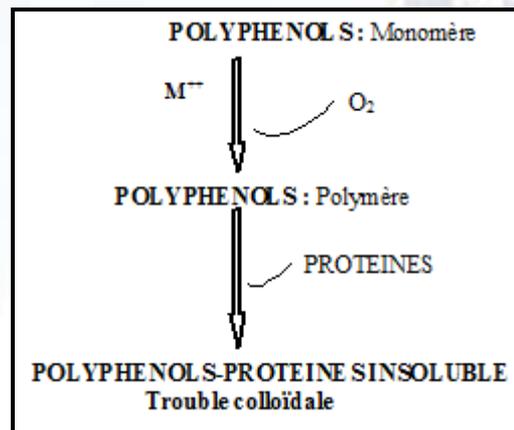


Figure 6 : Formation du trouble [5]

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

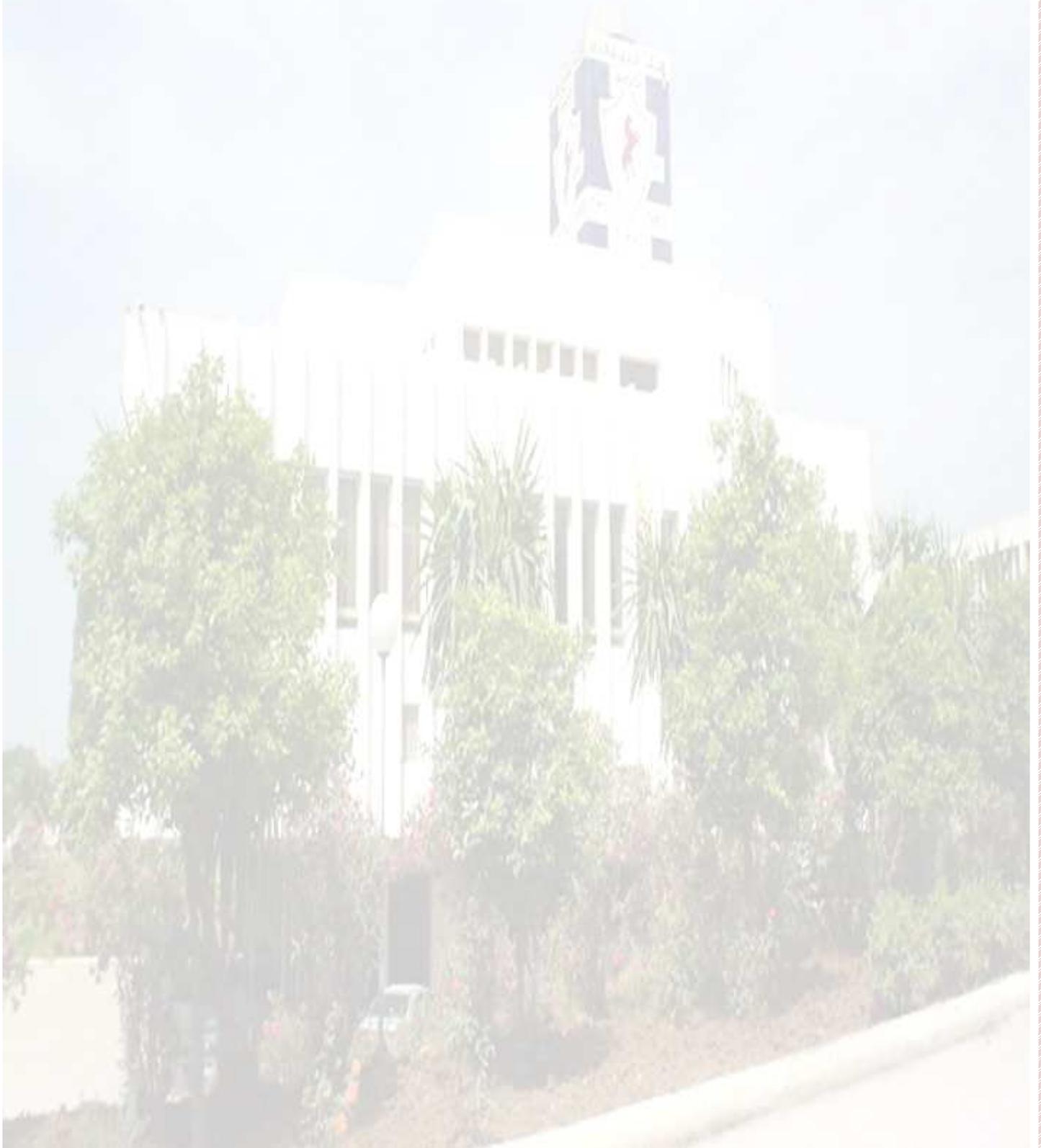
- ❖ La température de conservation de la bière : le trouble se forme de 3 à 5 fois plus vite à 40° qu'à 25° et 10 à 30 fois plus vite à 60° qu'à 25° le trouble se forme de plus en plus lentement, sauf lorsqu'on se rapproche de 0°.
- ❖ L'oxydation : le trouble se forme d'autant plus vite que la bière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

