

Sommaire

INTRODUCTION.....	4
PRESENTATION DE LA BRANOMA	5
CHAPITRE I : MATIERES PREMIERES	7
1. Le malt.....	7
1.1. Maltage.....	7
1.2. Stockage du malt	8
2. Houblon.....	8
3. Levure.....	8
CHAPITRE II : FABRICATION DE LA BIERE AU BRANOMA.....	10
1. Concassage	10
2. Brassage	10
2.1. Empattage.....	10
2.2. Filtration de la maische	13
2.3. L'Ebullition du moût	13
2.4. Traitement du moût	15
3. Fermentation.....	15
3.1. Refroidissement du moût.....	15
3.2. Fermentation proprement dite	16
4. Maturation de la bière ou Garde.....	23
4.1. Filtration de la bière et sa clarification	24
4.2. Filtration	25
5. Conditionnement de la bière.....	25
5.1. Organisation des machines de conditionnement	26
5.2. Fonctionnement des machines.....	26
CHAPITRE III : LABORATOIRE D'ANALYSE ET DE CONTROLE DE LA QUALITE	31
1. Analyses des matières premières.....	31
2. Les analyses physico chimiques.....	31
2.1. Analyse de l'eau	31
2.2. Les analyses pour le brassage.....	33
2.3. Les analyses pour la bière de garde	34
2.4. Les analyses pour la bière claire.....	34
2.5. Les analyses du produit fini.....	34

3. Les analyses microbiologiques.....	36
3.1. Analyse de l'eau.....	36
3.2. Analyse du produit	36
3.3. Analyse de la levure	37
CHAPITRE IV : SERVICE UTILITE	38
1. Secteur de production de la vapeur à l'aide de la chaudière.	38
2. Secteur de traitement du CO ₂	38
3. Secteur de traitement des eaux	39
3.1. Adoucissement des eaux.....	40
3.2. Déchloration des eaux	40
4. Secteur de production du froid	40
CONCLUSION	41
BIBLIOGRAPHIE	42



INTRODUCTION

Les brasseries font partie des industries agro-alimentaires qui touchent le domaine chimique étant donné qu'elles s'occupent des différentes transformations dont le produit fini est la bière. Bien que la bière soit une boisson consommée par une grande partie de l'humanité, la majorité s'intéresse à son goût et sa saveur sans toutefois considérer leur origine. Mais pour nous tant que chimistes, devons considérer la bière comme un bien chimique qui peut s'avérer dangereux si certaines conditions ne sont pas satisfaites. Une bière mal dosée ou mal fabriquée de façon septique pourrait avoir des effets néfastes sur la vie d'un consommateur sans que celui-ci s'en rende compte.

Le but de ce travail était d'assister et d'observer tous les processus de fabrication de la bière, de faire les analyses physico-chimiques et microbiologiques à chaque étape. C'est pour cela qu'une riche connaissance en chimie s'impose.



PRESENTATION DE LA BRANOMA

➤ Informations générales

Raison Sociale : Brasserie du Nord Marocain

Statut juridique : Société Anonyme

Capital social : 50 000 000 Dhs

Actionnariat : Société des Brasseries du Maroc et autres

Adresse : Rue Ibn EL KHATEB SIDI BRAHIM, Quartier industriel Fès, B.P 2100

Date de mise en service : 1947

Effectif : 151

Capacité de production : 200 000 Hl/an

Surface totale : 30 500 m²

BRANOMA fait partie du groupe des brasseries du Maroc, qui se compose de :

- 🚩 SBM : Société des Brasseries du Maroc
- 🚩 Brasserie de Tanger
- 🚩 SVCM : Société de Vinification et de Commercialisation des Vins du Maroc

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

- Fabrication, Conditionnement de bière : Stork, Flag Spéciale
- Distribution du produit BRANOMA et SBM

➤ Champ de certification

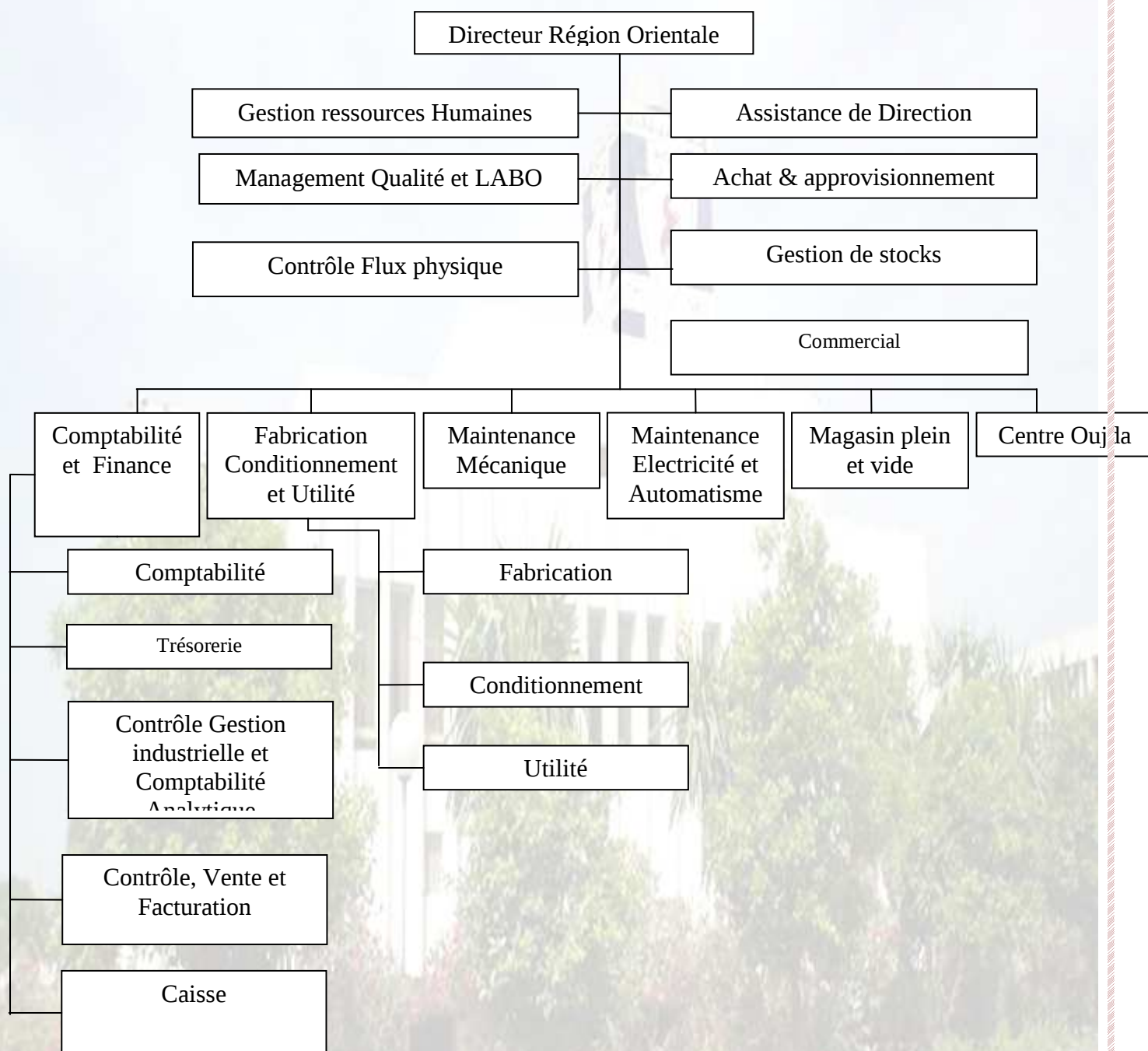
Il comprend les achats, la fabrication, le conditionnement, le stockage et la commercialisation.

➤ Un peu d'historiques

Evénements	Dates
Date de création	1947
Licence Heineken	1979
Arrêt de Production de Boissons Gazeuses	1982
Arrêt de production de Heineken	1990
Déménagement à la nouvelle usine	Fin 2004

Tableau1 : Evénements ayant marqués BRANOMA

ORGANIGRAME DE BRANOMA DE LA REGION ORIENTALE



CHAPITRE I : MATIERES PREMIERES

Pour la meilleure compréhension du processus de fabrication de la bière par BRANOMA, un petit rappel sur les matières premières essentielles est nécessaire. BRANOMA utilise principalement : le Malt, l'Eau, l'Houblon, la Levure et quelques additifs alimentaires.

1. *Le malt*

Le malt arrive à BRANOMA en provenance de Casablanca. Le groupe de Brasserie du Maroc de Casablanca importe l'orge de l'Europe et le transforme en Malt. Cette transformation est connue sous le nom de maltage.

L'orge est une céréale à paille, plante herbacée annuelle de la famille des poacées. Elle est la plus ancienne céréale cultivée. Bien adaptée au climat méditerranéen du fait de sa rusticité, elle constituait ainsi la principale céréale cultivée dans l'antiquité grecque, et consommée sous forme de galette ou de bouillie.



Image 1: Grains d'orge



Image 2: Grains de malt

1.1. **Maltage**

Le maltage est le développement naturel de l'orge d'une façon industrielle qui permet d'obtenir des enzymes principalement les hydrolases (amylases, phosphatases, peptidases) et les sucres nécessaires à la saccharification de l'amidon et donc à la fabrication de l'alcool lors de la fermentation.

Les enzymes produits lors du maltage traversent la barrière hémicellulosique de l'orge et accèdent à ses réserves d'amidon pour le transformer en glucose.

❖ **Les étapes du maltage**

Le maltage se déroule en quatre étapes :

1.1.1. *Le trempage*

Le trempage consiste à tremper le grain d'orge dans l'eau environ quarante heures afin de provoquer la germination. Cette étape est réalisée en alternance entre une période sous eau et l'autre sous air pour permettre aux grains de respirer ; l'hydratation passe de 12-16% à 42-45%.

1.1.2. La Germination

Pendant La germination, l'orge commence à produire des enzymes telles que l'amylase. Cette étape dure de quatre à six jours suivant la nature de l'orge et donne ce que l'on appelle « malt vert ».

1.1.3. Le touraillage

Le touraillage consiste à sécher le malt vert en le ventilant avec de l'air chaud dont on augmente progressivement la température de 50 à 60°C. Il dure 24 à 48 heures, il ya diminution de l'humidité du malt vert de 45% à 4%. C'est en ce moment qu'apparaissent les arômes du malt.

1.1.4. Le Dégermage

Le dégermage consiste à débarrasser le malt de ses radicules. Ces dernières doivent être enlevées à cause de leur transmission des substances indésirables au moût (amertume, coloration trop forte du moût, etc.).

