



Licence Sciences et Techniques (LST)

GENIE CHIMIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

Etude de l'influence de la Température lors du Brassage

Présenté par :

- ◆ Aymen Kandadi

Encadré par :

- ◆ Mr Abdellah Laouiji (SBM Fès)
- ◆ Pr Said Chekroun (FST)

Soutenu Le 8 Juin 2017 devant le jury composé de:

- ◆ Pr Mr Alilou
- ◆ Pr Mme Touzani
- ◆ Mr Abdellah Laouiji (SBM Fès)

Stage effectué à SBM Fès

Année Universitaire 2016 / 2017

Remerciement

Ce stage de fin d'étude a été effectué à SBM Fès. Je tiens à exprimer ma gratitude la plus profonde à **Mr ABDELLAH LAOUIJI** Responsable management qualité de la SBM Fès pour m'avoir facilité l'intégration dans sa section, m'avoir accordé toute sa confiance, pour le temps qu'il m'a consacré tout au long de cette période, sachant répondre à toutes mes interrogations.

A l'issu de ce travail, je tiens à remercier chaleureusement mon encadrant **Mr SAID CHEKROUN** 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 ALILOU** et **Mme TOUZANI** d'avoir examiné ce modeste travail, ensuite **Mr ANISS CHAOUI** directeur régional de la société des brasseries du Maroc Fès, qui m'a donné l'opportunité de passer ce stage au sein de la société. Ainsi que l'ensemble du personnel de SBM pour leur accueil sympathique et leur coopération professionnelle tout au long du stage.

Enfin, 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.



Dédicace

Je tiens en tout premier à remercier :

- ❖ **Ma chère mère pour tous ses sacrifices, son amour, sa tendresse, son soutien et ses prières tout au long de mes études.**

Ta prière et ta bénédiction ont été un grand secours pour moi. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as pas cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

- ❖ **A mes chères sœurs et frères pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral.**

- ❖ **A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.**

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible.

- ❖ **A tout mes collègues de ma promotion licence génie chimie.**

- ❖ **A tout mes enseignants de la licence GC.**

- ❖ **A tout ceux que j'aime et m'aiment.**

Merci d'être toujours là pour moi.

Liste des figures

Figure1 : Organigramme SBM Fès	5
Figure2: Caractéristiques du malt	12
Figure3: Diagramme de la variation de la température en fonction du temps, méthode de décoction	16
Figure4 : Refroidisseur à plaques	18
Figure5: Variation de la température et de la densité durant la fermentation.....	20
Figure6 : Principaux phénomènes au brassage : Facteurs d'action	24
Figure7 : Bilan de transformation au brassage.....	25
Figure8 : Equipements de la salle à brasser	25
Figure9 : Cuve de matière, Cuve trempé.....	26
Figure10 : Critères de l'eau de brassage... ..	27
Figure 11: dégradation de l'amidon lors du brassage	29
Figure12 : action des endoprotéinase et exoprotéinase	31
Figure 13: diagramme de formation des sucres fermentescibles en fonction de la température	32
Figure14 : diagramme de la variation de la température en fonction du temps.....	33
Figure15 : Diagramme de l'activité amylasique en fonction de la température	35
Figure 16: Diagramme de formation de maltose en fonction de la température	36

Liste des tableaux

Tableau1 : les événements marquants SBM Fès.....	2
Tableau2 : Informations sur SBM Fès.....	3
Tableau3 : caractéristiques du produit fini « Spécial ».....	10
Tableau4 : caractéristiques du produit fini « Stork »	10
Tableau5 : différents enzymes amylolytiques.....	28
Tableau6 : Facteurs d'activation des enzymes protéolytiques	30

Abréviation	Signification
EBC	European Brewery Convention
SBM	Société des brasseries du Maroc
ISO	Organisation Nationale de Normalisation
°P	Degré Plateau : le % en masse d'extrait sec du moût avant fermentation
HACCP	Hazard Analysis Critical Control Point

Table de Matière

REMERCIEMENT

DEDICACE

INTRODUCTION 1

Chapitre1 : Présentation de l'organisme d'accueil SBM Fès

Présentation de l'entreprise..... 2

Chapitre 2 : Processus de fabrication de la bière

Partie1 : Généralités sur la bière..... 6

Partie2 : Processus de Fabrication... 11

I. Le Maltage..... 11

II. Le Concassage..... 14

III. Le Brassage 15

IV. La fermentation 19

V. La Maturation/ Garde..... 21

VI. Filtration de la bière..... 21

VII. Conditionnement 22

Chapitre 3 : Etude de l'influence de la température lors du brassage

I. Contexte de l'étude..... 24

II. Brassage..... 24

III. Etude de l'influence de la température sur l'efficacité de brassage du moût 29

CONCLUSION 38

BIBLIOGRAPHIE & WEB GRAPHIE

Introduction

La bière est une boisson qui nécessite lors de son élaboration une attention très particulière afin d'obtenir la qualité désirée et de répondre aux besoins variables des consommateurs.

La société des brasseries du Maroc bénéficie d'un personnel qualifié en plus des technologies très avancées à savoir des systèmes d'automatisation permettant un contrôle à distance , et d'autres disciplines comme Génie Industrielle, la Microbiologie , la Biochimie...

Le système de management intégré de la SBM Fès est basé sur l'application d'une politique de qualité cohérente accompagnée des contrôles intensifs des matières premières, et des certifications selon les normes **ISO9001** ainsi que le concept **HACCP, ISO22000**.

Ce stage effectué au sein de cette entreprise m'a amené à faire face aux difficultés rencontrées par l'industriel pour produire un produit de qualité.

Notre travail repose sur l'influence de la température lors du brassage. Le plan adopté est comme suit :

- Le 1^{er} chapitre sera consacré à une présentation de SBM Fès.
- Le 2^{ème} chapitre porte sur les différentes étapes du processus de fabrication, avec un aperçu général sur la bière, ses ingrédients, et sa composition chimique.
- Le 3^{ème} chapitre comprend l'Étude de l'influence de la température sur l'efficacité du brassage du moût



Chapitre 1: Présentation de l'organisme D'accueil SBM Fès

Présentation de l'entreprise :

1. Historique de la société :

Dans le cadre de son système qualité, SBM Fès a connu de nombreux changements mais a pu poursuivre son dynamisme et sa stratégie de développement grâce à la conquête continue de la fidélité et de la confiance de sa clientèle dans le seul but de satisfaire ses attentes.

Dans le cadre de ses activités, SBM Fès a établi un partenariat bénéfique avec de grands fournisseurs tels que **le Groupe Castel et Heineken**.

Tout au long de son histoire, le Groupe des Brasseries du Maroc a pu innover le fonctionnement de son entreprise et de son processus d'une manière transparente en s'appuyant sur des faits factuels, ainsi elle a pu évaluer le besoin de ses clients et mesurer leur taux de satisfaction et fournir des produits conformes à leur exigence.

Evénement	Date
Date de création	1947
Licence Heineken accordée à BRANOMA	1979
Arrêt de production des boissons gazeuses	1982
Arrêt de production de la Heineken	1990
Déménagement à la nouvelle usine	Fin 2004
Fusion avec SBM	2014

Tableau1 : les événements marquants SBM Fès

2. Fiche technique :

Raison Sociale	Brasseries du Nord Marocain
Statut juridique	Société Anonyme (S.A)
Capitale sociale	50.000.000 Dhs
Adresse	Rue Ibn El Khatib Quartier Industriel Sidi Brahim 30000 Fès
Date de mise en service	1947
Effectifs	151
Capacité de production	200 000 Hl/an
Surface totale	30 500m ²
Domaines d'activité	Fabrication, conditionnement de la bière : Stork, Flag spéciale et Flag pils
Champs de certification	Il comprend les achats, la fabrication, le conditionnement, le stockage et la commercialisation de la bière.

Tableau2 : Informations sur SBM Fès

*Coordonnées :

-N°CNSS : 1928722

-tel : 0535641782 ou 0535641783

-fax: 0535641547

-site web: www.brasseries-maroc.com

3. Produits fabriqués par la société:



*Flag spéciale



*Flag Pils*Stork



❖ Description du produit :

La bière est une boisson obtenue par fermentation éthylique du mout, fabriqué avec du malt et houblon. L'étiquette indique la marque, le lieu de fabrication, la quantité en volume du produit, le taux d'alcool, la date, l'heure de production ainsi que la date limite de consommation (10 mois). La bière est stockée à une température ambiante et à l'abri du soleil.