3. Conclusion

Dans la fabrication de la bière, l'oxygène d'une part est important pour initier la fermentation (multiplication de la levure), mais il est aussi un composé nuisible dans toutes les autres parties du procédé pour toute bière filtrée et embouteillée, en effet les constituants d'une bière fraîchement mise en bouteille ne sont pas

chimiquement stables et leurs contacts avec l'oxygène dissous et l'air dans le col provoquent des changements indésirables au niveau des propriétés sensorielles et chimiques.

L'oxygène est un élément néfaste pour la bière, sa présence entre dans la formation de tous types de troubles, Les brasseurs doivent avoir des standards très stricts puisqu'ils ne peuvent contrôler les conditions de vieillissement chez le commerçant et chez le consommateur.



II. Partie Pratique

Afin d'évaluer le potentiel d'oxydation présent dans la bière à partir de l'étape de maturation jusqu'au produit fini, Une étude expérimentale à été l'objet de mon travail qui comprends 2 volets essentiels :

Le premier essai s'est penché sur la mesure des concentrations en oxygène à l'aide d'un orbisphère dans :

- ✓ Les cuves de fermentation
- ✓ Tanks bière claire
- ✓ Entrée de la soutireuse.

Un autre essai 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 **Head Space**.

1. Mesure du taux d'oxygène

1.1. Appareillage

L'orbisphère (Figure 7) est un système de mesure d'oxygène et destiné à une large gamme d'application. Il est configuré pour effectuer des analyses en phase liquide. Son microprocesseur est capable de stocker dans sa mémoire jusqu'à 500 valeurs de taux d'oxygène, puis de renvoyer ces données sur un ordinateur en vue de leur traitement futur.

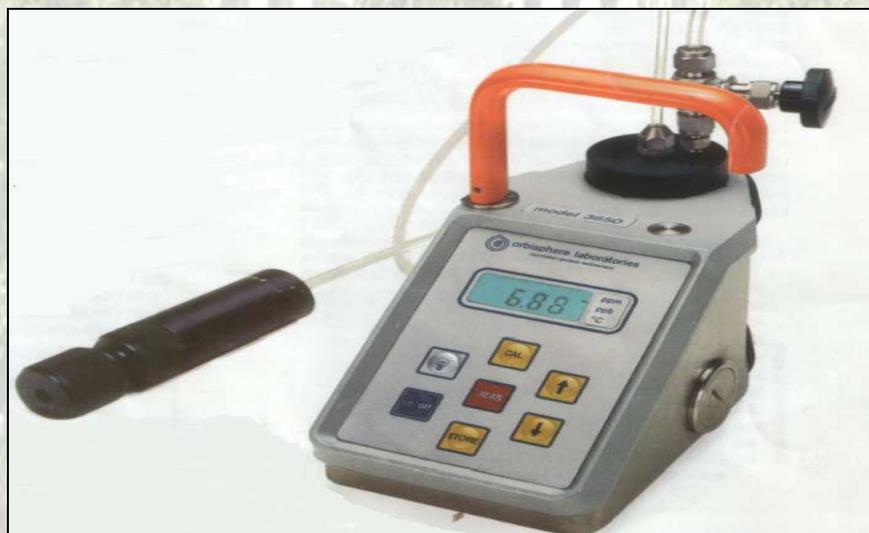


Figure 7 : Orbisphère

1.2. Mode opératoire [7]

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.

- 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 ($\mu\text{g/l}$ d'oxygène dissous) et en $^{\circ}\text{C}$ (température de l'échantillon).
- 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.

1.3. 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 mises sous forme de graphes (figures 8, 9, 10), pour chaque étape étudiée.