1.2. Stockage du malt

A BRANOMA le malt est stocké dans trois tanks appelés silos. Le premier silo a une capacité de 60 tonnes et les deux autres, de 30 tonnes chacun, sont reliés entre eux.

2. Houblon

C'est une plante grimpante cultivée pour ses cônes, ou inflorescences femelles, employés pour aromatiser la bière. La poudre jaune extraite du houblon donne son goût amer à la bière. Le houblon arrive au BRANOMA sous forme solide (pellettes) et sous forme fluide (extrait).

3. Levure

Ce sont des champignons qui favorisent la fermentation en utilisant les sucres dérivés de l'amidon pour se développer . Les levures appartiennent principalement à deux espèces :

Saccharomyces cerevisiae pour la fermentation haute (la levure remonte à la surface de la bière fermentée)

Saccharomyces Uvarum pour la fermentation basse (la levure se dépose au fond de la cuve de fermentation).

La fermentation au BRANOMA étant haute, on utilise la première espèce ci-haut citée.



CHAPITRE II : FABRICATION DE LA BIÈRE AU BRANOMA

La fabrication de la bière est un processus successivement ordonné comprenant les différentes étapes suivantes :

1. Concassage

C'est une opération consistant à rendre accessible l'amidon des grains d'orge maltés tout en évitant de détruire leur enveloppe. Le malt sort du silo à l'aide d'un élévateur à godets et va vers une balance de contrôle qui indique la quantité à concasser, en passant par un tamis pour se débarrasser des impuretés telles que les poussières, les cailloux et consorts. Le malt, après la pesée, est entraîné dans un moulin et transformé en ce qu'on appelle « la mouture » composée par les écorces ou enveloppes, les gruaux, les fins gruaux et la farine. Cette mouture se récupère dans une trémie à farine. Soulignons que les écorces du malt servent comme support pendant la filtration.

Pendant le concassage, il faut éviter l'obtention d'une grande quantité de la fine farine puisqu'elle forme une couche imperméable lors de la filtration de la maïsche et on doit obtenir un maximum de fins gruaux qui peuvent être facilement solubilisés lors du brassage. Le réglage du moulin est nécessaire pour avoir une granulométrie répétable garantissant un moût clair et le meilleur rendement de brassage.

2. Brassage

Le brassage est l'un des étapes les plus importantes dans la fabrication de la bière. Il est constitué par plusieurs opérations dont ***l'empattage, la filtration de la maïsche, l'ébullition et le traitement du moût.***

2.1. Empattage

C'est la première étape du brassage qui consiste à mélanger la mouture, l'eau et l'amidon provenant du maïs. Pour que l'amidon du grain se transforme en sucres fermentescibles, cette masse liquide est chauffée en respectant certains paliers de température.

La mouture venant de la trémie est acheminée vers la cuve matière. Au cours du processus, ajout d'eau chaude d'une part et d'eau froide de l'autre part, jusqu'à une température de 58°C, forme une solution homogène appelée « la maïsche ». C'est le procédé de brassage par infusion. On agite la maïsche pour éviter que la mouture colle au fond de la cuve. On élève successivement la température de 58 à 68°C puis à 76°C.

Le procédé d'empattage se résume en étapes suivantes :

- On chauffe l'amidon provenant du maïs dans un cuiseur jusqu'à 100°C



✚ On chauffe la maïsche dans la cuve matière, jusqu'à 68°C et on y verse cet amidon pour augmenter la quantité de l'amidon dans le maïsche.

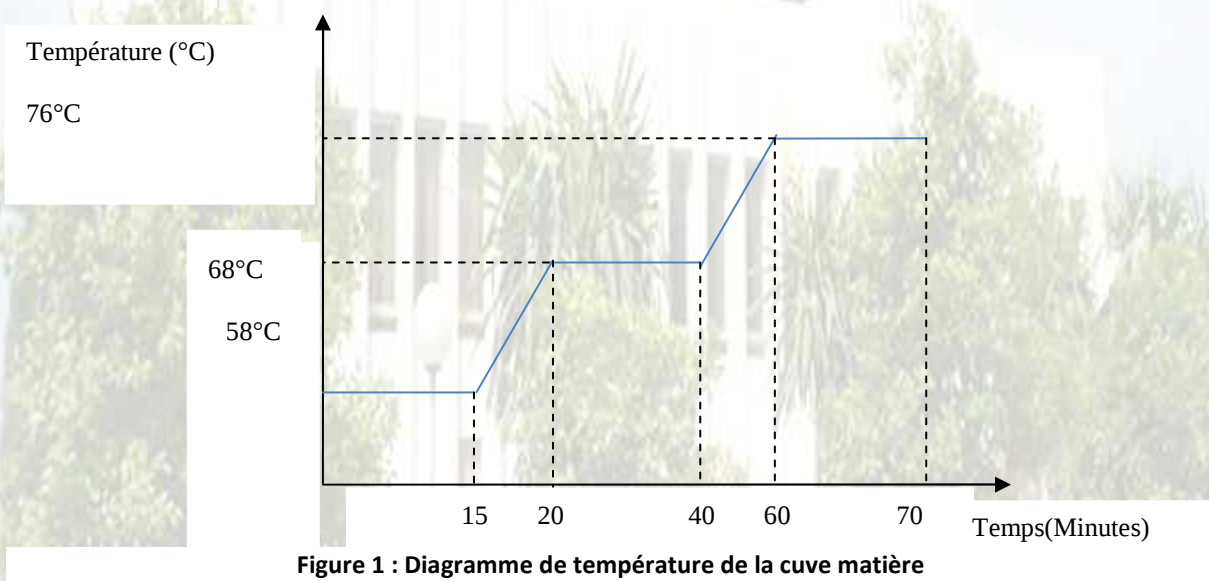
✚ On chauffe le mélange jusqu'à 76°C.

A cette température s'effectue la saccharification c'est-à-dire la dégradation de l'amidon en sucres fermentescible. Pour tester cette réaction on utilise l'iode. La coloration jaune indique que le test est positif. La coloration violette apparaît quand la réaction n'est pas totale dans ce cas on prolonge le temps de saccharification jusqu'à ce que le test à iode donne une coloration jaune.

✚ On ajoute l'enzyme *Filtrase BRX* pour renforcer l'activité des enzymes se trouvant initialement dans la maïsche.

✚ On ajoute le HCl pour régler le pH qui doit être compris entre 5,4 et 5,8.

Plusieurs facteurs influencent la qualité et le rendement de l'empattage entre autres la qualité du malt, la composition de l'eau de brassage et le rapport eau/versement, le pH de la maïsche, le diagramme de température de la cuve matière et du cuiseur d'amidon.



2.1.1. Transformation au cours de l'empattage

✚ Les glucides

Les principales transformations au cours de l'empattage se déroulent au niveau des composés glucidiques qui représentent environ 90% des solides du moût. A ce stade l'amidon du malt subit les dégradations suivantes :

- La dégradation des grains d'amidon
- Dégradation enzymatique puis saccharification

Enzymes	pH	Température	Température	Action sur les
---------	----	-------------	-------------	----------------

	optimum	optimale (°C)	d'inactivation (°C)	liaisons /composés
α -amylase	5,3 à 5,8	70 à 75	75 à 80	α -1,4(endo)
B-amylase	5,2 à 5,6	63 à 65	68 à 70	α -1,4(exo)
Débranchante	5,0 à 5,5	55 à 65	65	α -1,6
α -glucosidase	4,5	-	-	Maltose
Saccharase	5,5	50	55	Saccharose

Tableau2 : Les enzymes dégradant l'amidon

Pendant l'empâtage la plus grande quantité des glucides fermentescibles se forment à une température située entre 63°C et 65°C. Les glucides qui se forment sont les suivants : fructose, glucose, maltose, saccharose et maltotriose qui représentent 75 à 85% de l'extrait total le reste représente les α - glucanes non fermentescibles appelés encore les dextrines.

✚ **Matières azotées**

La teneur en protéines totale dans l'orge s'élève entre 9 et 14%. Ces protéines sont décomposées en 4 fractions :

- ✓ Albumine (leucosine) 4-20%
- ✓ Globuline (édestine) 10-30%
- ✓ Prolamine (hordénine) 15-40%
- ✓ Glutéline 15-30%

La dégradation de ces quatre fractions fait intervenir les protéinases et les peptidases. Les enzymes protéolytiques intervenant lors de l'empâtage sont les endopeptidases, les carboxypeptidases, les aminopeptidases et les dipeptidases. La maische la plus concentrée favorise l'action des enzymes protéolytiques et il est nécessaire de diminuer le pH de la maische pour augmenter l'activité de ces enzymes en utilisant l'acide chlorhydrique.

Les lipides

Les lipases et les lipoxygénases ont une activité à 50°C et sont inactives à 70°C. La complexité des produits de dégradation ne permet pas d'estimer la valeur réelle de ces produits qui sont les acides gras, les stérols, les phospholipides, etc.

✚ **Les poly phénols**

Les poly phénols se trouvant dans la maische pendant le brassage proviennent des réactions d'oxydations chimiques et enzymatiques, de brunissement non enzymatique, de polymérisation et de dépolymérisation.

2.1.2. Utilisation d'enzymes au cours du brassage

Une importante variété d'enzymes est mise à la disposition du brasseur pour augmenter la vitesse de production et le rendement. Ces enzymes proviennent des cultures

fongiques ou bactériennes ou même végétales. Seul le brasseur peut estimer le grain en productivité dans l'utilisation de ces enzymes en garantissant la quantité de bière identique. L'enzyme utilisée à la BRANOMA est l'enzyme filtrase BRX, on met dans la cuve matière 400ml de cette dernière.

2.2. Filtration de la maische

La filtration de la maische au BRANOMA est faite à l'aide du filtre presse qui comprend un support sur lequel coulissent les plaques munies de toiles en coton. Le but de la filtration de la maische est d'avoir un moût avec une faible turbidité, composé de premier bouillon et des lavages avec un extrait maximum du moût.

Avant le pompage de la maische de la cuve vers le filtre, on chauffe le filtre presse avec l'eau chaude. La maische doit être bien homogénéisée avant et pendant le pompage afin d'obtenir dans toutes les poches la même composition. L'élimination de l'air dans les poches est nécessaire afin d'éviter l'oxydation de la maïsche pendant le remplissage du filtre presse. Le lavage du filtre et des drèches s'effectue en utilisant l'eau chaude à 78°C afin d'extraire le reste du sucre et la filtration se fait sous une pression de 0,3 bar. Le filtrat est appelé « moût ». Le moût est entraîné dans la cuve à ébullition jusqu'à un volume de 220 hl. L'eau de lavage est récupérée dans un bac afin d'être réutilisée pour l'empattage suivant. Ceci a pour rôle l'augmentation de la densité de la maische.