4. Organigramme :

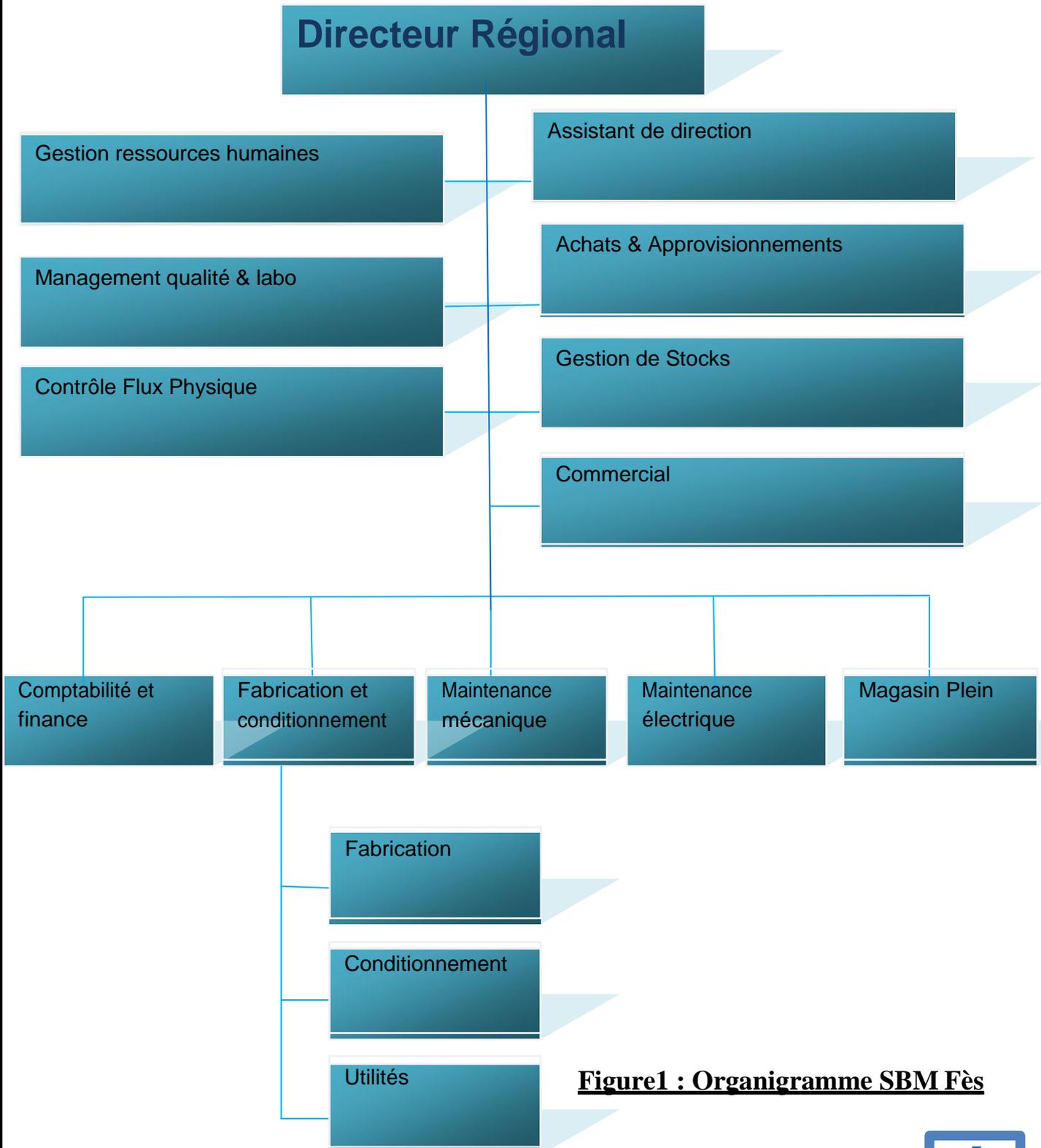


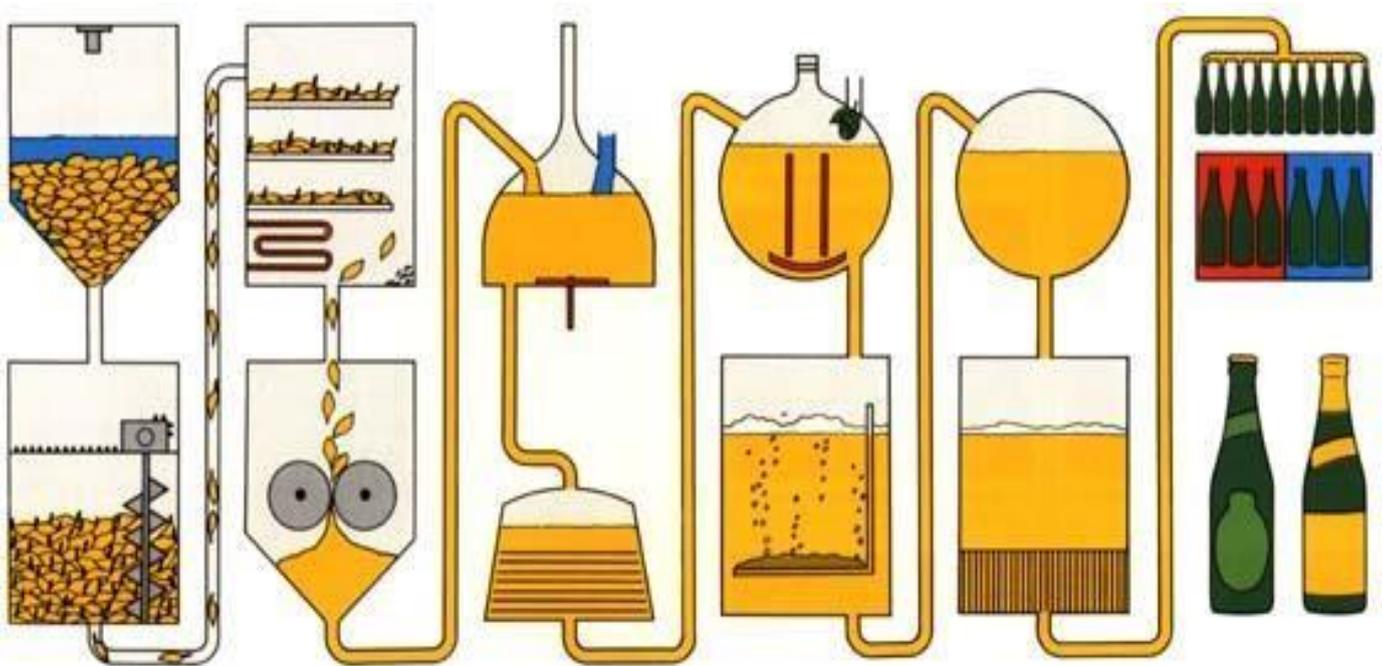
Figure1 : Organigramme SBM Fès



Chapitre 2:

Processus De Fabrication

De la bière



*Partie1 : Généralités sur la bière :



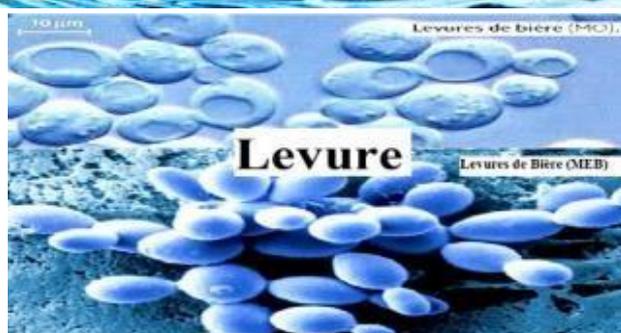
1. Définition :

La bière est une boisson fermentée légèrement alcoolisée (de 4.7 à 5.50%). Préparée à partir des céréales germées, principalement de l'orge et parfumée avec du houblon.

2. Composition de la bière et propriétés :

a. Matières premières :

Les matières premières pour la fabrication de la bière sont : l'eau, l'orge, le houblon et la levure.





-L'eau :

La bière est constituée de 90% d'eau, ce dernier se compose de 6 sels minéraux essentiels (le bicarbonate, le chlorure, le calcium, le magnésium et le sulfate), leur proportion influence la qualité organoleptique et nutritionnelle de la bière, donc un traitement de l'eau utilisée dans le processus de fabrication est nécessaire.

A SBM, dès que l'eau arrive de la RADEEF, elle subit un adoucissement pour diminuer sa dureté et subit ensuite une déchloration.

L'eau est omniprésente à tous les stades de la fabrication de la bière :

- ✓ **Maltage** : humidifiant des grains d'orge.

- ✓ **Brassage** : la qualité de l'eau utilisée lors du brassage, joue un rôle important dans la clarté et le goût de la bière (le bicarbonate réduit la transformation des amidons en sucres, le sulfate fait ressortir l'amertume de la bière).
- ✓ **La bière** : une dose trop importante de chlorure limitera la présence de mousse.
- ✓ **Fermentation** : l'eau contribue à la stimulation des levures (Mg).
- ✓ **Nettoyage des cuves**.

-Remarque :

La couleur de la bière est liée aussi à la richesse de l'eau en oligoéléments, et en quelques ions.

-L'orge :

L'orge est la céréale la plus utilisée dans la fabrication de la bière. Elle contient une quantité importante d'amidon, qui va se transformer en sucres fermentescibles grâce aux enzymes formées dans l'orge après maltage.

-Le Houblon : (Humulus Lupulus)

Cette plante grimpante est de famille des urticacées. On utilise uniquement les souches femelles des fleurs qui servent à donner la saveur spéciale de la bière : l'amertume via la lupuline. Ses différentes variétés vont de fort amer à aromatique.

-La levure : (Saccharomyces Cerevisiae)

La levure est un champignon unicellulaire, elle est dotée d'un équipement enzymatique qui permet sa croissance et sa multiplication. Elle est responsable de la transformation du sucre contenu dans le malt en alcool et en gaz carbonique (CO₂).

Saccharomyces Cerevisiae se présente sous forme de cellules isolées, ovoïdes à arrondies, longues de 6 à 12 µm. Elles se multiplient par bourgeonnement. La levure est riche en acides aminés essentiels et en vitamine B.

b. Propriétés :

Les constituants de la bière proviennent des matières premières : malt, matières amères, eau de brassage, de la fermentation, des additifs et auxiliaires technologiques (**filtrases, colorant**

Caramélisé, CaCl, ZnCl) :

- Eau.
- Glucides (28g/l).
 - Valeur énergétique (43.3 Kcal/100g).
 - Composés protéiques (5g/l).
 - Acides aminés essentiels (0.49g/l).
 - Acides aminés semi-essentiels (0.43g/l).
 - Acides aminés non essentiels (0.41g/l).
- Alcool (4g/100g).
 - Eléments minéraux (1.37g/l).
- Vitamines.
 - Acides organiques (pyruvate, citrate, acétate, gluconate, oxalate, succinate...).
 - Composés phénoliques.
 - Composés amers (humulone, acide humilique, hulupone, acide lupulinique,...).
- Anhydride carbonique soluble (5g/l).
- Dioxyde de soufre (3.7mg/l).
- Amines.
 - Produits secondaires de fermentation(glycérol, isobutanol, alcool isoamylque, méthanol...).

-La mousse :

La qualité et la quantité de mousse de la bière sont des phénomènes encore largement subis par le brasseur. Une bière qui ne possède pas une mousse stable et adhérente est déclassée par le consommateur, en particulier celui qui a l'habitude de boire de la bière en fur et à mesure.

La mousse se forme et disparaît en 4 étapes :

- La formation de bulles au moment du versement de la bière qui sont dues à la sursaturation de la bière en CO_2 après échappement de la pression.
- Formation d'une mousse crémeuse par la montée des bulles puis le drainage où le liquide coule dans la couche inférieure de la mousse.

- Diffusion gazeuse entre les bulles causée par la différence de pression de gaz entre les bulles (**le gaz migre des petites bulles vers les grosses**).
- Coalescence de la mousse lorsqu'il y a fusion de deux bulles causée par la rupture du film entre les deux : la mousse disparaît petit à petit.

3. Produit fini :

*Spéciale :

Turbidité	< 0.8 EBC
Couleur	7+/-1 EBC
Extrait Primitif	11.80+/-2 °P
Amertume	17+/-1 EBC
Taux d'alcool	5.20+/-0.2 % en volume

Tableau3 : caractéristiques du produit fini « Spécial »

*Stork :

Turbidité	< 0.8 EBC
Couleur	7+/-1 EBC
Extrait Primitif	10.6+/-2 °P
Amertume	16+/-1 EBC
Taux d'alcool	4.70+/-0.2 % en volume

Tableau4: caractéristiques du produit fini « Stork »

*Partie2 : Processus de fabrication :

I- Le Maltage :

1- Introduction :



C'est la seule opération qui s'effectue dans les unités de malterie à l'extérieur de SBM-Fès. Actuellement, L'orge est transformée en Malt (Malt importé à l'extérieur).