1.3.1 Suivi d'oxygène au niveau de la cuve de garde

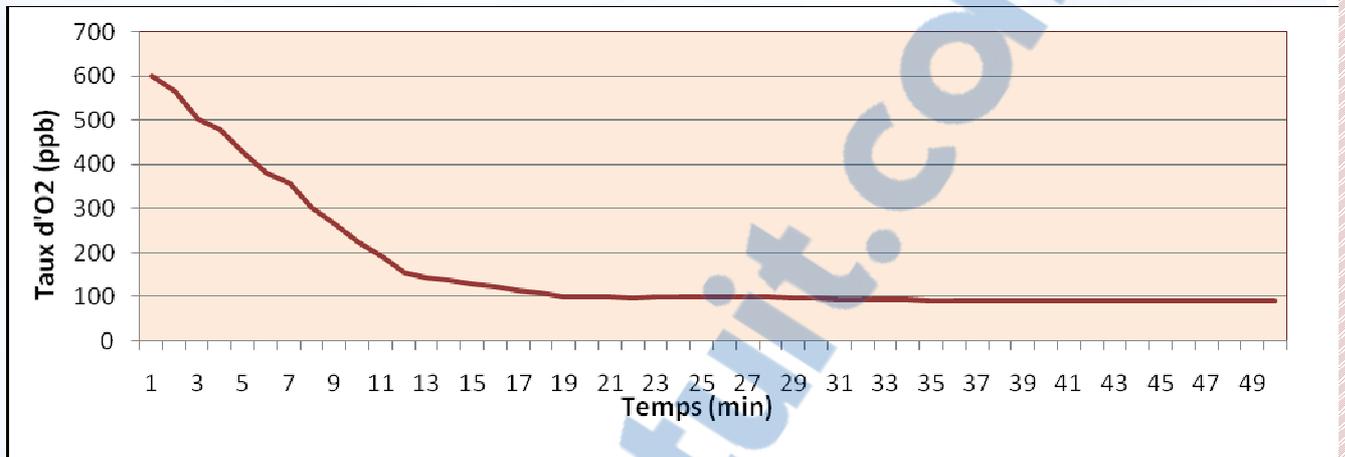


Figure 8 : Suivi d'oxygène au niveau de la cuve de garde

Dans la cuve de garde le taux d'oxygène diminue (Figure 8), car il est consommé par la levure au début de la fermentation et plus précisément pendant sa phase de respiration et de multiplication.

1.3.1 Suivi d'oxygène au niveau du Tank de bière claire

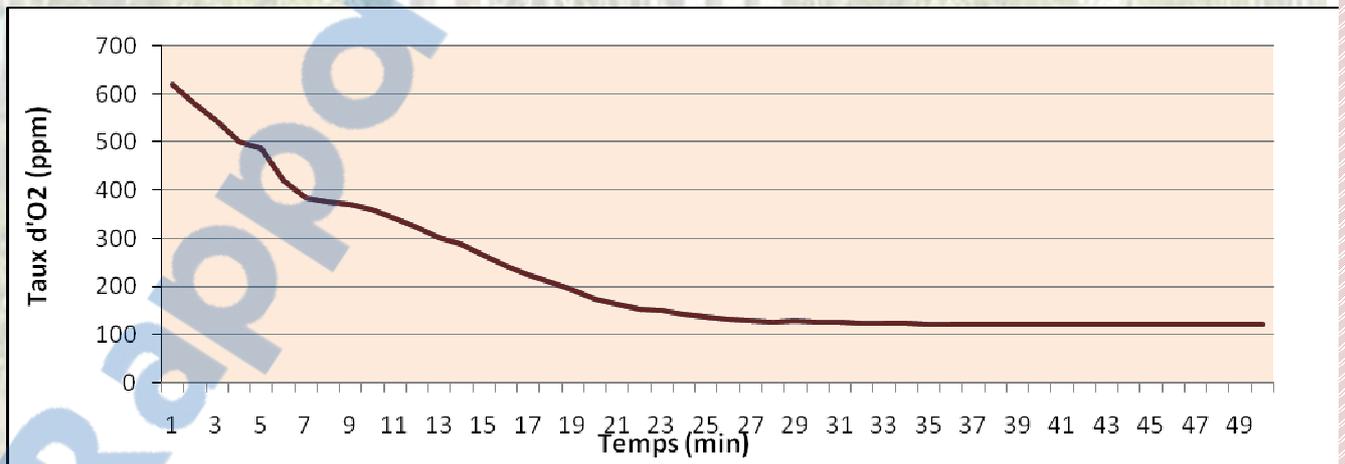


Figure 9 : Suivi de l'oxygène au niveau du tank bière claire

Dans les tanks de bière claire, la concentration de l'oxygène diminue au cours du temps (Figure 9). Cela est dû 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. L'augmentation enregistrée est due à l'addition de la suspension du filtre Kieselguhr qui contient une quantité non négligeable d'oxygène.