2.3. L'Ébullition du moût

L'ébullition ou la cuisson du moût se passe dans la cuve à ébullition. C'est en ce moment qu'on ajoute tous les additifs nécessaires à la bière en l'occurrence :

- Houblon
- Extrait de houblon
- Extrait de malt
- Chlorure de calcium Ca Cl_2
- L'acide chlorhydrique H Cl

Le houblon ajouté au moût au début de l'ébullition a pour rôle de donner à la bière son goût et son arôme caractéristiques et la protéger contre les microorganismes. L'ajout de l'acide chlorhydrique au moût a pour vocation d'abaisser son pH comme dans l'empattage et celui l'extrait de malt qui est de coloration noire pour la coloration de la bière.

L'ébullition se fait pendant 90 minutes à 100°C. L'énergie utilisée pour arriver à cette haute température provient de la chaudière de service d'utilité. La cuve à ébullition contient un agitateur qui sert à mélanger tout le contenu de la cuve. Le volume initial du début

d'ébullition du moût est de 220 hl avec un pH=5,40. Ce volume se réduit, à la fin d'ébullition, à 208hl avec un pH= 5,28.

L'ébullition du moût a pour rôle :

- 1) Inactiver les enzymes pendant la cuisson du moût.
- 2) Stériliser le moût en détruisant tous les microorganismes de genres bactéries, levures, moisissures provenant des matières premières, de l'opération d'empattage et de la filtration de la maïsche.
- 3) Eliminer les substances volatiles nuisibles à la flaveur de la bière en provenance du malt et de houblon. Ces substances s'évaporent pendant la cuisson du moût. Ce sont des acides organiques, les composés carbonylés, les alcools, les composés soufrés, les substances volatiles des matières amères.
- 4) Formation des composés de la réaction de Maillard qui est caractéristique de la cuisson (apparition des pigments bruns), de l'odeur et de la flaveur observées lors du traitement technologique de l'ébullition. Les principaux éléments responsables de la réaction de Maillard sont des composés carbonylés et des composés aminés. La condensation de ces derniers s'effectue avec formation des glucosylamines N-substituées et de l'eau. Les glucosylamines subissent un réarrangement d'Amadori pour former des cétosamines et des adosamines qui, à leur tour, subissent d'une part la dégradation de Strecker avec formation des composés volatils, les polymères bruns, la mélanoïdine par exemple, et les produits de scission tout en libérant le CO₂ et l'ammoniac NH₃, réagissent d'une autre part avec des composés très réactifs en subissant une condensation aldolique avec formation de mêmes composés que précédemment et des composés aminés. Ainsi donc la réaction de Maillard est cyclique.
- 5) Equilibrer la composition du moût pour donner une bonne bière après la fermentation.

Le moût est alors composé de :

- ✓ Composés solubles des matières premières
- ✓ Composés des matières glucides dont 75% sont fermentescibles et 25% sont non fermentescibles (dextrines). Les dextrines quand ils sont en grande quantité, ils rendent difficile la fermentation de la bière.
- ✓ Les composés azotés sont transformés d'amines, ammoniac, protéines, peptides et polypeptides.
- ✓ Les acides aminés
- ✓ Les vitamines

- ✓ Les acides nucléiques
- ✓ Les composés lipidiques, les composés aromatiques du malt proviennent de l'oxydation de lipides en provenance de l'acide linoléique et linolénique. Ils sont tous formés d'acides gras saturés et acides gras insaturés.
- ✓ Les poly phénols proviennent du malt de l'houblon
- ✓ Les éléments minéraux
- ✓ Les composés soufrés en provenance du malt, de l'houblon et de l'eau de brassage (SO_4^{2-}) dont DMS (diméthylsulfure) qui est un volatil nuisible à la flaveur de la bière.

2.4. Traitement du moût

Après l'ébullition du moût et l'ajout des additifs pendant 90 minutes à 100°C le moût passe se reposer dans le « Whirlpool » pour sa décantation pendant à peu près 25 minutes et le température descend de 100°C à 95°C.

Après la décantation, le dépôt appelé encore « trouble à chaud » est constitué des débris de houblon, les macromolécules protéiniques, les poly-phénols, les glucides et d'autres composés organiques qu'on laisse couler vers les égouts. Le moût décanté va continuer vers le refroidisseur.

3. Fermentation

La fermentation a pour rôle de dégrader les sucres (glucose) en alcool en en CO_2 à l'aide de la levure et de l'air selon l'équation suivante :



3.1. Refroidissement du moût

Le refroidisseur à plaque divisé en deux parties dont la première est caractérisée par la circulation de l'eau froide et la deuxième contient l'eau alcoolisée.

- **1^{ère} partie:** cette partie reçoit de l'eau venant de la salle de traitement à la température ambiante. Le moût venant de Whirlpool arrive dans cette partie avec une température de 95°C, passe dans les plaques de ce dernier et continue vers la 2^{ème} chambre.
- **2^{ème} partie :** Le moût arrivant dans cette chambre à 78°C, subit un échange thermique avec l'eau alcoolisée frigoporteuse et baisse à une température d'ordre de 9°C.

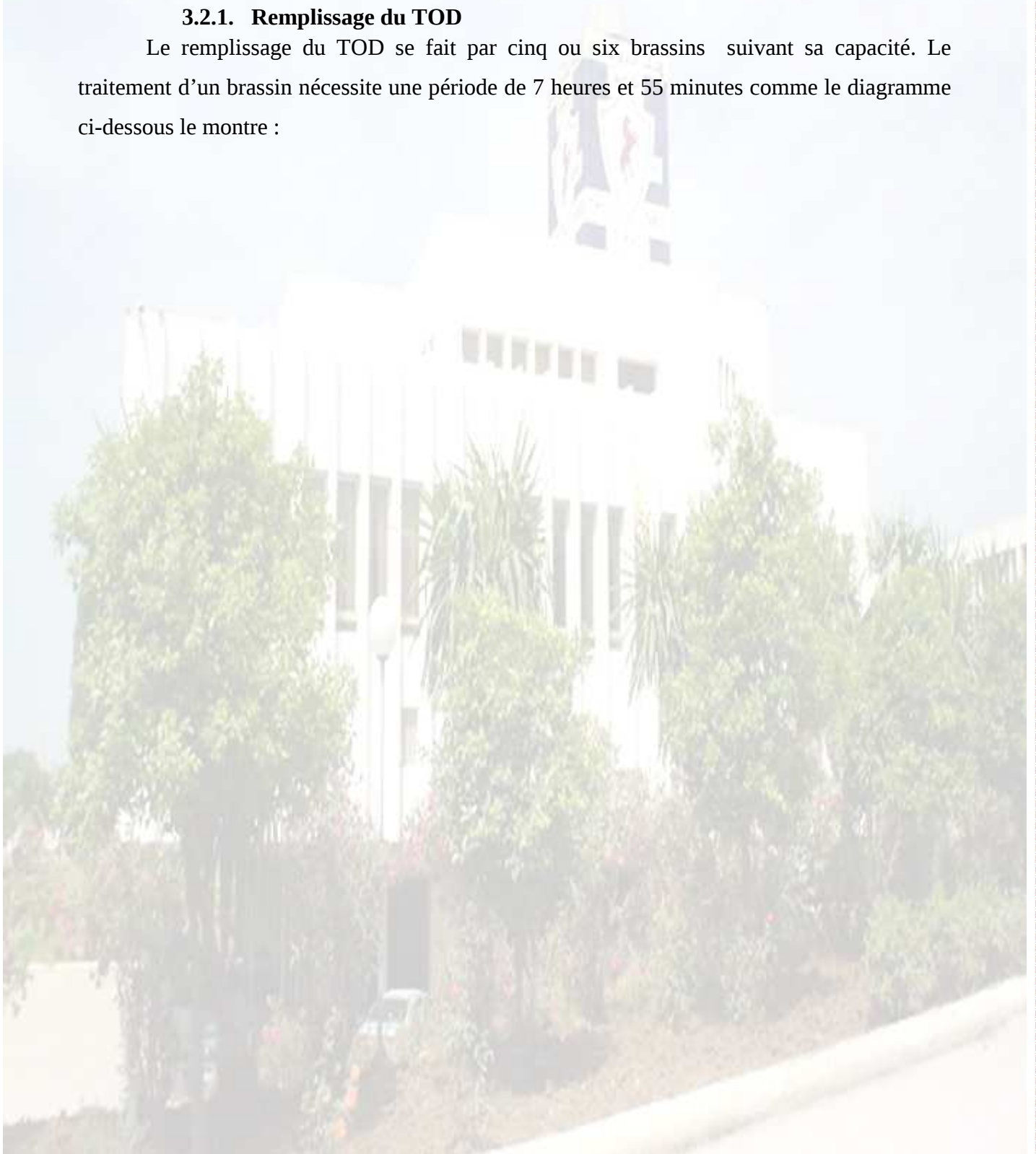
Notons que l'eau alcoolisée, ayant acquis une quantité importante de la chaleur provenant du moût, sort des plaques pour retourner vers la salle de production du froid pour se refroidir, alors que celle de la première partie est envoyée vers le bac d'emballage.

3.2. Fermentation proprement dite

Cette étape se déroule dans les cuves connues sous le nom en sigle TOD (Tanks Out Door). Le moût refroidi, avant de gagner les TOD, subit une injection de l'air et estensemencé de levure.