Lors du maltage, les grains d'orge sont « préparés » pour leur traitement dans la pâte à bière. Jadis, beaucoup de brasseries possédaient leur propre malterie. Au fil du temps, le maltage est devenu une telle spécialité que ce sont des malteries indépendantes qui se chargent désormais de ce procédé.

2. Les objectifs :

Le maltage a pour but de développer dans l'orge les enzymes capables de transformer l'amidon en sucres fermentescibles : les amylases. Les enzymes capables de dégrader les chaînes longues de protéines en acides aminés, dipeptides, tripeptides nécessaires au développement des levures et en polypeptides formant ce qu'on appellera l'azote soluble non assimilable que l'on retrouvera dans la bière finie et qui jouera un rôle dans la mousse et dans le trouble de la bière.

Le maltage permet également le développement d'enzymes capables de digérer les parois cellulaires rigides du grain d'orge.

Le développement de ces enzymes est nécessaire pour le brassage ultérieur. De plus, il doit donner au grain sa friabilité pour permettre la transformation de l'amidon en saccharose. Finalement, le maltage doit donner à l'orge un arôme et une couleur plus développée.

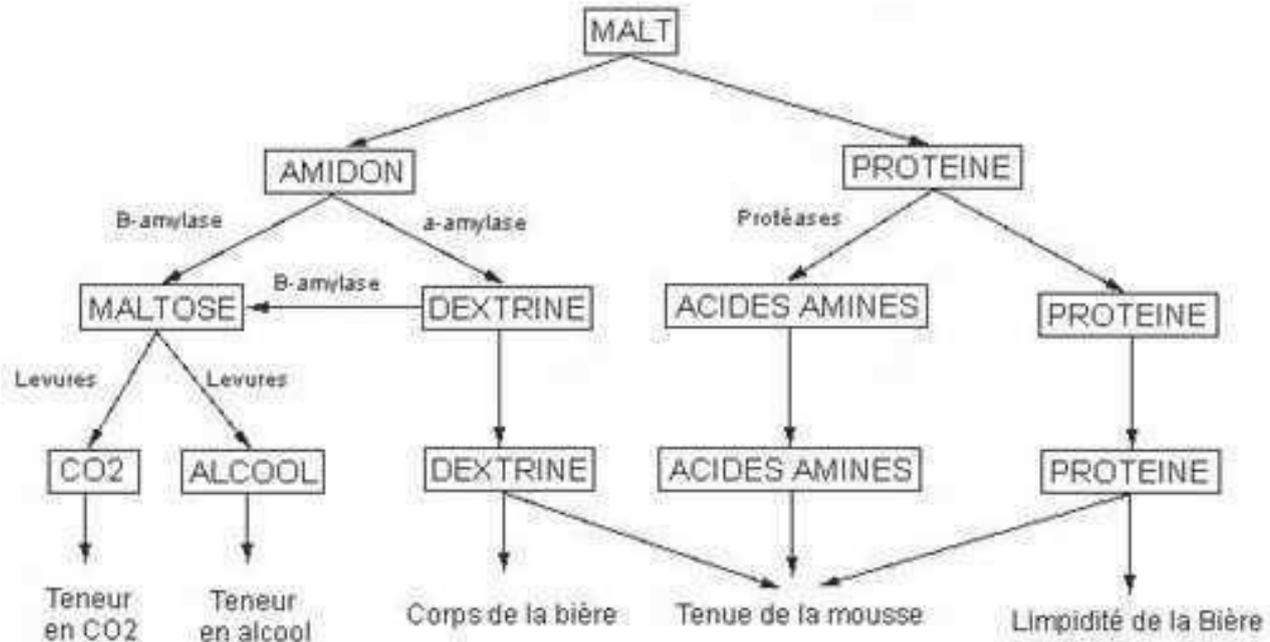


Figure2: Caractéristiques du malt

3. Les étapes :

Le maltage se fait en 3 étapes : le trempage, la germination, le touraillage, le dégermage.

a- Le trempage :

Le trempage consiste en une suite de trempages d'une durée qui varie entre six et douze heures selon l'humidité de l'orge et sont entrecoupés de périodes d'aération. Le but de cet exercice est de fournir à l'orge toute l'eau et l'oxygène nécessaire à la germination. L'eau contenue dans les bacs de trempage doit contenir certains sels et être exempte d'autres : les carbonates sont à éviter pour des problèmes de calcaire alors que le sulfate de magnésium et le chlorure de calcium sont nécessaires au travail de la levure.

Bien que la membrane extérieure de l'orge ne laisse pas entrer les sels, les grains d'orges auraient tendance à rééquilibrer le taux de salinité intracellulaire en évacuant leur eau. De plus, les sels s'attaquent à la membrane de l'orge qui contient des tanins, qui sont importants lors du brassage. La qualité de l'eau est donc un phénomène important au cours du maltage.

b. La germination :

C'est une étape délicate dans laquelle le grain respire et s'échauffe. Les grains étalés en couche vont germés. Cette étape dure 6 jours avec une humidité élevée 45% et la température contrôlée à 15 °C. Les couches de grains sont ventilées pour maîtriser la germination. La germination donne à l'extrémité du grain des radicules et des radicelles (les germes).

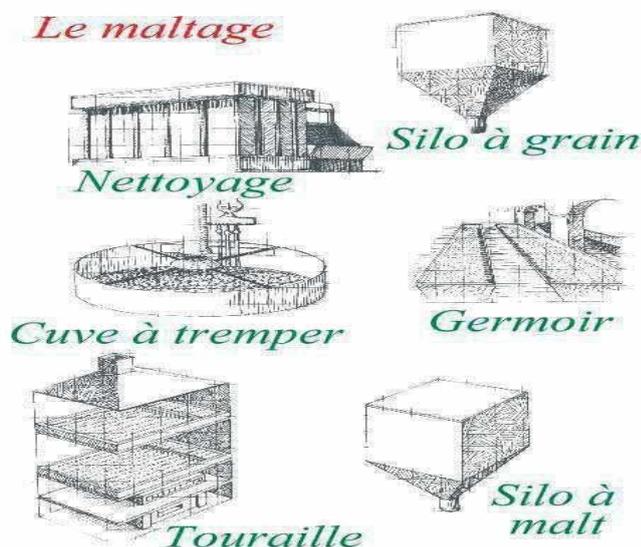
c. Le touraillage :

Cela consiste à arrêter la germination et à colorer le grain. L'opération s'effectue dans une tour, appelée touraille. La touraille est composée du foyer dans le bas de la tour, au-dessus l'orge est disposée sur des plateaux. Le taux d'humidité du malt est alors de 4%. Il y a tout d'abord la phase de dessiccation, 30 heures pendant lesquelles on augmente au fur et à mesure la température pour laisser l'humidité s'échapper.

Puis il y a le coup de feu où la température est entre 80 et 120 °C. La température conditionne la couleur et l'arôme du malt. Plus la température est élevée, plus le malt sera brun. Pour les malts sombres, malts torrifiés, la température peut monter jusqu'à 225 °C. C'est notamment pour les bières brunes irlandaises caractérisées par un arôme amer intense.

d. Le dégermage :

Le malt est maintenant passé au dégermoir, grand tambour perforé, afin d'y enlever les radicelles, qui seront destinées à l'alimentation animale. Le malt est ensuite stocké quelques semaines avant de prendre la route à la brasserie. 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.



II. Le concassage :

La fabrication de la bière commence par le concassage du malt. Le but de cette opération est de faire éclater les grains du malt, en évitant de faire de la farine. Il existe plusieurs types de moulins équipés d'un cylindre de distribution permettant une alimentation homogène des grains sur les cylindres de mouture. On rencontre des moulins à 4, 5 et 6 cylindres qui sont les plus utilisés actuellement dans les brasseries. A SBM, 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**. Ces fractions sont adaptées au filtre presse utilisé lors du brassage, et donne une meilleure filtration.

* Les objectifs de la mouture:

- Concasser le malt de façon à maintenir les écorces qui servent de support de filtration et si celles-ci sont broyées cela provoque un ralentissement ou un blocage de la filtration du maiche.
- Éviter une mouture contenant une proportion très importante de fine farine, celle-ci peut former une couche imperméable pendant la filtration.
- Obtenir le maximum de fins gruaux qui peuvent être facilement solubilisés au cours du brassage.
- Adapter le réglage du moulin de façon à obtenir un profil granulométrique répétable garantissant un moût clair et un meilleur rendement de brassage.

*Remarque :

L'alimentation du moulin, des silos et du tamiseur se fait par un élévateur à godet et des vis sans fin.

III- Le Brassage :

a. Définition :

Le Brassage est une extraction solide-liquide, au cours de laquelle il y a création des conditions favorables pour les enzymes en jouant sur le couple temps température, afin de transformer l'amidon en sucres fermentescibles et hydrolyser les protéines.

b. But du brassage :

- L'objectif de brassage est d'obtenir à partir des matières premières, un moût sucréaromatisé qui, par la suite subira à 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 maiche.

c. Les caractéristiques de brassage à SBM FES

- ❖ Brassage à densité élevée pour des raisons d'augmentation de volume de production avec faible investissement.
- ❖ Méthode par infusion grâce à sa simplicité et son coût énergétique réduit par rapport aux méthodes par décoction, mais elle nécessite un malt désagrégé avec un potentiel enzymatique élevé.

d. L'équipement de la salle de brassage :

- Un cuiseur ou chaudière à trempe
- Une cuve matière
- Un filtre presse
- Une cuve d'ébullition
- Whirpool

e. Les étapes de brassage :

Le brassage comprend les étapes suivantes :

- ✓ l'empattage
- ✓ la filtration
- ✓ la cuisson et le houblonnage
- ✓ la clarification

1- l'empattage :

C'est la transformation de l'amidon des grains du malt en sucres fermentescibles, qui 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.