1.3.3. Suivi d'oxygène à l'entrée de la soutireuse

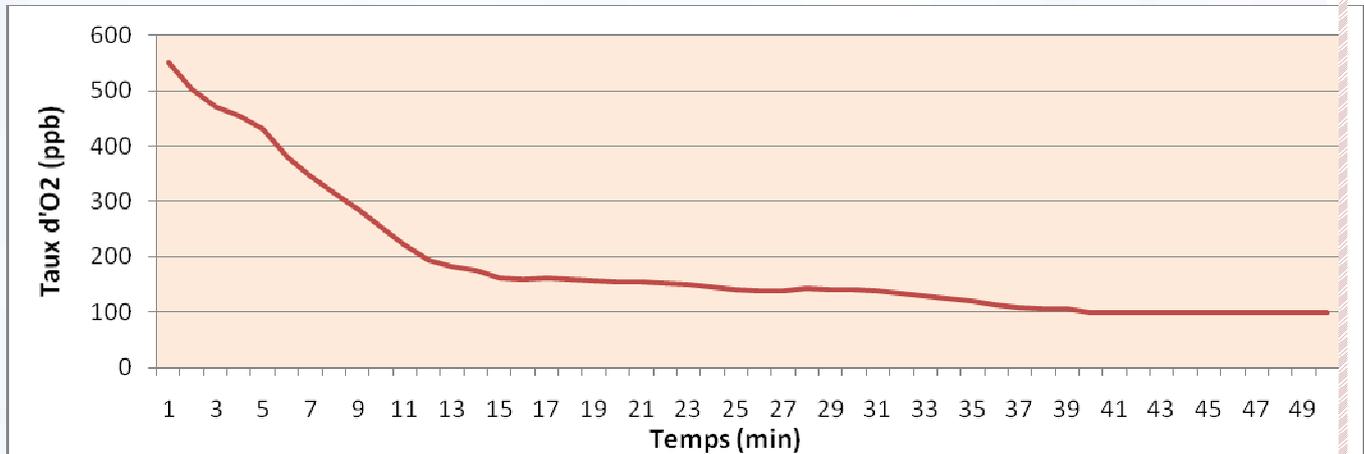


Figure 10 : Suivi d'oxygène à l'entrée de la soutireuse

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

2. Mesure du taux du gaz étranger

2.1. Principe [7]

On établit un équilibre entre la phase gazeuse et la phase liquide dans la bouteille. On fait passer le (Head Space) tout entier dans une burette à gaz rempli de lessive de potasse, sans avoir au préalable agité l'échantillon.

Le gaz carbonique du « headspace » est lié par la lessive de potasse.

2.2. Mode opératoire

- Avant de commencer une série de détermination, on doit chasser l'air de l'appareil, ensuite on place la bouteille sur le statif de mesure et on ferme le robinet de purge.
- Percer la bouteille et on ouvre le robinet de la burette à gaz en frappant sur la bouteille avec un objet dur, on déplace le « headspace ».
- On ferme ensuite le robinet de la burette à gaz.
- Faire la lecture du volume du gaz étranger dans la burette.

2.3. Résultats

Les valeurs de la mesure du gaz étranger obtenus à l'aide du « headspace », réalisées sur les 15 bouteilles sont rassemblées dans le tableau 5.

Bouteille N°	Taux du gaz étranger	Bouteille N°	Taux du gaz étranger	Bouteille N°	Taux du gaz étranger
1	2,08	6	1,82	11	1,82
2	1,82	7	1,82	12	1,82
3	1,82	8	1,82	13	2,08
4	1,82	9	2,08	14	2,08
5	2,08	10	1,82	15	1,82