3.2.1. Remplissage du TOD

Le remplissage du TOD se fait par cinq ou six brassins suivant sa capacité. Le traitement d'un brassin nécessite une période de 7 heures et 55 minutes comme le diagramme ci-dessous le montre :



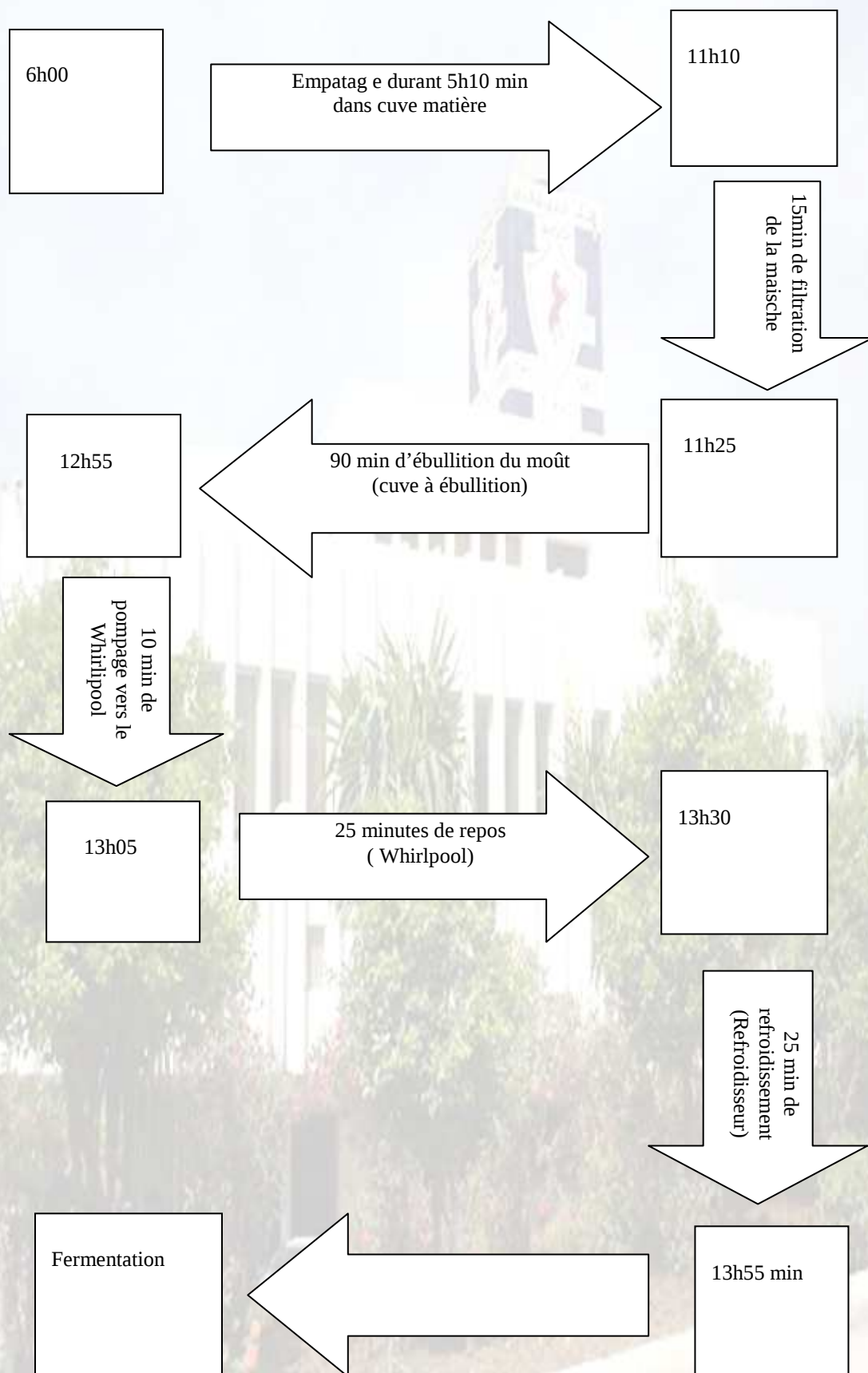


Figure 2: Diagramme chronologique d'un brassin

g

Un brassin commence 4 heures après le début du précédent. Ce qui fait que le remplissage du TOD dure 20 heures pour cinq brassins et 24 heures pour six brassins. Le tableau ci-dessous résume la succession des 6 brassins.

Brassin	Heure de début brassage	Heure de fin
Premier Brassin	06 h 00	13 h 55
Deuxième brassin	10 h 00	17 h 55
Troisième brassin	14 h 00	21 h 55
Quatrième brassin	18 h 00	01 h 55
Cinquième brassin	22 h 00	05 h 55
Sixième brassin	02 h 00	09 h 55

Tableau3 : Tableau chronologique de succession des brassins

Injection de l'air

Le rôle de l'air atmosphérique dans la fermentation revient à ce que le développement de la levure doit se faire dans un milieu aérobie. L'injection de l'air se fait dans les deux premiers brassins. Cet air doit passer nécessairement dans un muni pore stérile pour sa purification.

Ensemencement de la levure

L'ensemencement se fait juste après l'injection de l'air dans le premier brassin pour assurer leur survie et multiplication. La quantité à ensemer est calculée suivant la formule :

$$\text{Quantité levure} = \frac{1,26 \times 0,3 \times V_{TOD}}{(100 - TCM) \times C}$$

Où

V_{TOD} : Volume du moût à fermenter soit 1200 hl, soit 1000 hl.

TCM : Taux des cellules mortes de la levure

C : Consistance

La détermination de la consistance et du taux des cellules mortes dans les échantillons des levures sont effectuées par le laborantin responsable de la bactériologie.

La levure arrive à BRANOMA en provenance du laboratoire Tit-Mellil du GBM de Casablanca, en tube à essais et le laboratoire de bactériologie s'occupe de leur multiplication jusqu'à 60 hl en utilisant un moût non houblonné comme milieu nutritif pour éviter la perturbation de la propagation de la levure.

Au cours du remplissage du TOD, la détermination de la densité du moût est nécessaire pour chaque brassin afin d'en déterminer la densité moyenne avant la fermentation appelée « Extrait primitif » qui servira comme origine de l'évolution de la dégradation des

sucres. La température augmente jusqu'à un palier de 15°C alors que la quantité des sucres diminue jusqu'à atteindre un palier de densité des sucres non fermentescibles appelée « extrait apparent ». Le pourcentage des sucres non fermentescibles est appelé « atténuation limite ». Il se calcule de la manière suivante :

$$\text{Atténuation limite} = \frac{E_p - E_a}{E_p} \times 100$$

E_p : Extrait primitif

E_a : Extrait apparent

Lorsque la densité se stabilise (extrait apparent), on envoie un coup de froid au TOD. Ce qui constitue le commencement de la maturation de la bière ou fermentation secondaire.

Le tableau ci-dessous indique les valeurs obtenues pendant le suivi de la fermentation du moût dans un TOD durant 24 jours :

Dates(Jours)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Densité	14,4	13,9	10,4	8,1	6,6	6,1	4,4	4,1	3,95	3,85	3,65	3,5	3,4
Température	10,1	11,3	12,0	12,7	12,8	12,9	13,1	13,4	13,5	13,8	14,0	14,5	15,0

Jours	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Densité	3,15	3,0	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
Température	15,0	14,8	2	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Tableau4 : Valeurs d'évolution de la température et de la densité au cours de la fermentation

Le graphe relatif à ce tableau a été tracé à l'aide du logiciel 'Easy Plot' comme suit :

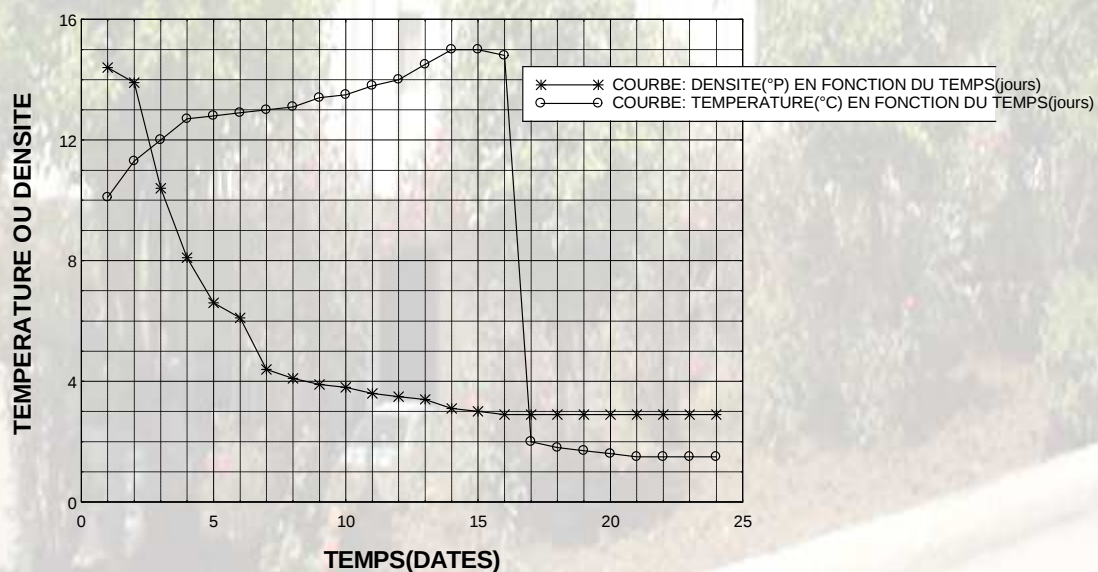


Figure 3: Courbes d'évolution de la température et de la densité au cours de la fermentation

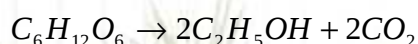
A BRANOMA, on procède avec la haute fermentation avec un extrait primitif environnant 14°P. La durée de fermentation est de 21 jours y compris le temps de maturation de la bière appelé « temps de garde ». Le CO₂ dégagé est barboté dans un récipient contenant d'eau avant d'être acheminé vers la salle de traitement pour sa purification. La fin de la fermentation est indiquée par l'absence du dégagement du CO₂, tous les sucres du moût sont dégradés et il n'en reste que ceux qui sont non fermentescibles.

3.2.2. Métabolisme

Le métabolisme est l'ensemble des transformations moléculaires et énergétiques qui se déroulent de manière ininterrompue dans la cellule d'un être vivant. Ce processus fait intervenir des réactions de dégradation ou catabolisme et des réactions de synthèse organique ou anabolisme. Lors de la fermentation les métabolismes qui se déroulent sont ceux qui sont en rapport avec la fermentation du moût et la respiration de la levure.

✚ Voie de la glycolyse ou voie d'Embden-meyerhof-Parnas

La voie glycolytique illustre la dégradation du glucose pendant la fermentation de la levure. Le bilan de la voie de la glycolyse peut se résumer comme suit :



$$\Delta G'_0 = -234KJ / mol (-56Kcal)$$

Les glucides sont des principaux composants du moût qui représentent la source du carbone essentiel pour la levure. Leur métabolisme se résume dans le tableau suivant :

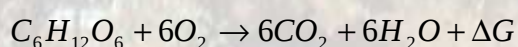
Glucides	Enzymes de dégradation	Produits
Saccharose	Invertase extracellulaires	Fructose Glucose
Maltase Maltotriose	Maltose perméase Maltotriose perméase α -D glucosidase(maltase)	glucose

Tableau5 : Tableau montrant la dégradation des glucides au cours de la fermentation.

Signalons que pendant la fermentation, la levure synthétise également deux glucides : tréhalose et le glycogène.