Le diagramme suivant représente la variation de la température en fonction du temps durant l'opération de l'empattage :

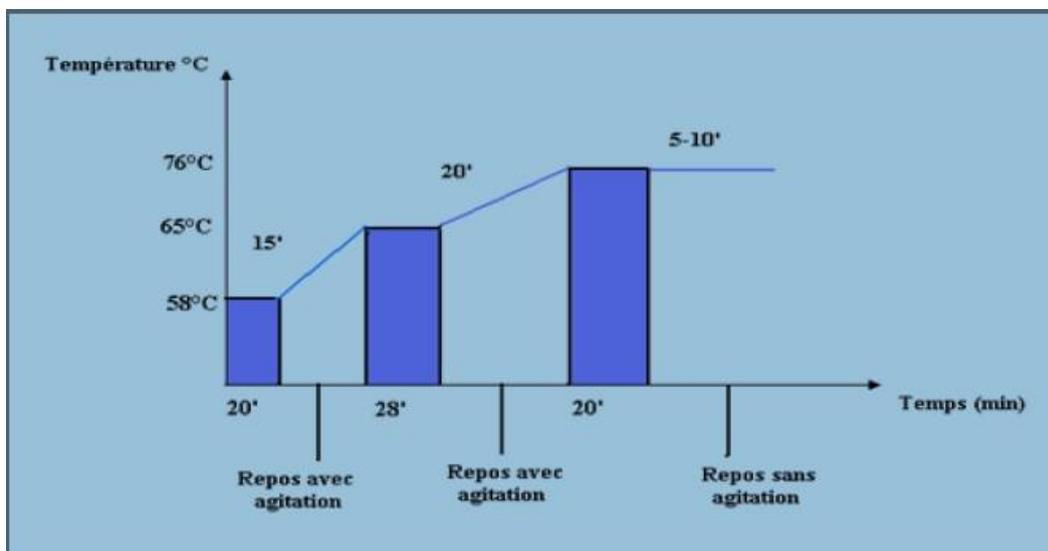


Figure3:Diagramme de la variation de la température en fonction du temps, méthode de décoction.

-Remarque:

- Le mode de chauffage est assuré par la circulation de la vapeur entre les parois de la cuve matière.
- L'agitation est réalisée par un agitateur à 3 pales.
- La cuve est en acier inoxydable.
- La présence d'un brasseur est nécessaire pour la surveillance, le suivie et le contrôle.

2. La filtration :

La filtration se fait à l'aide d'un filtre presse dans lequel la partie liquide se délée de la partie plus ou moins solide : également appelée la drèche. Cette drèche est ensuite utilisée comme aliment pour le bétail.

L'objectif attendu est d'avoir un moût avec une faible turbidité.

3. Cuisson et Houblonnage :

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

Les principales transformations que subit le moût lors de sa cuisson sont :

❖ **Stérilisation du moût :**

L'ébullition du moût détruit les bactéries, levures et moisissures en provenance des Matières premières, le moût n'est stérile qu'à la sortie de cuve d'ébullition.

❖ **Concentration du moût :**

L'ébullition du moût permet l'ajustement de la densité et l'évaporation d'une partie des eaux de lavages.

□ **Inactivation des enzymes :**

Cette opération est importante pour les enzymes bactériennes et fongiques ajoutées au cours du brassage (filtrase) qui parfois sont inactivées à des températures de 95 °C.

4. La clarification/traitement du moût :

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

Le moût tourne avec une grande vitesse créant un cyclone permettant la décantation des particules en suspension dans le Whirlpool varie entre 20-30 min avant le début de refroidissement.

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

Le moût est pompé du Whirlpool vers l'échangeur de chaleur à contre-courant Le refroidissement est assuré par l'eau selon le schéma suivant :

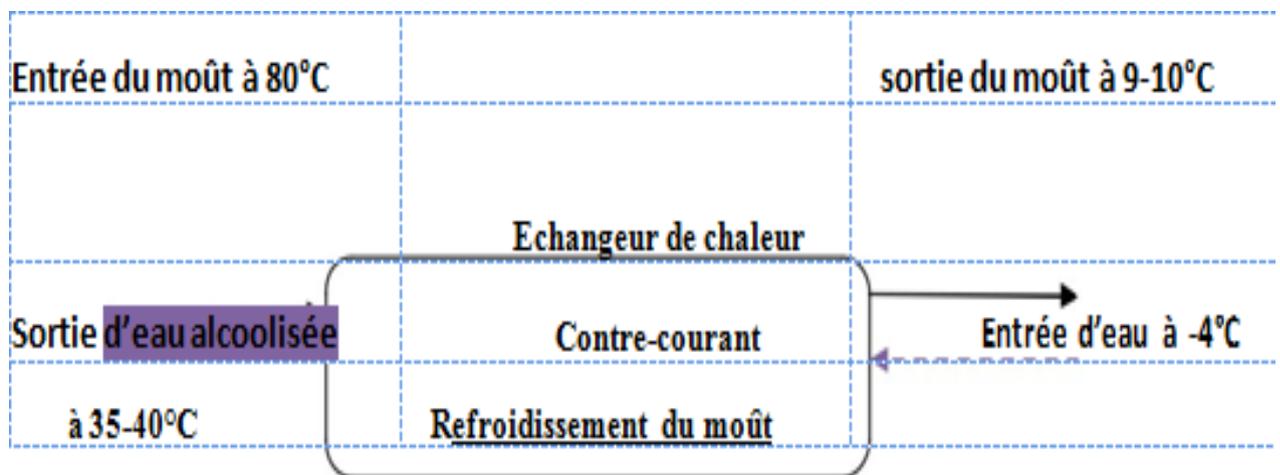


Figure4 : Refroidisseur à plaques.

IV- La fermentation :

Le brassage a donné un moût sucré puis refroidi. Le nom de la fermentation alcoolique est donné à l'opération qui consiste à dédoubler le sucre en alcool et en acide carbonique, sous l'influence de la levure (*Saccharomyces Cerevisiae*), sans faire intervenir l'oxygène.

SBM possède une salle de fermentation contenant :

- ✓ Un refroidisseur
- ✓ 11 fermenteurs
- ✓ 3 levuriers
- ✓ Filtre à kieselguhr (filtre à plaque)
- ✓ 3 tanks bière claire

A la sortie du refroidisseur, le fermenteur est saturé en oxygène obtenu par purification d'air à travers une membrane permettant la filtration des microorganismes pour éviter toute contamination possible du moût.

Après aération, suit l'étape d'ensemencement du moût, il s'agit d'injection de la levure qui se trouve dans les levuriers. La qualité de levure à ajouter est de 25 106 cellules/ml du moût.

Le moût clarifié et oxygéné est ensemencé juste à la sortie du réfrigérant avec de la levure liquide à raison de 0.5 hl /hl du moût à 9-10°C.

On distingue deux types de fermentation, basse et haute. A SBM, on travaille avec la fermentation basse, qui s'effectue à basse température, permettant la récolte de la levure par un coup de froid qui favorise le rassemblement des cellules et leurs dépôts en bas du fermenteur, inhibant par la suite le développement des levures sauvages.

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 et l'alcool éthylique selon la réaction :



Actuellement à SBM, on utilise la technologie de fermentation en tank fermé, et en particulier les cylindro-coniques dont on trouve plusieurs avantages :

- Réduction du coût d'investissement.
- Augmentation de la qualité de la bière.
- Réduction des pertes en matières amères.
- Simplification de la récolte de la levure.
- Diminution des contaminations.

Les courants de convection dans ces fermenteurs sont assurés par le dégagement de gaz carbonique.

Le diagramme suivant représente la variation de température et de densité le fermenteur en fonction du temps :

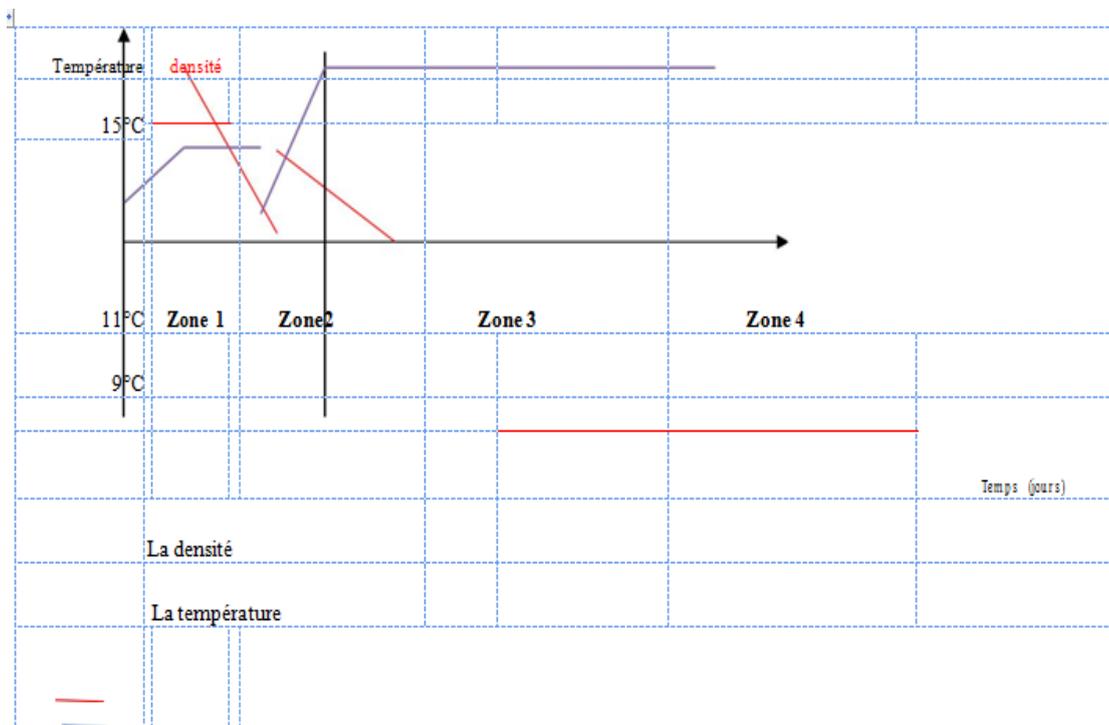


Figure5: Variation de la température et de la densité durant la fermentation.

V- La maturation/Garde :

C'est une étape de maturation pendant laquelle la bière se clarifie et acquiert naturellement de la brillance.

Durant cette étape les transformations suivantes ont lieu :

❖ Saturation de la bière en CO₂ :

La teneur en CO₂ dans la bière en fin de fermentation est de 2g/l, dans cette phase elle Atteint 3.5 à 4g/l par un système de bondonnage à 0.5 °C (**garde froide**) permettant la Solubilisation du CO₂ dans la bière (**variable selon le type de bière**).

❖ Clarification de la bière :

Les particules amorphes, les complexes tanins-protéines (trouble froid) et les levures Mortes se déposent lentement pendant la garde (**garde froide**).

❖ Mûrissement et affinage de la bière :

On constate différentes transformations chimiques donnant des composés finaux qui Caractérisent la saveur de la bière et ses arômes.

VI- Filtration de la bière :

La filtration est une opération qui est nécessaire pour éliminer la levure et les particules colloïdales et pour donner à la bière la limpidité et la brillance recherchées. En général, la bière n'est pas absolument débarrassée de toutes les cellules de levure.

La filtration n'est pas obligatoire mais elle est rendue nécessaire par les exigences des consommateurs qui veulent une bière claire et limpide et qui accordent une très grande importance à la couleur de la bière.

A SBM la filtration est réalisée par un filtre à Kieselguhr.