Tableau 5 : Valeurs de la mesure du gaz étranger

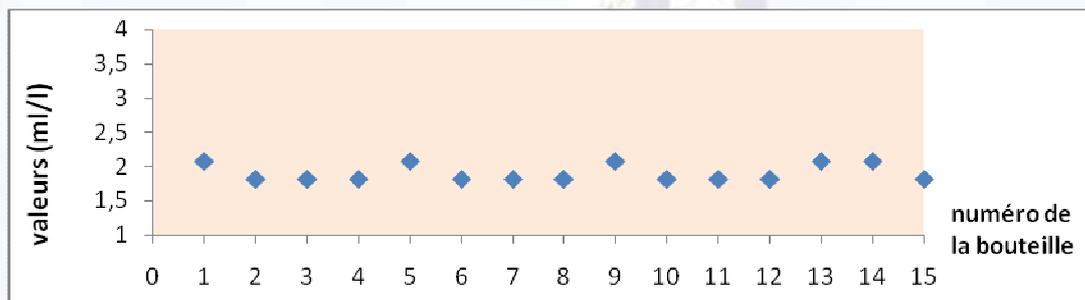


Figure 11 : Variation du taux du gaz étranger au niveau du produit fini

Le graphe (Figure 11) représentant la variation du taux du gaz étranger (Tableau 5) au niveau de produit fini, montre que le volume d'oxygène piégé dans le col varie entre 1,8 ml /l et 2,1 ml /l. Il est donc presque le même dans toutes les bouteilles analysées. Ceci est en accord avec des travaux antérieurs [4] 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.

III. Techniques proposées pour réduire le taux d'oxydation de la bière et maintenir sa stabilité colloïdale

La stabilité de la bière est un souci majeur pour les brasseurs qui doivent garantir, sur une période de plus en plus longue, la qualité à plusieurs niveaux.

Dans l'objectif de réduire les dommages oxydatifs de la bière au sein de BRANOMA il nous a été demandé de proposer des techniques d'amélioration de la qualité de la bière. Pour ceci une étude bibliographique des techniques d'amélioration dans d'autres brasseries s'impose.

1. Stabilisants améliorant la stabilité colloïdale

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

Les traitements [4, 6] proposés ci-dessous améliorent plus au moins la qualité de la bière :

- ✚ **Charbon actif** : 10-200g/hl. 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. Ce traitement se fait le mieux avec du nylon 66 en poudre ou en pâte, à une dose de 0,1 à 0,2 Kg de nylon sec par hl.
Le Traitement par 100g de nylon par hl diminue très peu la teneur en matières amères, azotés et colorantes et ne diminue la stabilité de mousse qu'après un long contact.
- ✚ **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. L'ajout de l'E.D.T.A à la bière séquestre le cuivre, le fer et l'étain, et les empêcher de provoquer des troubles colloïdaux.
- ✚ **Traitement au P.V.P** : Lorsqu'on ajoute polyvinyle-pyrrolidone 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 BRANOMA.

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 trois 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 mélanoidines.
- ✚ **Les réducteurs rapides** qui agissent en moins de 5 minutes : ce sont les fonctions réductrices moins actives que les précédentes des réductones et mélanoidines et éventuellement le SO₂.
- ✚ **Les réducteurs lents** qui réagissent jusqu'à 150 minutes : ce sont les tanins, résines et fonctions secondaires de mélanoidines.

Différents types de substances réductrices sont à la disposition du brasseur. Le tableau 5 ci dessous résume les caractéristiques de quelques réducteurs utilisés en brasserie.

Réducteur	Poids Moléculaire	Quantité de Réducteur (mg) nécessaire pour fixer 1 mg d'O ₂
Acide ascorbique	176,13	11
Acide D-érythorbique (acide isoascorbique)	176,13	11
Ascorbate de sodium	198,11	12,4
Isoascorbate de sodium monohydrate	216,12	13,5
Anhydride sulfureux SO ₂	64,04	4,0
Hydrogénosulfite de Sodium	104,06	6,5
Hydrogénosulfite de Calcium	202,22	6,81
Dithionite de Sodium	174,11	10,88
Disulfite de Sodium	190,10	5,94
Disulfite de potassium	222,33	6,94

Tableau 6 : substances réductrices

Pour fixer 1 mg d'O₂ il faut 11 mg d'acide ascorbique (A.A) d'après le calcul suivant :



$M(C_6H_8O_6) = 176 \text{ mg}$ Et $1/2 M(O_2) = 16 \text{ mg}$

D'après l'équation : $16 \text{ mg d'O}_2 \rightarrow 176 \text{ mg d'A.A}$

Quantité d'acide ascorbique nécessaire pour neutraliser 1 mg d'oxygène :

$$176/16 = 11\text{mg}$$

L'oxygène a une densité de 1,4295 g/l à 0°C 760 mm Hg

Dans 1 l d'air on a :

$1,4295 * 0,2095$ (volume d'oxygène en poids) = 0,2995 g d'O₂.