✚ Cycle Tricarboxylique ou Cycle de Krebs

Pendant la fermentation il y a respiration de la levure qui fait intervenir le glucose selon la réaction suivante :



La respiration fait intervenir une succession des réactions enzymatiques connue sous le nom de cycle de Krebs (voir annexe).

Régulation du métabolisme de la levure

La fermentation se déroule dans un milieu complexe la levure fermente le moût en micro aérophile (milieu CO₂ avec une microquantité de O₂)

Effet Pasteur

Pendant la fermentation, lorsque dans le milieu il y a l'absence d'azote sous forme d'ion ammonium, la levure se trouve en présence d'oxygène et il y a l'inhibition indirecte de la glycolyse. La levure obtient une énergie pour sa respiration (sa voie respiratoire est très énergétique) et la consommation du glucose diminue.

Effet Crabtree

C'est un contre effet-pasteur. En présence de l'oxygène, le glucose (0,4%) est fermenté par la voie glycolytique en éthanol et dioxyde de carbone. Il y a répression de la respiration.

Métabolisme des composés azotés

La source d'azote dans le moût provient essentiellement des acides aminés. L'azote assimilé par les levures est utilisé pour la synthèse des protéines.

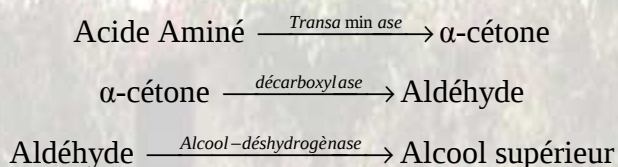
3.2.3. Les produits formés au cours de la fermentation ou métabolites

Pendant la fermentation, il y a les métabolismes des glucides, des composés azotés et des lipides. Les composés formés sont les suivants :

✚ Les alcools supérieurs

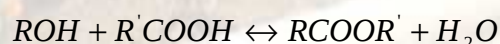
Les alcools supérieurs se forment à côté de l'éthanol. Ils jouent un rôle très important dans la flaveur de la bière. La formation de l'alcool supérieur est influencée par la souche de la levure et par l'augmentation de la température de fermentation.

Les alcools supérieurs se forment suivant les mécanismes d'**Ehrlich** :



✚ Esters

Les esters sont formés pendant la fermentation et constituent un groupe important des volatils influençant la flaveur de la bière. La réaction d'estérification est une réaction d'équilibre entre un acide et un alcool.



Les esters aussi peuvent se former suivant une réaction enzymatique faisant intervenir acétyl-CoA.

✚ Les composés carbonylés

Les composés carbonylés jouent un rôle important dans la flaveur de bière. Ils ont comme caractéristique le groupement $C=O$, dont :

Les aldéhydes : $RCOH$

Les cétones : $RCOR'$

Les aldéhydes aliphatiques sont constitués d'une dizaine de composés dont l'acétaldéhyde représente une majeure partie presque de 90% de tous les aldéhydes. L'acétaldéhyde se forme par oxydation de l'éthanol sous l'influence d'un alcool déshydrogénase et l'intervention de deux autres enzymes qui sont isoatratelase et le malatesynthétase.

Au cours de la fermentation, l'acide pyruvique est décarboxylé en acétaldéhyde et CO_2 par le pyruvate décarboxylase. Cet acétaldéhyde est réduit en éthanol et une petite fraction est oxydée en acide acétique.

Les cétones sont également importantes dans la composition du produit fini. Le plus étudié est le diacétyl qui est produit par deux molécules de pyruvates passant par son précurseur le α -acétolactate. Ce dernier est formé dans la cellule de la levure puis excrété dans le milieu dans lequel il est transformé en diacétyl par décarboxylation oxydative.

La réduction du diacétyl en acétoïne peut se faire par la diacétylréductase. L'acétoïne se réduit en 2,3-butane diol. Ce dernier est moins sensible pour la flaveur de la bière que le diacétyl puisque son seuil de perception par addition est nettement plus élevé.

✚ Les acides organiques

Les acides organiques de la bière proviennent des matières premières. Ils sont soit volatils, soit moyennement volatils ou pas du tout volatils. Ceux qui sont présents dans le moût et dans la bière sont formés par un mélange d'anions et de molécules non dissociées. Leur formation au cours de la fermentation est liée au cycle de Krebs

Acide organique	Moût mg/l	Bière mg/l	Variation mg/l
Pyruvate	10	37	+27
Citrate	145	172	+27
L-malate	71	102	+31
Acétate	16	69	+53
Lactate	5	7	+2
Glycérol	59	1362	+1303

Tableau6 : tableau montrant la formation des acides organiques au cours de la fermentation

Les composés soufrés

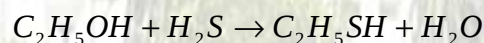
Les composés soufrés jouent un rôle très important dans la flaveur de la bière malgré leur concentration très faible. Les composés soufrés proviennent des matières premières telles que les sulfates présents dans l'eau, le soufre et les composés volatils et non volatils du houblon, les acides aminés soufrés, S-méthyl-méthionine et le soufre se trouvant dans le malt. Les composés soufrés sont en général :

❖ **Le sulfure d'hydrogène(H₂S)** : est excrété par la levure. La formation de H₂S dépend des composés du moût suivant : SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , les ions métalliques, les vitamines et les acides aminés.

❖ **Le dioxyde de soufre (SO₂)** : Les matières premières telles que le malt et le houblon contiennent une quantité non négligeable de SO₂ dont 90% est éliminée pendant l'ébullition du moût ;

❖ **Le diméthylsulfure(DMS)** : il est produit par la levure pendant la fermentation. Il provient du diméthylsulfoxyde. La quantité du DMS produit à partir du DMSO augmente proportionnellement avec la densité et le pH du moût et inversement proportionnelle avec la température.

L'interaction entre l'éthanol et le sulfure d'hydrogène donne un produit soufré l'éthylmercaptan selon la réaction suivante :



L'éthylmercaptan peut également se former par condensations successives de l'acétaldéhyde avec H₂S en thioacétaldéhyde et en éthylmercaptan suivant la réaction ci-dessous :



4. Maturation de la bière ou Garde

La maturation de la bière est une étape importante qui se fait dans la même cuve que celle de fermentation.

La fermentation terminée, on donne un coup de froid à la cuve de fermentation et la température chute de 15 à 0°C. La bière ne gèle pas puisque le froid utilisé provient du glycol qui a une propriété d'antigel.

Les objectifs de la maturation sont :

- Affinage du goût et de l'arôme de la bière, pour l'amélioration de sa qualité organoleptique.

- La saturation de la bière en CO₂
- Décantation des matières en suspension comme les levures, les colloïdes.

Notons que la levure est réutilisable 7 fois et à la huitième elle est envoyée dans les égouts.

Après la maturation, la bière est riche en saveur de la levure et un peu consommable

4.1. Filtration de la bière et sa clarification

La filtration de la bière après sa maturation a pour rôle de la rendre plus brillante et d'éliminer le trouble au froid formé pendant la maturation.

4.1.1. Traitement de la bière avant la filtration

Ce traitement se fait en deux étapes entre autres coupage et préparation du filtre.

Coupage

C'est la dilution de la bière à haute densité en bière claire. On utilise les débitmètres pour régler la quantité d'eau à utiliser pour le coupage ainsi que le débit de la bière. La densité de la bière de haute densité et celle de la bière claire ainsi que le volume de la bière de haute densité étant connus, on calcule la quantité d'eau à ajouté selon la formule suivante :

$$\frac{V_{\text{bièreHD}} \times d_{\text{bièreHD}}}{d_{\text{bièreBD}}} = V_{\text{bièreBD}}$$

$$V_{\text{eau}} = V_{\text{bièreBD}} - V_{\text{bièreHD}}$$

Avec :

$V_{\text{bièreHD}}$: Volume de la bière à haute densité $V_{\text{bièreBD}}$: Volume de la bière claire
 V_{eau} : Volume de l'eau à utilisé pour le coupage $d_{\text{bièreHD}}$: Densité de la bière à haute densité
 $d_{\text{bièreBD}}$: Densité de la bière claire

Préparation du filtre

Le filtre utilisé au BRANOMA pour la filtration et la clarification de la bière est un filtre à plaques.

La préparation du filtre se fait en le remplissant d'abord par 35hl d'eau afin de déposer sur les plaques deux prés couches.

La première précouche qui est composée de : 25kg de DICB et 4kg de FH 1500. Sa solution est bien homogénéisée, entre dans la partie située en haut du filtre, sort vers le bas et fait un circuit fermé jusqu'à ce qu'il se forme un gâteau sur les plaques.

La deuxième précouche est formée de 10 kg de CBR et de 6kg de DICB. Sa solution bien homogénéisée traverse le filtre de la même façon que la première prés couche en faisant un circuit fermé jusqu'à ce qu'il se forme une deuxième couche de gâteau sur les plaques. A ce stade l'eau se fait purger à l'aide de la pression de CO₂.

Dans le même bac de préparation des prés couches cité ci haut on prépare la solution qui passe en même temps que la bière dans le filtre. Cette solution est composée de 120g de DICB/ hl de la bière et de 2g de KMS/hl de la bière.

On prépare dans un autre bac, une solution qu'on injectera dans la bière dès la sortie du TOD. Elle est composée de 10kg de PVPP/hl de la bière et de 20g de lucilite/hl de la bière.

4.1.2. Les additifs alimentaires

Les additifs alimentaires utilisés pendant la filtration sont repartis en trois groupes :

- Les clarifiants comme PVPP et lucilite
- Les aide-filtrants appelés aussi kieselguhr dont DICB, CBR et FH1500
- Les antioxydants comme KMS

4.2. Filtration

Après le coupage, 30hl de bière est envoyée dans un Bac tampon, dont le rôle est de faire décanter les troubles froids formés pendant la maturation qu'on purge avant la filtration. Alors que reste gagne directement le filtre. Notons que les deux quantités de bières sont refroidies à -1°C avant leurs filtrations respectives. La bière fait un circuit fermé dans le filtre pendant au moins quatre minutes pour diminuer sa turbidité et subir une injection de CO_2 avant de gagner le tank de la bière claire.

5. Conditionnement de la bière

C'est une partie de la production de la bière qui comprend tous les traitements que subit la bière claire depuis la mise en bouteille jusqu'à son stockage.