Le Kieselguhr (**silice amorphe, terre diatomée non calcinée et diatomite**) ameublissent la texture Et augmente la surface interne de la couche filtrante.

La filtration s'effectue par tamisage ou par adsorption. Au fur et à mesure que la bière passe à travers la plaque filtrante, les particules sont arrêtées à la surface et obstruent graduellement les Pores, il faut alors changer de plaque filtrante.

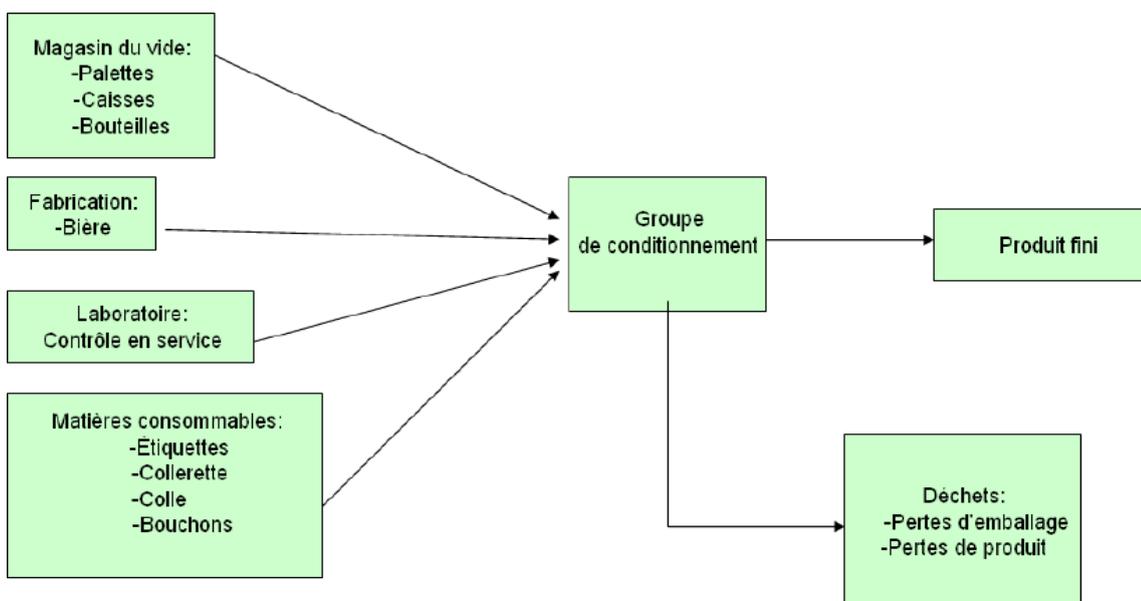
Après filtration, la saturation avec CO₂ se fait au moyen d'appareils appelés saturateurs (**Sous forme d'un long serpentin**) juste à la sortie du filtre, elle peut se faire par injection de CO₂ Dans la bière après filtration.

***NB: Le CO₂ a déjà subi un traitement efficace à l'aide d'une installation.**

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.

VII- Conditionnement :

a. Processus de conditionnement :



Organisation et fonctionnement des machines de conditionnement

- ❖ **Dépalettiseur:** Déchargement des palettes (Dans une palette 56 caisses).
- ❖ **Décaisseuse:** Déchargement des caisses (Dans une caisse 24 bouteilles).
- ❖ **Laveuse des caisses:** Lavage des caisses.
- ❖ **Laveuse bouteilles:** Lavage avec de l'eau chaude 70 °C mélangée avec de la soudecaustique.
- ❖ **Mireuse (1^{ère} inspectrice):** Contrôle de la qualité de lavage: les bouteilles ébréchées, sales, ou avec corps étrangers... sont éjectées à la sortie de la machine pour être ensuite soit recyclées soit cassées.

- ❖ **Soutireuse:** Remplissage des bouteilles par de la bière sous une pression de CO₂, et bouchage des bouteilles par des bouchons.
- ❖ **2^{ème}Inspectrice:** Contrôle le niveau de bière dans les bouteilles ainsi que le bouchage.
- ❖ **Pasteurisateur:** Pasteurisation des bouteilles, des bouchons, et de la bière :
Elle permet de détruire les éventuelles levures s'échappant à travers le filtre et qui pourraient troubler la bière ainsi tout germe pathogène pouvant entraîner une contamination ultérieure du produit pour assurer une longue conservation.
- ❖ **Etiqueteuse:** Habillage des bouteilles: collage des étiquettes et des collerettes sur les bouteilles.
- ❖ **3^{ème} Inspectrice :** Contrôle les étiquettes, les collerettes, bouchons, et le niveau de remplissage de la bière dans les bouteilles. Les bouteilles non conformes éjectées sont soit recyclées s'il s'agit de défaut d'habillage, ou vidangées s'elles sont mal remplies.
- ❖ **Dateuse:** Impression de la date du jour et celle de la péremption pour chaque bouteille (9mois).
- ❖ **Encaisseuse:** Chargement des bouteilles dans des caisses.
- ❖ **Palettiseur:** Chargement des caisses dans des palettes.

***Remarque :**

- ✚ La pasteurisation est un point critique qui nécessite un contrôle (Red-Post).
- ✚ La ligne d'embouteillage automatisée travaille à une cadence de 30 000 bouteilles/h.
- ✚ L'arrêt est l'ennemi de l'embouteillage.
- ✚ Un test de soude après lavage est fait à l'aide de la phénophtaléine.
- ✚ Il existe différentes pompes qui sont utilisées pour le trempage des bouteilles avec la soude : déluge de circulation et de récupération.
- ✚ Le chauffage de la soude se fait à l'aide d'un serpentin.



Chapitre 3:

Étude de l'influence de la température lors du brassage

I- Contexte de l'étude :

L'étape de brassage de malt est parmi les étapes les plus importantes dans le processus de fabrication de la bière pour bien homogénéiser la trempe afin de créer des conditions favorables pour l'action enzymatique.

L'objectif de ce travail se concentre sur l'étude des conditions exogènes (Température, pH) pour favoriser de façon optimum les réactions enzymatique mises en jeu afin d'assurer un brassage adéquate du mélange .

II- Brassage :

Le but du brassage est d'extraire les principes utiles du malt et du houblon pour obtenir un moût sucré. Les facteurs essentiels dont dépendra la réussite du brassage sont la qualité du malt, la nature de la mouture, le procédé de brassage et le mode de soutirage.

■ PHENOMENES PRINCIPAUX

- Dissolution des substances azotées du malt
- Hydrolyse des protéines en acides aminés et peptides
- Empesage de l'amidon
- Liquéfaction de l'amidon
- Hydrolyse de l'amidon en sucres fermentescibles et dextrines
- Destruction des enzymes
- Séparation des drèches
- Isomérisation des acides amers du houblon
- Destruction des micro-organismes
- Séparation d'un trouble protéiques

■ FACTEURS D'ACTION

- Température, Temps, pH
- Enzymes du malt et exogènes
- actions mécaniques: mouture, agitation, filtration, centrifugation

Figure6 : Principaux phénomènes au brassage : Facteurs d'action :

TRANSFORMER LE MALT EN MOUT SUCRE

AMIDON

SUCRES FERMENTESCIBLES ET DEXTRINES

PROTEINES

AZOTE SOLUBLE ET ACIDES AMINES

Figure7 : Bilan de transformation au brassage

a. Salle de brassage :

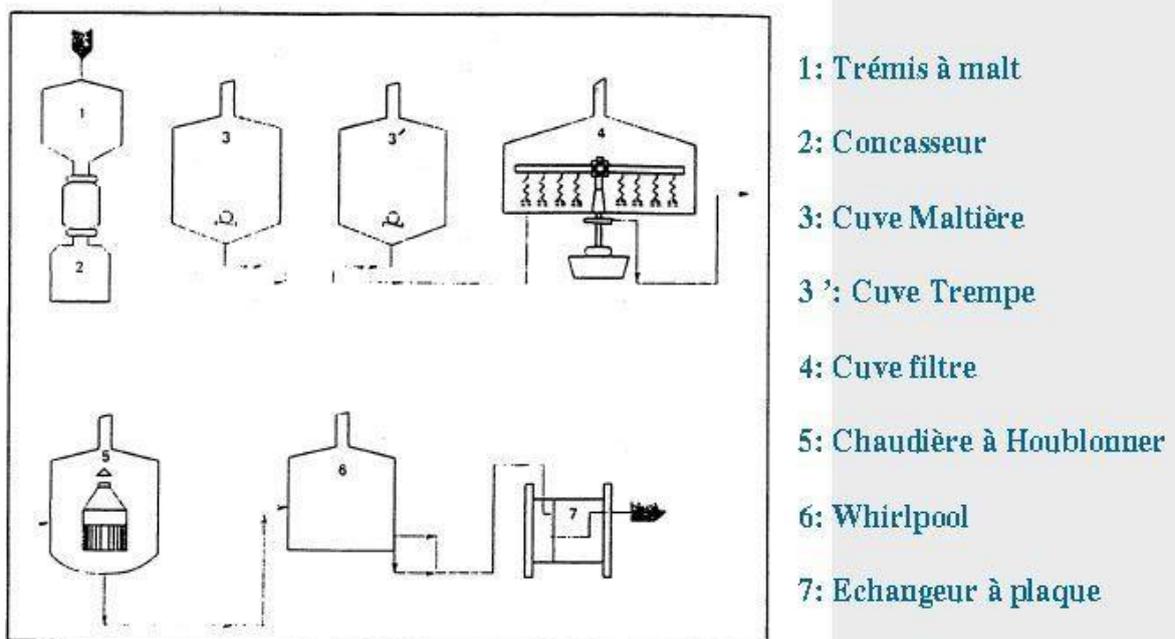


Figure8: équipements de la salle à brasser

b. Cuve de matière, Cuve trempe :