Ou 0,3 mg O₂/ml d'air arrondi.

Donc pour fixer 1ml d'air il faut $0,3*11 = 3,3 \text{ mg}$ d'acide ascorbique.

3. 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 [5].

- 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.

4. 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 :
 - **du malt**
 - **de la bière par utilisation des enzymes protéolytiques, ou précipitation des gallotannin ou encore adsorption des silicagel, bentonites .**
- Elimination des polyphénols à partir :
 - **de l'orge : orge sans proathcyanidine**
 - **du mout : polymérisation des polyphénol oxydase, formaldéhyde**
 - **de la bière : polyamides PVPP**

CONCLUSION GENERALE

Le présent travail avait comme objet l'évaluation du potentiel d'oxygène dans la bière afin de réduire le taux ce dernier, suivant le procédé de l'étape de fermentation arrivant au produit fini.

Les résultats obtenus lors des suivis montrent que dans la cuve de garde le taux d'oxygène diminue car il est consommé par la levure au début de la fermentation pendant sa phase de respiration et de multiplication.

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

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

Durant ce stage, j'ai pu savoir à quel point l'oxygène est néfaste pour toute bière filtrée et embouteillée, car il active l'oxydation et sa présence rentre dans la formation des troubles colloïdaux. D'une autre part l'oxygène est important pour initier la fermentation (multiplication de la levure).

L'étude de l'évolution du taux du gaz étranger au niveau du produit fini a montré que le volume d'oxygène piégé dans le col varie entre 1,8 ml /l et 2,1 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.

La stabilité de la bière est un souci majeur pour les brasseurs qui doivent garantir, sur une période de plus en plus longue, la qualité à plusieurs niveaux. Dans l'objectif de réduire les dommages oxydatifs de la bière au sein de BRANOMA il nous a été demandé de proposer des techniques d'amélioration de la qualité de la bière. Les Techniques d'amélioration proposées dans ce rapport sont réalisées dans la majorité des brasseries Européennes. Faute de la durée de stage et non disponibilité des réactifs, signalés dans la littérature, une étude expérimentale n'a pas pu être achevée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] WWW.UNIVERS-BIERE.NET
- [2] MALTERIE-BRASSERIE, INSTITUT AGRONOMIQUE ET VETERINAIRE HASSAN II, 1998-1999
- [3] UNE INTRODUCTION AU BRASSAGE DE LA BIERE. J.GOMBERT. HEINKEN N.V HOLLONDE 1973
- [4] BIERES & COOLERS. M. MALL, J. DE BLAUWE; COLLECTION SCIENCES & TECHNIQUES AGRO-ALIMENTAIRE 2001
- [5] PROCEDE DE LA FABRICATION DE LA BIERE, 'IFBM' INSTITUT FRANÇAIS DES BOISSONS, DE LA BRASSERIE ET DE MALTERIE 2000
- [6] COURS DE BRASSERIES, J. DE CLERCK; UNIVERSITE DE LOUVAIN BELGIQUE 1962
- [7] DOCUMENT DE BRANOMA

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Composition chimique de l'eau.....	9
Tableau 2 : Composition globale de la bière.....	10
Tableau 3 : Composition des drèches.....	15
Tableau 4 : Composition du trouble froid.....	23
Tableau 5 : Valeurs de la mesure du gaz étranger.....	29
Tableau 6 : Substances réductrices.....	31

Liste des Figures

Figure 1 : Organigramme de l'entreprise de BRANOMA.....	5
Figure 2 : Procédé de fabrication de la bière.....	12
Figure 3 : Refroidissement du mout.....	15
Figure 4 : Variation de la température et de la densité durant la fermentation.....	16
Figure 5 : Echelle de turbidité de la bière.....	18
Figure 6 : Formation du trouble.....	24
Figure 7 : Orbisphère.....	26
Figure 8 : Suivi d'oxygène au niveau de la cuve de garde.....	27
Figure 9 : Suivi de l'oxygène au niveau du tank bière claire.....	28
Figure 10 : Suivi d'oxygène à l'entrée de la soutireuse.....	28
Figure 11 : Variation du taux du gaz étranger au niveau du produit fini.....	29