5.1. Organisation des machines de conditionnement

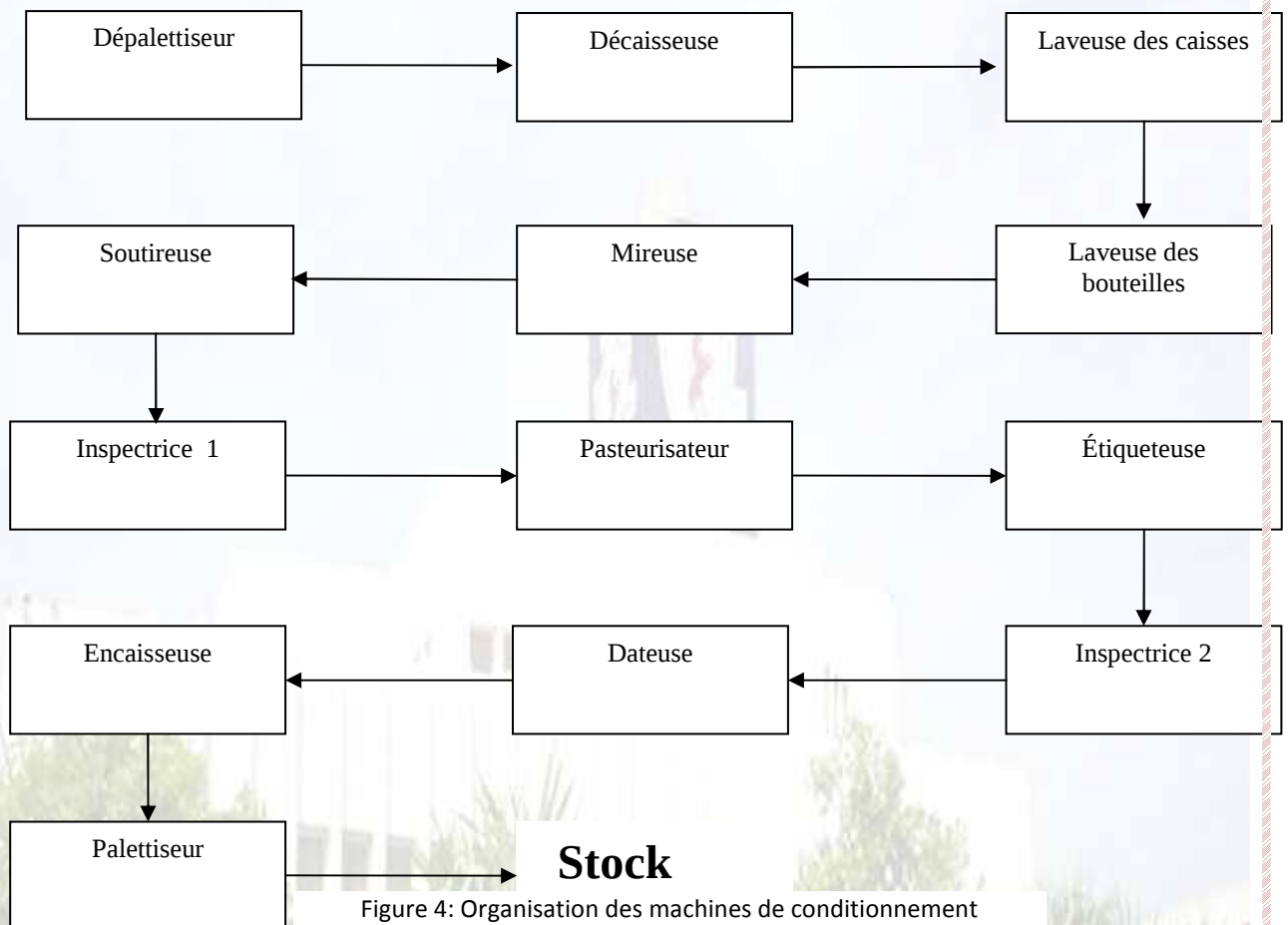


Figure 4: Organisation des machines de conditionnement

5.2. Fonctionnement des machines

❖ Dépalettiseur

Le dépalettiseur est une machine qui sert à décharger les palettes du magasin plein et vide vers la salle de conditionnement ; il est assisté par un opérateur. Chaque palette contient 56 caisses.

❖ Décaisseuse

Assistée par un opérateur la décaisseuse sert à décharger les bouteilles de la caisse, chaque caisse contient 24 bouteilles.

❖ Laveuse des caisses

Contrôlée périodiquement par l'opérateur, la laveuse des caisses sert à laver les ces dernières en fin ces caisses continuent vers l'encaisseuse.

❖ Laveuse des bouteilles

Les bouteilles utilisées au BRANOMA sont des bouteilles recyclées, pour cela pour garantir leur hygiène, on a mis à disposition la laveuse qui sert à les nettoyer efficacement. La laveuse est constituée de trois bains :

1) Bain près trempage

Les bouteilles recyclées peuvent contenir les corps étrangers tels que les liquides, les solides. Dans ce bain il ya vidange les bouteilles de ces corps.

2) Bain de trempage

Appelé aussi bain principal, il contient Na OH dont la concentration est de 2% suivant la saleté des bouteilles; la température du bain est de 72°C. Le temps de séjour des bouteilles dans ce bain est à peu près 15minutes.

3) Bain de rinçage

Ce bain se trouve en haut de la machine; pour éviter le choc thermique des bouteilles on respecte la température en allant de la température élevée vers la température basse. Le bain de rinçage à son tour est composé de quatre bacs :

Bac 1 sodique dont la température est de 60°C

Bac 2 avec une quantité moyenne de soude à 50°C

Bac 3 composé d'eau de ville à 40°C

Bac 4 composé d'eau de procès à 30°C

Après le lavage des bouteilles l'opérateur fait le test à la phénolphtaléine pour vérifier s'il y a des traces de soutes dans la bouteille; l'auto contrôle se fait après chaque 30minutes. La norme dit qu'il faut avoir zéro trace de soude. Le laborantin responsable de la bactériologie fait aussi un test au bleu de thymol pour le contrôle des traces des microbes.

❖ Mireuse

Assistée par un opérateur, la mireuse contrôle la qualité de lavage: les bouteilles ébréchées, sales ou avec corps étranger ou liquide, etc. Ces bouteilles sont éjectées à la sortie de la machine pour être ensuite soit recyclées ou cassées. Les bouteilles non rejetées continuent leur chemin vers la soutireuse.

❖ Soutireuse

La soutireuse est une machine qui sert à remplir de la bière dans les bouteilles. La bière venant se trouvant dans les tanks de bière claire, pour leur soutirage est pompée sous pression de CO₂ vers la salle de conditionnement. Cette bière est stockée dans le réservoir annulaire. Avant le remplissage de ce dernier on le remplit d'abord avec du CO₂ pour chasser les gaz étrangers à l'aide d'une pompe à vide se trouvant au dessus du reversoir annulaire.

Processus de remplissage de la bière dans les bouteilles

1) A l'aide de la pompe à vide l'air de la bouteille est aspiré pour éviter l'oxydation de la bière.

- 2) On injecte du CO₂ dans la bouteille pour chasser les gaz étrangers.
- 3) Aspiration du CO₂ de la bouteille à l'aide de la pompe à vide
- 4) Réinjection du CO₂ dans la bouteille qui joue le rôle de la contre pression afin d'équilibrer la pression de la bière avec celle de remplissage.
- 5) Le remplissage de la bière dans la bouteille se fait par parois internes de la bouteille, la bière remplace le CO₂ au fur et à mesure du remplissage.
- 6) Après le remplissage de la bière dans la bouteille, le robinet de remplissage de referme mais il ya la présence de l'air comprimé dans le col de la bouteille et par le système de sniftage, on fait chasser cet air pour que la bouteille sorte avec une pression de la bière égale à la pression atmosphérique et que la bouteille ne déborde pas.

Le remplissage de la bière dans les bouteilles est un système iso barométrique c'est-à-dire l'équilibre de la pression de la bière et la contre pression du CO₂. Quand la pression interne de la bière est supérieure à la pression atmosphérique, il ya soit débordement de la bière, soit la bière est plate, pour éviter tout ça, un mousser est mis en disposition pour injecter une petite quantité d'eau pour chasser les gaz étrangers.

Point critique

Si les bouteilles ont des fissures ou des points faibles dans les parois ou quand il y a le choc thermique ceux-ci provoquent des explosions au moment de l'injection de CO₂, pour éviter tout cela une douche est nécessaire pour éviter que les bouteilles soient remplies avec des débris de verre.

Stérilisation de la soutireuse ou CIP

La stérilisation se fait entre 75°C et 78°C avec une concentration de la soude comprise entre 2 et 2,5% pendant dix minutes à la fin de la semaine. On rince d'abord avec une eau chaude pendant 10 minutes puis avec l'eau froide jusqu'à l'élimination totale de toutes les traces de soude en effectuant un test à la phénolphtaléine.

On fait tourner d l'eau dans un circuit fermé avec une concentration de désinfectant (P3 Oxonia) de 0,5% ; on laisse le désinfectant jusqu'au début de la semaine pour un autre soutirage. Il faut rincer avec l'eau de process jusqu'à l'élimination totale de tous les traces de désinfectant.

Après le remplissage, les bouteilles sont bouchées avec une machine qui est destinée à ce travail de bouchage.

❖ Inspectrice1

Contrôlée par un soutireur elle sert à contrôler le niveau de bière dans les bouteilles ainsi que le bouchage.

❖ **Pasteurisateur**

La pasteurisation est une technique de conservation des aliments en appliquant un traitement thermique léger et une durée bien définie. Après le soutirage, c'est la pasteurisation des bouteilles, des bouchons et de la bière pour tuer les microorganismes ou les inhiber. A partir de cette étape on peut déterminer la date de péremption de la bière la date à la quelle ces microorganismes inhibées prennent vie.

Le pasteurisateur est constitué de six bains dont le premier et le sixième sont reliés entre eux, de même pour le deuxième et le cinquième puis les deux autres sont indépendants. Pour éviter le choc thermique des bouteilles, la température dans les bains est différente ; la bouteille entre dans le pasteurisateur à une température moyenne, cette dernière augmente afin d'attendre la température de pasteurisation proprement dite ; après la pasteurisation la température diminue aussi de la même façon qu'elle a augmenté. Les bouteilles passent du premier bain et sort vers le sixième bain.les deux premiers bains sont des bains de pré pasteurisation et ont des températures respectives de 40°C et 50°C; le troisième et le quatrième sont des bains de pasteurisation à la température de 62°C, les deux derniers sont des bains de post pasteurisation et ont des températures respectives de 50°C et 40°C.

Le pasteurisateur est contrôlé périodiquement par un préparateur groupe. Pour s'assurer du bon fonctionnement du pasteurisateur, le laborantin responsable de la qualité mesure les unités de pasteurisation et contrôle la température du pasteurisateur : la température du pasteurisateur est contrôlée à l'aide du thermomètre ainsi que la température indiquée par les thermographe fixés sur les conduits d'alimentation des bains.