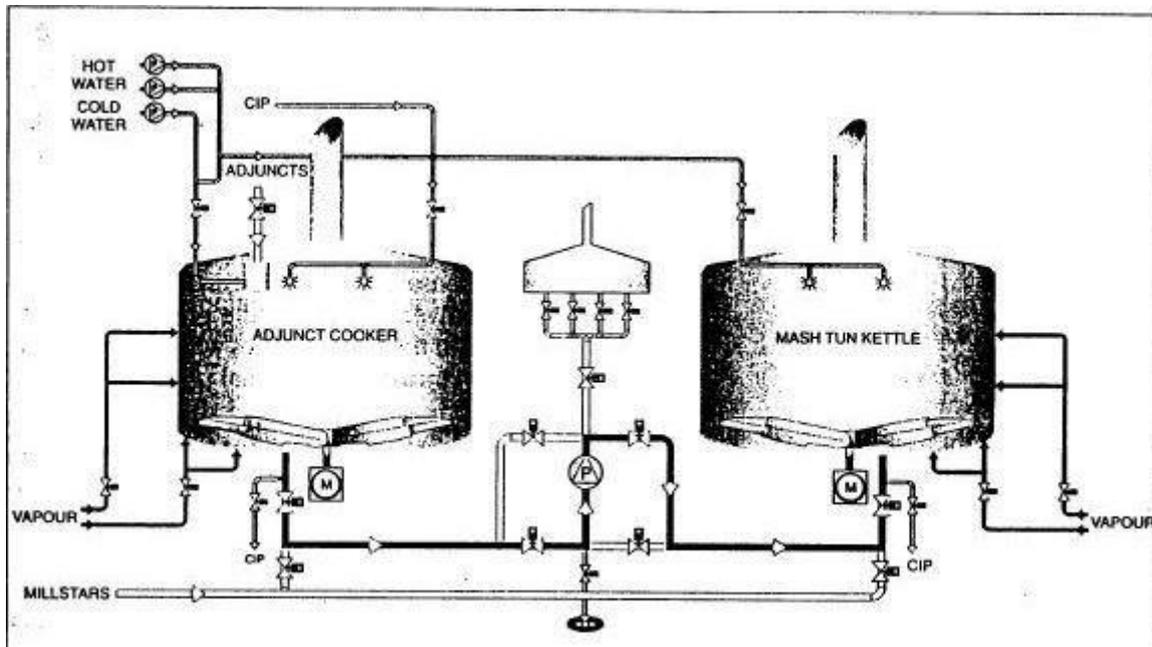


Figure9 : cuve de matière, cuve trempe

c. différents étapes du brassage :

1. Le concassage du malt :

La mouture en brasserie comprend principalement la mouture du malt, les grains crus sont généralement suffisamment élaborés et prêts à l'emploi, l'équipement de mouture pour les grains crus est spécifique à chaque grain cru et les constructeurs de moulin doivent être consultés à ce sujet.

Il existe plusieurs types de moulins équipés d'un cylindre de distribution permettant une alimentation homogène des grains sur les cylindres de mouture.

Le moulin utilisé en SBM, c'est le moulin à cinq cylindres avec trois passages et équipé d'un tamis intermédiaires permettant un deuxième passage de particules insuffisamment broyées.

2- Le brassage proprement dit, ou extraction, par dissolution, des principes utiles du grain.

3- Filtration du moût.

4- Cuisson, Houblonnage du moût..

5- Refroidissement, Clarification du moût

Nous donnerons successivement les principes et le mode de réalisation de chacune d'elles.

Les caractéristiques de brassage à SBM :

- **Brassage à densité élevée** pour des raisons d'augmentation de volume de production avec faible investissement.
- **Méthode par infusion** grâce à sa simplicité et son coût énergétique réduit par rapport aux méthodes par décoction, mais elle nécessite un malt désagrégé avec un potentiel enzymatique élevé.

1. Matière première et préparation :

• Caractéristiques de l'eau au brassage :

L'eau est composée de 6 principaux sels minéraux : le bicarbonate, le sodium, le chlorure, le calcium, le magnésium et le sulfate. Leur proportion va influencer sur la douceur ou la dureté en bouche de la bière, mais aussi sur le processus de fabrication, le bicarbonate réduit la transformation des amidons en sucres, le sulfate fait ressortir l'amertume de la bière, une dose trop importante de chlorure limitera la présence de mousse, le magnésium quant à lui est indispensable à la levure.



Figure 10: critères de l'eau de brassage

2. Principaux phénomènes enzymatiques :

a. caractéristiques des enzymes amylolytiques :

Le PH optimum d'activité de chacune des solutions d'amylase, dextrinase et glucosidase est respectivement de 5.4, 5.6, 5.8 et 6. Ainsi que les températures optimales sont respectivement de 35-40, 60-65 et 70-72.

	pH optimal	TEMPERATURE (°C)	
		optimale	inactivation
α -amylase	5.6-5.8	70-72	75
β -amylase	5.4-5.6	60-65	65
dextrinase-limite	5.4	60-65	70
α -(1-4)-glucosidase	6	35-40	50

Tableau5 : différents enzymes amylolytiques

b. Action des amylases :

La conversion de l'amidon est un processus enzymatique dans lequel 4 types d'enzymes ont leur rôle. Les deux plus connues sont les α et β -amylases. Celles-ci travaillent sur les liaisons α -glycosidiques des molécules de l'amidon et des dextrines. Une autre enzyme, la dextrinase limite, est capable de détruire les liaisons α -1-6-glycosidiques qui forment les embranchements dans la molécule d'amylopectine. La dernière est la maltase, une enzyme capable de réduire des dissacharides ou polysaccharides en molécules de glucose. Mais comme cette enzyme est détruite au delà de 45°C, elle ne joue pas un rôle important dans le brassage.

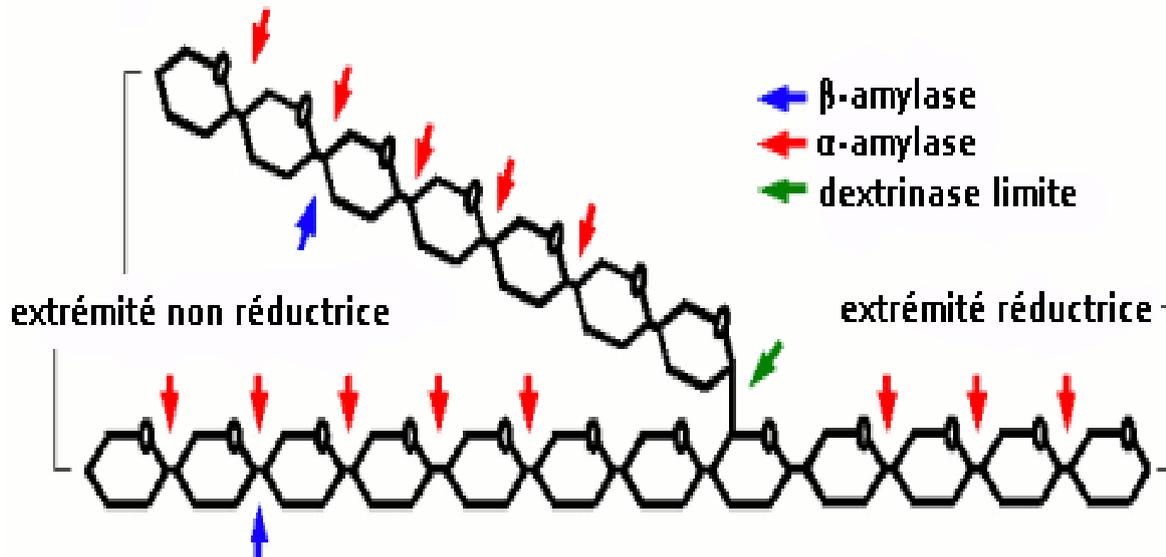


Figure 11: dégradation de l'amidon lors du brassage

L' α -amylase est une enzyme qui peut séparer toutes les liaisons α -1-4 de l'amidon et des dextrines à l'exception de celles situées à un point de ramification. Cette opération de transformation des liaisons glycosidiques est appelée Hydrolyse parce qu'elle consomme une molécule d'eau pour y arriver. C'est cette enzyme qui provoque une diminution rapide de la viscosité du moût et qui réagit lors du test à l'iode après la gélatinisation de l'amidon.

L' α -amylase est efficace pour réduire l'amidon en dextrines plus petites mais n'est pas capable de produire des sucres fermentescibles.

La β -amylase arrive quant à elle beaucoup mieux à produire des sucres fermentescibles. La façon dont la β -amylase hydrolyse l'amidon et les grandes dextrines explique l'abondance de maltose produit dans le moût pendant le brassage. La β -amylase s'attache à l'extrémité non réductrice d'une chaîne de glucose et coupe des molécules de maltose les unes après les autres jusqu'à arriver à un point de ramification (lien α 1-6). Pour que la β -amylase puisse travailler sur les chaînes de glucose après les points de ramification, elle doit profiter de l'activité de l' α -amylase qui crée une extrémité non réductrice à chaque fois qu'elle sépare une chaîne de glucose ou une dextrinase limite qui peut elle même détruire les embranchements α 1-6.

Pendant le brassage les α et β -amylases travaillent donc ensemble, l' α -amylase crée des sous chaînes (extrémité non réductrice) pour la β -amylase. Le procédé qui consiste à créer des sucres est appelé saccharification et arrive peu après la liquéfaction de la Maïche. Si l'on veut favoriser un moût hautement fermentable on maximisera l'activité de la β -amylase. Ce qui est souvent effectué en pratique.

c. Caractéristiques des protéases :

Les protéases ou les enzymes protéolytiques sont des enzymes qui brisent les liaisons peptidiques des protéines. On parle alors de coupure protéolytique ou de protéolyse

- Les aminopeptidases qui coupent entre le premier acide aminé et le second acide aminé de la chaîne, libère donc l'acide aminé N-terminal
- Les carboxypeptidases qui coupent entre l'avant dernier et le dernier acide aminé de la chaîne, libère donc l'acide aminé C-terminal
- Les endopeptidases qui peuvent couper à l'intérieur de la chaîne peptidique.
- Les dipeptidases qui scindent les dipeptides

Le tableau ci-dessous représente le Ph et la température optimums de chacune des peptidases :

	TEMPERATURE (°C)		
	pH optimum	optimum	inactivation
Aminopetidases	7,2	40-45	55
Carboxypeptidases	5,2-5,6	50	70
Dipeptidases	8,8	40-45	55
Endoprotéases	3,9-5,5	45-50	70

Tableau6 : Facteurs d'activation des enzymes protéolytiques

d. Action des protéases :

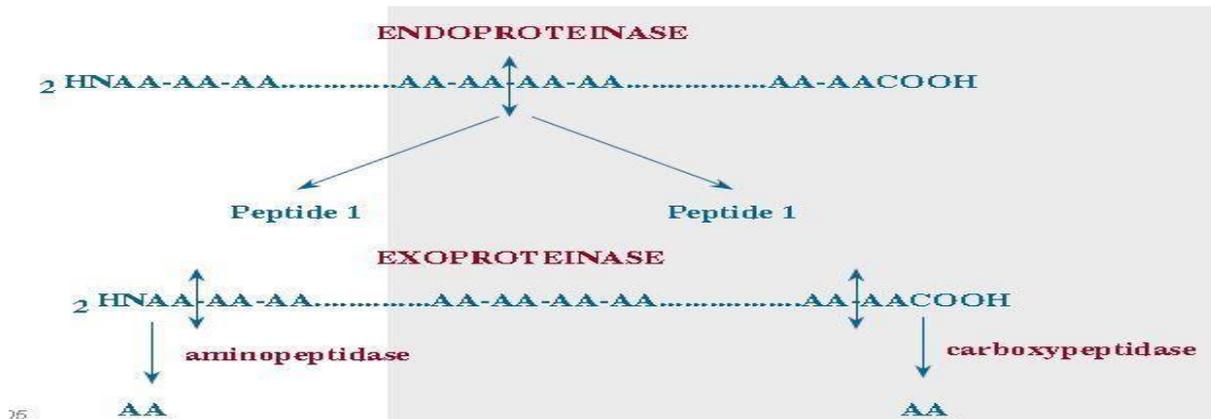


Figure12 : action des endoprotéinase et exoprotéinase

Pour l'action protéolytique, on a les endoprotéase brisant la protéine en milieu du substrat (protéine)

Après vient l'action des exoproteinasés tels que aminopeptidasés et carboxypeptidasé qui coupent les peptides par les extrémités comme la figure montre

III-Étude de l'influence de la température sur l'efficacité de brassage du moût

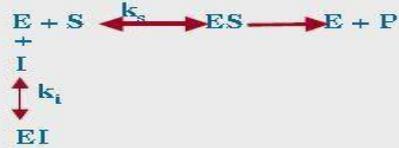
III.1- Introduction

Les enzymes intervenant pour la coupure soit des liaisons saccharidiques (**amidon**) soit des liaisons protéiques (**protéines**) ont des paramètres qu'on va contrôler au cours du brassage afin d'effectuer cette opération dans des conditions optimums de ce procédé.

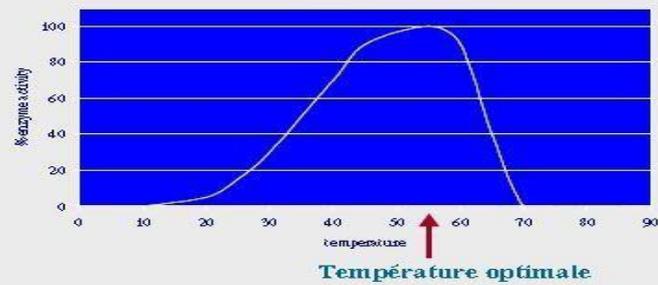
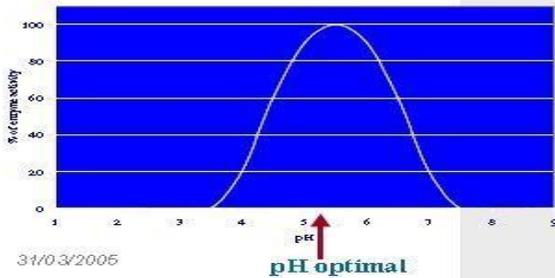
C'est pour cette raison mon projet s'inscrit dans l'étude de l'influence de la variation de la température pour produire de façon optimum les composés assimilés directement lors de la fermentation grâce à l'action des enzymes mises en œuvre afin de fabriquer un produit de bonne qualité.

III-2- Cinétique enzymatique

La cinétique enzymatique a pour objet d'identifier et de décrire les mécanismes des réactions biochimiques, catalysées par les **enzymes (réaction enzymatique)**, en étudiant la **vitesse** du PH et de T° c'est-à-dire leur évolution en fonction du temps.

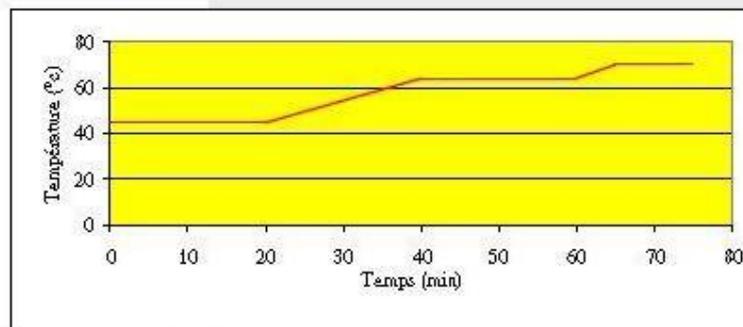


$V = [S], k_s, [E], [I], K_i, pH, T^\circ, \text{Force ionique},$



III. 3- Influence de la température

a. Formation des sucres fermentescibles lors du brassage



	Sucres fermentescibles (g/l)					
	Début 45°C	Fin 45°C	62°C	Début 64°C	10 mn 64°C	Fin 64°C
Glucose	9.7	12.3	19.2	17.9	23.1	22.9
Fructose	2.4	3.6	3.7	3.4	4.4	4.1
Saccharose	2.8	2.7	2.3	3.6	4.3	5.6
Maltose	12.7	17.9	88.5	89.9	115.6	113.1
Malto triose	2.2	2.9	18.2	19.4	26.1	24.8
Total	29.9	42.6	132.1	134.8	173.5	170.1

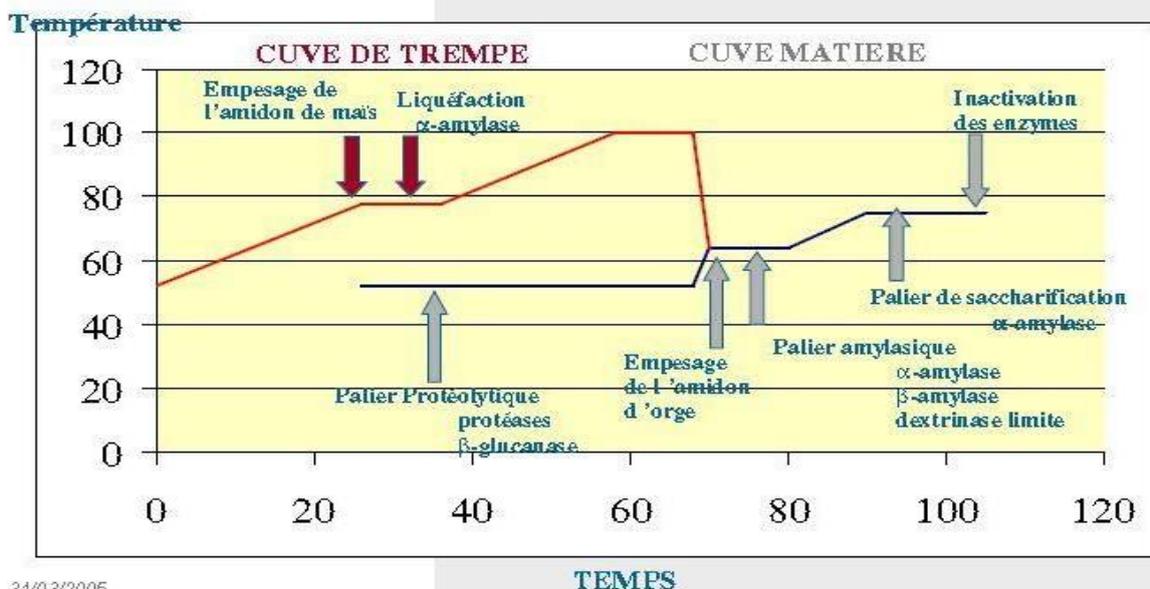
Figure 13: diagramme de formation des sucres fermentescibles en fonction de la température



- On commence le brassage à 45 °C, cette température permet l'activation des enzymes amyliques et on produit environ 43 g/l des sucres fermentescibles.
- L'activité des enzymes amyliques augmente progressivement avec la température, on atteint la formation d'environ 173 g/l des sucres fermentescibles à la fin de la température 63°C.
- lorsqu'on mélange la cuve trempe et la cuve matière la température va vers 75 °C, cette température permet la solubilisation complète de l'amidon
- les réactions chimiques mises en jeu durant le brassage sont :

$(C_6H_{10}O_5)_n$	$x (C_6H_{10}O_5)_n/x (1)$
Amidon	Dextrines
$(C_6H_{10}O_5)_n + n/2 H_2O$	$n/2 (C_{12}H_{22}O_{11}) (2)$
Maltose	Glucose
$(C_6H_{10}O_5)_n + n H_2O$	$n. C_6H_{12}O_6$

b. Diagramme de brassage :



31/03/2005

Figure14 : diagramme de la variation de la température dans la cuve de trempe, cuve matière en fonction du temps.

- **Cuve de trempe**

- Une quantité de l'amidon qui provient de maïs est mélangée dans le cuiseur avec de l'eau chaude, on ajoute comme additifs l'acide ascorbique, KMS (antioxydant) et le Termamyl qui contient les enzymes amyliques.
- On commence à une température de 52°C et on chauffe jusqu'à 76°C, cette température permette la saccharification de l'amidon pendant 15 min.
- La formation de l'empois ou empesage consiste à traiter, quelques instants, l'amidon par l'eau chaude pour arriver à l'éclatement des grains d'amidon de maïs permettant la formation de solutions colloïdales visqueuses, à une température de 76 °C on arrive à l'empesage de l'amidon de maïs.
- Cette température est maintenue constante jusqu'à La liquéfaction, Elle est due à une enzyme : l'amylase, qui a pour rôle de scinder les grosses molécules d'amidon en sucres plus simples (glucose, maltose et sucre plus complexe).
- On continue le chauffage rapidement jusqu'à atteindre 100°C à 5 min.

- **Cuve de matière**

- Au même temps on mélange une quantité du malt concassé avec l'eau chaude (une maiche) à une température 56°C. Les protéines du malt non solubles se transforment en acides aminés, par l'action combinée de l'eau et des enzymes (protéinases et peptidases) qui sont réactivés, ce palier est appelé palier protéolytique et dure entre 15 et 30 minutes. Il permet de transformer les protéines responsables du trouble la bière mais peut nuire à la bonne tenue de la mousse.
- On additionne des additifs tel que l'acide chlorhydrique pour régler le pH, filtrase et glucanase pour la dégradation des glucanes, le chlorure de Calcium (CaCl₂) sous but d'enrichir la bière et dernièrement le chlorure de zinc 5 (ZnCl₂) qui joue un rôle dans l'activation de la levure .
- On augmente la température jusqu'à 63°C, cette température est convenable pour former le maltose (sucrefermentescible) pendant une durée de 30 min, c'est ce qu'on appelle < Le Brassage par décoction > .

- **Mélange (Cuve de matière + Cuve de trempe)**

- Le point d'intersection de la courbe rouge et la courbe bleue signifie qu'on a versé la trempe (100°C) dans la cuve de matière (63°C).
- Un équilibre thermodynamique s'établit et donc passage de la température à 72°C.