Contrôle des unités de pasteurisation

Au cours du passage des bouteilles dans le pasteurisateur, La détermination des unités de pasteurisation, se fait au moyen d'un enregistreur RED-POST placé à l'entrée du pasteurisateur et effectue le même trajet que les bouteilles. Il est récupéré à la sortie du pasteurisateur. Le laborantin raccorde le RED-POST à une imprimante pour tracer le graphe mentionnant le nombre total des UP réalisées au cours de la pasteurisation, la durée totale de la pasteurisation, température maximale atteinte et le temps qui correspond à 2°C près du maximum.

❖ **Etiqueteuse**

Elle sert à mettre des étiquettes et des collerettes sur les bouteilles.

❖ **Inspestrice2**

Elle contrôle les étiquettes, collerettes, bouchons et le niveau de la bière dans les bouteilles.

Les bouteilles non conformes éjectées sont soit recyclées s'il s'agit du dépôt d'habillage ou soit vidanger si c'est sont des bouteilles mal remplies.

❖ **Dateuse**

Assistée par l'opérateur de l'étiqueteuse, elle imprime la date du jour et celle de péremption pour chaque bouteille.

❖ **Encaisseuse**

C'est une machine qui sert à charger les bouteilles dans les casiers; elle est assistée par un opérateur.

❖ **Palettiseur**

Assisté par le même opérateur le palettiseur sert à charger les casiers dans les palettes.



CHAPITRE III : LABORATOIRE D'ANALYSE ET DE CONTROLE DE LA QUALITE

Le laboratoire d'analyse et de contrôle de la qualité fait des analyses dès l'arrivée des matières premières, durant tout le processus de fabrication de la bière jusqu'au stockage du produit fini. Chaque analyse a son cahier de charge pour l'enregistrement des résultats obtenus

1. Analyses des matières premières

Les matières premières, comme le malt et les additifs alimentaires, sont contrôlées en comparant leurs certificats d'analyse et la description de leurs emballages. Le responsable de la réception confirme la conformité de ces derniers.

Ces produits sont stockés dans leurs conditions convenables : le malt dans les silos et les additifs dans la chambre froide pour éviter leur altération.

Le laboratoire d'analyse et de contrôle de qualité est divisé en deux secteurs l'un pour les analyses physico-chimiques et l'autre pour les analyses microbiologiques.

2. Les analyses physico chimiques.

Dans ce secteur, plusieurs types d'analyses sont effectuées telles que

2.1. Analyse de l'eau

L'eau est tellement utilisée dans tous les processus de fabrication de la bière que son analyse est très importante. Elle intervient dans le brassage, coupage, embouteillage, alimentation chaudière et nettoyage.

Les analyses physico chimiques de l'eau sont le *TA*, *TAC*, *TH*, *pH* et la *quantité de chlore*. Chaque matin, le laborantin prend les échantillons de l'eau de chaque milieu pour les analyser.

TA ou titre alcalimétrique simple exprime l'alcalinité de l'eau à la phénolphthaléine c'est-à-dire la teneur de l'eau en carbonates et hydroxydes.

$$TA = [OH^-] + \frac{1}{2}[CO_3^{2-}]$$

TAC ou titre alcalimétrique complet exprime l'alcalinité totale de l'eau au méthylorange c'est-à-dire la teneur de l'eau en carbonates, bicarbonates et hydroxydes.

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$$

Mode opératoire

Mettre 100ml de l'échantillon d'eau à analyser dans un erlenmeyer

Ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine

S'il y a coloration, titrer avec HCL 0,1N jusqu'à la décoloration et noter V1

S'il n'y a pas de coloration, ajouter quelques gouttes de méthylorange

Titre avec HCL 0,1N jusqu'au changement de la couleur du jaune vers le rouge orangée et noter V2

Expression de résultats

TA= V1×5 exprimé en °F

TAC=V2×5 exprimé en °F

Où

V1 : volume de HCL 0,1N versé

V2 : volume total de HCL 0,1N versé

TH ou titre hydrométrique exprime la dureté totale de l'eau.

$$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$$

Les ions magnésium et calcium sont complexés par Na_2EDTA en utilisant un comprimé tampon-indicateur, Idranal et l'ammoniac pour caractériser la zone de virage.

Mode opératoire

Introduire dans un erlenmeyer 100ml d'échantillon d'eau à analyser

Ajouter 1ml de la solution d'ammoniaque à 25% et un comprimé de l'indicateur

Mélanger puis titrer avec la solution de Na_2EDTA à 0.1mol jusqu'à obtention d'une coloration bleue.

La dureté de l'eau exprimée en degré français (°F) correspond au volume versé en ml de la solution de Na_2EDTA .

Notons que un degré français (°F) correspond à la dureté d'une solution contenant 10mg/l de CO_3^{2-}

Chlore : La quantité de chlore est mesurée à l'aide du Super colorimètre (intervalle de mesure compris entre 0,2-et 12,0ppm). Le résultat est exprimé en ppm.

Mode opératoire

Rincer les deux cuvettes avec de l'eau distillée

Remplir l'une des cuvettes avec de l'eau distillée et l'autre avec l'échantillon

Ajouter deux gouttes de l'indicateur coloré orthotolidine au niveau de la cuvette contenant l'échantillon et mélanger.

Placer les deux cuvettes au niveau du support

Lire en comparant du liquide standard avec celle de l'échantillon

pH de l'eau mesuré à l'aide d'un pH-mètre, étalonné avec une solution tampon à pH=7

Mode opératoire

Ajuster le pH- mètre avec la solution tampon pH=7.00

Rincer les électrodes avec l'échantillon, et verser dans un bêcher une quantité convenable du liquide à mesurer.

Introduire les électrodes dans le liquide tout en agitant à la main et lire le pH lorsque le résultat devient stable.

2.2. Les analyses pour le brassage

Pour s'assurer du produit de brassage, pendant le brassage le laborantin suit les opérations du brassage en déterminant les paramètres suivants : pH, densité et la couleur du moût froid.

- ❖ **Le pH** est mesuré à l'aide d'un pH-mètre étalonné avec une solution tampon à pH=4. On mesure le pH du début, de la fin d'ébullition et celui du moût froid.
- ❖ **La densité** est mesurée, à l'aide d'un densimètre, pour déterminer la quantité de sucre se trouvant dans le moût. Elle s'exprime en degré plato (°P).

Mode opératoire

- Rincer l'éprouvette et le densimètre avec l'échantillon.
- Remplir l'éprouvette à ras-bord avec l'échantillon.
- Plonger le densimètre avec précaution et attendre quelques minutes avant de faire la lecture.
- Une fois stabilisée, lire la graduation juste en dessous du ménisque en tenant compte de la correction apportée par la température.

On mesure la densité de fin de lavage des drèches, de fin d'ébullition et celle du moût froid.

❖ **La couleur du moût** se mesure à l'aide COLORIMETRE HYDROCHECK WP.A.HC.6000. L'unité de mesure de la couleur est EBC (European Brewery Convention).

Mode Opératoire

- Remplir la cuvette de quartz avec l'eau distillée (comme témoin), la placer dans l'appareil de mesure.
- Appuyer sur la touche « Réf » affichage sur l'écran 25.00
- Réappuyer sur la même touche, affichage sur l'écran 0.000.
- Remplir la cuvette « échantillon » avec le produit à analyser, le placer dans l'appareil de mesure, appuyer sur la touche « Test ».

- Noter la valeur.

2.3. Les analyses pour la bière de garde

Après la fermentation, l'échantillon de la bière à filtrer, subit des analyses pour déterminer l'extrait apparent, la couleur et le pH. Les deux derniers se déterminent de la même manière que pour le brassage

2.4. Les analyses pour la bière claire

Les analyses de la bière claire sont : la quantité d'alcool, l'extrait primitif, l'extrait apparent, la couleur en unité EBC, l'indice de réfraction, le poids spécifique, et l'énergie (calories). Tous mesurés à l'aide de l'INFRATEC 1256 BEER ANALYSER. La pression de la bière, la quantité de CO₂ et la quantité d'oxygène sont mesurées à l'aide de l'appareil appelé NORIT HAFFMANS qui est relié au tank de bière claire. On mesure aussi la turbidité à l'aide d'un Turbidimètre HACH modèle 2100 AN.

Mode opératoire pour la turbidité

- Dégazer l'échantillon de la bière claire à analyser
- Remplir la cuvette avec l'échantillon dégazé jusqu' au trait en prenant soin de manipuler la cuvette par la partie supérieure.
- Boucher la cuvette.
- Tenir la cuvette par le bouchon et l'essuyer avec un tissu doux sans peluches pour retirer les gouttes d'échantillon et les traces de doigts.
- Placer la cuvette dans le puits de mesure, fermer le capot.
- Appuyer sur « Enter.
- Lire le résultat.

L'unité de la turbidité est EBC

2.5. Les analyses du produit fini

Après la mise en bouteilles et le bouchage, la bière est analysée avec l'INFRATEC1256 BEER ANALYSER, ainsi que d'autres analyses à savoir :

- ❖ **La teneur en CO₂** du produit fini, est déterminée en utilisant l'appareil de mesure de pression avec manomètre pour bouteilles, le thermomètre et la règle HAFFMANS

Mode opératoire

- Placer la bouteille sur l'appareil de mesure. On doit veiller à ce que la pointe de l'aiguille perceuse soit à environ 0,5cm au dessus du bouchon couronne en abaissant la manette le bouchon se trouve percé.

➤ Agiter tout le système (appareil-bouteille) jusqu'à l'établissement d'équilibre de pression entre le manomètre et la bouteille.

➤ Lire la pression et on purge doucement

➤ Ouvrir la bouteille et on mesure immédiatement la température de la bière.

A partir des valeurs de la pression et de la température mesurées expérimentalement on détermine la teneur du CO₂ (exprimé en g/l) dans la bière à l'aide de la règle HAFMANS.

❖ **La teneur en gaz étrangers:** elle est mesurée à l'aide d'une burette à gaz remplie de lessive de KOH 30% avec accessoires.

Mode opératoire

➤ Chasser l'air de l'appareil avant de commencer l'analyse ensuite placer la bouteille sur le statif de mesure et fermer le robinet de purge.

➤ Percer la capsule et ouvrir le robinet de la burette à gaz en frappant sur la bouteille avec un objet dur. le « headspace » se déplace (sans débordement de la bouteille) à dans la burette à gaz.

➤ Fermer ensuite le robinet de la burette à gaz.

➤ Faire la lecture du volume du gaz étranger sur la burette.