- Le palier amylolytique permet la formation de sucres fermentescibles grâce à la décomposition de l'amidon. La beta amyrase décompose l'amidon en brisant la chaîne moléculaire et les dextrans par leurs extrémités, créant ainsi du dextrose et du maltose, des sucres fermentescibles. Cette action a lieu en combinaison avec l'alpha amyrase qui décompose les chaînes d'amidon par le centre, la beta amyrase ne pouvant s'attaquer qu'à leurs extrémités. Cette étape dure en moyenne 30 minutes.
- le palier de saccharification permet cette fois la formation de sucres non fermentescibles. La beta amyrase se dénature, ne laissant plus que l'alpha amyrase en action qui décompose l'amidon en brisant la chaîne moléculaire par son centre, créant ainsi des dextrans, sucres non fermentescibles. Cette étape dure en moyenne 30 minutes.
- Au delà de 78°C, c'est le palier d'inhibition des enzymes d'une durée moyenne de 10 minutes en détruisant les enzymes.

***N.B :**

Un test d'amidon à la fin pour être sûr que tout l'amidon s'est transformé, et c'est à partir de la non coloration de l'iode ajouté à la Maîche (sur un fond blanc).

c. Activité amylosique au brassage

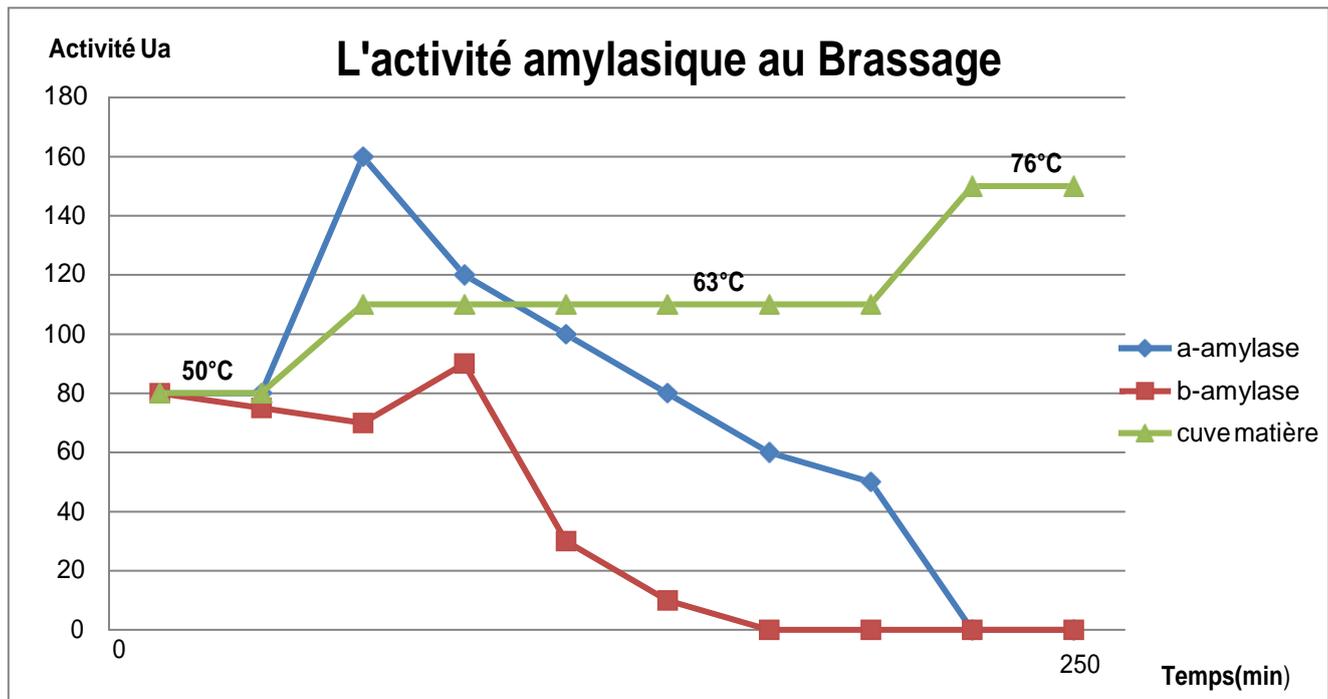


Figure15 : Diagramme de l'activité amylosique en fonction de la température

En suivant l'activité enzymatique de b-amylase, l'activation de cette enzyme commence à une température de 50°C, cette activité commence à chuter dans un premier temps à 50°C.

Mais en augmentant la température à 63°C, l'enzyme b-amylase favorise de façon optimum la transformation de l'amidon en sucre fermentescible.

Cette activité commence à diminuer progressivement à cette température jusqu'à l'inactivation de l'enzyme pendant une durée de 150 min à la même température.

Pour l'activité de a-amylase, l'activité initiale de cette enzyme est de 80 ua qui demeure constant à 50°C, après chauffage rapide à 63°C, l'activité enzymatique de a-amylase est optimale (160ua).

Cette activité commence à chuter progressivement jusqu'à environ 50 ua.

Après l'addition de la trempette dans la cuve de matière, la température va augmenter puisque la trempette portée à l'ébullition fournit la chaleur au mélange, on remarque que la vitesse de l'activité enzymatique de a-amylase diminue rapidement jusqu'à le point d'inactivation totale.

d. Production de maltose au Brassage :

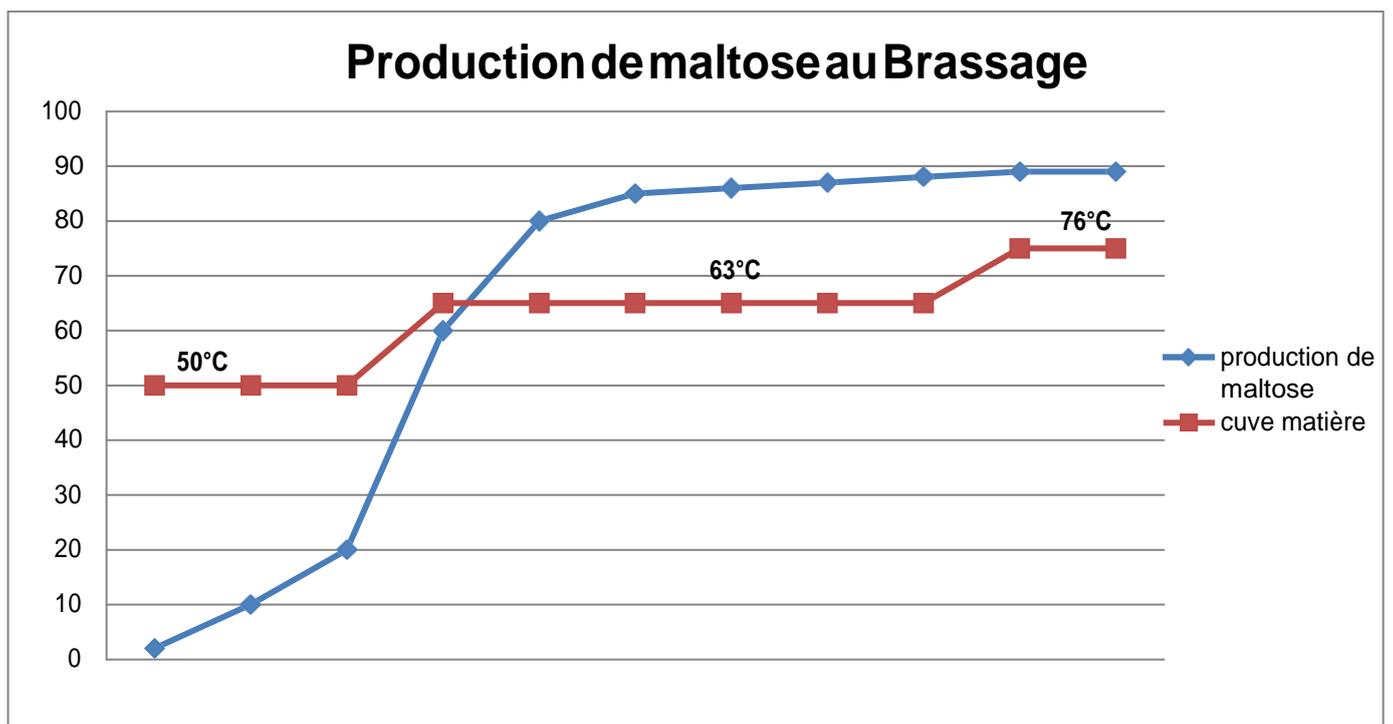


Figure 16: Diagramme de formation de maltose en fonction de la température

- La courbe ci-dessus montre la production de maltose en g/l en fonction de la température.
- À 50 °C, on remarque que la vitesse de production du maltose augmente jusqu'à 20 g/l après le passage instantané à 63°C, la vitesse de dégradation de l'amidon en maltose est optimale.
- On conclut que cette température est optimale pour l'activité enzymatique et pour cela on trouve que la production du maltose dans cette zone est optimale, on atteint environ 90g/l du maltose après l'inactivation de ces enzymes.

Conclusion

Ce stage, était une occasion d'appliquer mes connaissances dans le domaine professionnel, particulièrement dans une entreprise ayant son poids économique et commercial à l'échelle national.

Ce stage a été très enrichissant pour moi, J'ai pu découvrir les différents postes de l'entreprise et avoir un aperçu global de son fonctionnement. Il m'a permis de me familiariser avec les différents services et d'avoir une approche réelle du monde du travail. J'ai pu faire le rapprochement entre ce que j'avais appris en cours et ce qui se passe vraiment dans l'entreprise, ce qui n'a pas toujours été facile car chaque entreprise est un cas particulier.

A terme de cette étude, Ce travail a pour objectif de déterminer l'étude de la température lors du brassage.

Dans la première partie de ce travail, on s'est intéressé à déterminer une présentation de l'organisme d'accueil SBM Fès.

Dans la deuxième partie de ce travail, on s'est intéressé à évaluer le processus de fabrication de la bière.

Finalement, on a pu montrer dans la troisième partie du travail l'étude de l'influence de la température lors du brassage. On a pu montrer ainsi chacune de la production de maltose et l'activité amylasique en fonction de la température pendant le brassage.

Vu l'importance des résultats trouvés, il nous semble intéressant d'étendre ce travail pour savoir les différents conditions exogènes (Température, pH) pour favoriser de façon optimum les réactions enzymatiques pendant le brassage.



Bibliographie & Webographie

- + Documents internes de la SBM Fès.
- + Boissons de la BRASSERIE et de la MALTERIE.
- + Comité de la qualité des produits.
- + Bière Pression : Guide technique sur la distribution_2007.
- + Formation : technologie du brassage_2005.
- + http://fr.mt.com/fr/fr/home/supportive_content/specials/enews_co2.html
- + <http://la-cave-de-gambrinus.com/category/la-biere/zythologie/fabrication-de-la-biere/?age-verified=c61d0d00a8>
- + <http://www.leconomiste.com/article/certification-la-contagion-par-les-donneurs-dordre>