La teneur en gaz étranger de la bière en bouteille est exprimée en volume du gaz lu sur la burette en ml/l :

• Stork 33 : lecture $\times 3.9 =$ ml/l

• Spéciale 24 : lecture $\times 5.4 =$ ml/l

❖ **Unité de pasteurisation :** (voir contrôle des unités de pasteurisation)

❖ **Remplissage des bouteilles:** le laborantin, responsable de la qualité, vérifie si les bouteilles sont remplies selon leur capacité. Il procède par le remplissage d'une burette de 400ml, en versant (sur les parois), contenu de la bouteille, jusqu'à la stabilisation de la mousse et on lit le volume. Cette expérience est répétée trois fois. Le remplissage de la bouteille est la moyenne des volumes obtenus.

❖ **L'amertume de la bière :** la bière obtient son amertume de houblon ajouté pendant l'ébullition du moût. Elle est déterminée à l'aide d'un spectrophotomètre et elle est exprimée en EBU (European Bitter Unit).

❖ **Les analyses chromatographiques:** les composés formés au cours de la fermentation, à part l'éthanol sont en moindre quantité et sont analysés avec la Chromatographie en Phase Gazeuse CPG.

<i>Composé à analyser</i>	<i>Norme dans la bière</i>
---------------------------	----------------------------

Diacetyl	De 0 à 40 (µg/l)
Ethylacetate	De 15 à 22 (mg/l)
Acétaldéhyde	De 0 à 4 (mg/l)
2,3-pentanedione	(µg/l)
Alcool supérieur	Inférieur à 90 mg/l
Méthanol	Inférieur à 5mg/l
DMS	De 0 à 55 (µg/l)

Tableau7 : Tableau montrant les composés analysés en CPG.

3. Les analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont pour rôle de tester et de confirmer si les processus utilisés et les produits formés sont exempts de toute sorte de microorganismes pour la prévention de la santé des consommateurs.

3.1. Analyse de l'eau.

L'eau utilisée à la BRANOMA subit les traitements physico chimiques. Les analyses microbiologiques sont effectuées uniquement pour l'eau d'alimentation de brassage, d'embouteillage et l'eau de bac de stockage. Elles s'intéressent à la recherche des germes à savoir les coliformes et les germes totaux.

3.1.1. Les coliformes :

Les coliformes forment une famille des microbes, les bactéries coliformes existant dans les matières fécales mais peuvent également se développer dans certains milieu naturels. Ce sont des germes pathogènes, dangereusement nuisibles à la santé de l'être humain. Pour les identifier dans l'eau on utilise le milieu de culture MELS de couleur rouge. On doit trouver zéro germe.

3.1.2. Les germes totaux :

Sont dénombrés en utilisant le milieu de culture PCA plus ou moins jaunâtre (La gélose glucosée à l'extrait de levure appelée par les Anglo-Saxons "Plate Count Agar" est utilisée en bactériologie alimentaire pour le dénombrement des bactéries aérobies). On doit trouver la quantité inférieure à 100g/100ml

3.2. Analyse du produit

3.2.1. Moût froid

Le moût est analysé en utilisant le milieu de culture WLN⁻. Le signe négatif signifie qu'on n'a pas ajouté l'actidione dans le milieu de culture. L'actidione sert à inhiber l'activité

de la levure. Le moût n'est pasensemencé de levure d'où l'utilisation du milieu de culture sans actidione.

3.2.2. Moût en fermentation

Pour le dénombrement des germes totaux dans le moût en fermentation, on utilise le milieu de culture WLN⁺ c'est-à-dire milieu de culture avec actidione pour inhiber l'activité de la levure.

3.2.3. La bière de garde

L'analyse sert à déterminer les bactéries lactiques en utilisant le milieu de culture RACKA RAY ou WLN⁺ pour la recherche des germes totaux.

3.2.4. La bière

On utilise le milieu de culture WLN⁻

3.3. Analyse de la levure

La levure est analysée en utilisant le milieu de culture WLN⁺ pour la recherche des germes totaux et RACKA RAY pour la recherche des bactéries lactiques.



CHAPITRE IV : SERVICE UTILITE

L'utilité est un service comportant quatre secteurs : le secteur de production de la vapeur, le secteur de production du froid, celui de purification du CO_2 , et celui qui s'occupe du traitement des eaux. Ce service tient son nom de son importance capitale dans le fonctionnement dans la brasserie.

1. Secteur de production de la vapeur à l'aide de la chaudière.

La chaudière est une machine totalement destinée à la production de la vapeur. Du point de vue pratique et technique, elle est constituée de :

- Bruleur: constitué d'un ventilateur et une électrode électrique
- Pompe qui sert à augmenter la pression et la circulation du fuel
- Citerne d'alimentation qui sert à stocker le fuel
- Appareil de sécurité qui sert à garder la sécurité de la machine
- L'eau d'alimentation : elle doit être traitée c'est-à-dire dépourvue des ions Mg^{2+} et Ca^{2+} qui forment les calcaires CaCO_3 et les bicarbonates CaHCO_3 . Ces derniers sont néfastes pour la machine, le rendement et l'environnement. D'où l'importance du traitement d'eau avant son utilisation

L'eau traitée passe de l'état liquide à l'état vapeur par chauffage. La quantité d'énergie absorbée est égale à :

$$Q = \int_{T_0}^{T_f} mc_p dT$$

Où

T_0 et T_f sont respectivement les températures initiale et finale,

m est la masse de l'eau

c_p chaleur spécifique de l'eau.

C'est cette énergie qu'on utilise pour le brassage (ébullition) et dans l'embouteillage pour la pasteurisation de la bière et la stérilisation des bouteilles.

2. Secteur de traitement du CO_2 .

A BRANOMA, CO_2 est produit lors de la fermentation de la bière. CO_2 provient de la fermentation de la bière est totalement brut et ce dernier nécessite des étapes de traitements suivants :

- Demousser : échapper la mousse et le résidu
- Tour de lavage : laver et nettoyer les molécules de CO_2

- Compression : elle nécessite une augmentation de la pression et respectivement de la température à près le CO_2 subit un refroidissement qui est totalement destiné à échapper l'humidité que contiennent les molécules de CO_2 .

- Le système de séchage : Déshumidifier c'est-à-dire extraire l'humidité définitivement en utilisant les silicates.

- Système de purification : ce système contient le charbon actif totalement destiné à éliminer les mauvaises odeurs afin d'obtenir du CO_2 pur.

Pour stocker ce gaz il nécessite un système de refroidissement dans le but de le rendre liquide à une température de -30°C . A près passage au citerne de stockage puis en cas de besoin du CO_2 au niveau de la section filtration et mise en bouteille, le CO_2 qui participe à la production doit être sous forme du gaz ; donc il subit l'évaporation par sécheur.

3. Secteur de traitement des eaux

En général pour satisfaire tous les équipements qui s'attaquent fortement à la pression et à la température nécessitent de l'eau adoucie et son taux hydrométrique TH se diffère selon la section du point de vue leur utilisation.

Exemple :

La chaudière nécessite $0 < \text{TH} < 1$

L'eau d'embouteillage nécessite $5 < \text{TH} < 7$

L'eau de brassage doit avoir $12 < \text{TH} < 16$

Ce TH de chacun joue un rôle très important pour garder la qualité du produit, et d'autre part pour éliminer et éviter en même temps les incidents qui sont très graves du point de vue économiques et sociaux.

L'eau traitée équivalente à l'eau adoucie c'est-à-dire l'eau qu'on a extrait des cations Mg^{2+} et Ca^{2+} qui constituent en fonction de l'augmentation de la température respectivement et de la pression la formation des carbonates CaCO_3 et les bicarbonates CaHCO_3 ; les calcaires formés sur les parois du conduit de la chaudière forment des strates : les couches qui se déposent les unes sur les autres ce qui cause la diminution du volume du conduit ; à une certaine épaisseur de la couche du conduit l'intensité d'échange thermique diminue, le rendement de la chaudière diminue, le volume diminue et en présence des calcaires au sein de la chaudière il ya formation des gaz qui vont endommager la machine et il y aura l'augmentation de l'énergie c'est-à-dire de l'électricité et du fuel.

Donc la nécessité de l'eau adoucie est très importante.

3.1. Adoucissement des eaux

L'adoucissement des eaux est un moyen utilisé pour atténuer la quantité des ions magnésium et calcium que contient l'eau en utilisant la résine échangeuse d'ions.

Adoucisseur : appareil qui est constitué de bas en haut de la résine, du sable fin, le sable moyen puis les cailloux de moyenne dimension.

La résine capte les cations de magnésium et de calcium, TH diminue jusqu'à 0,1 ; en fonction de volume d'eau passée, la résine devient totalement sursaturée et le TH augmente, à une valeur supérieure à 1, cette dernière nécessite alors la régénération.

La régénération est faite par la saumure qui est une solution du sel Na Cl ; la saumure traverse la résine en extrant les cations magnésiques et calciques ce qui donne une force très élevée à la résine pour capter encore les ions provenant de l'eau de ville.

3.2. Déchloration des eaux

Le chlore est éliminé dans l'eau à cause de sa caractéristique oxydative pouvant nuire au goût de la bière. On utilise le charbon actif pour son pouvoir de capter les molécules de chlore. Le charbon actif améliore la qualité organoleptique de l'eau et élimine des traces des matières en suspension toxiques que contient l'eau.

4. Secteur de production du froid

L'installation du froid est destinée à absorber la chaleur provenant de la bière. La température de conservation de la bière est comprise entre 0°C et 1°C dans le but d'augmenter l'intensité de respiration et garder la qualité de la bière dans les meilleures conditions.

Pour satisfaire ces conditions l'étude ou bilan thermique nous amène à déterminer la puissance normale de l'installation (équipements) qui sera capable de satisfaire et de garder la température désirée constante en fonction du volume et de la production.

Le circuit frigorifique est composé de quatre appareils qui participent à la production du froid à savoir le compresseur, le condenseur, le détendeur et l'évaporateur.

Le compresseur: aspire de l'ammoniac gazeux à basse pression respectivement la température basse par le phénomène de transvasement. NH_3 se comprime la pression et la température augmentent. Par le phénomène du choc thermique, les molécules de NH_3 subissent un choc et le volume dans le cylindre diminue. A la partie de refoulement le NH_3 se dirige vers le **condenseur** où il subit la liquéfaction en se refroidissant. La pression respectivement la température reste constante, c'est un système isobare respectivement isotherme.



A la sortie du condenseur, NH_3 liquide subit la détente au niveau du **détendeur** où 10% du volume du liquide subit l'évaporation.

A la sortie du détendeur, l'ammoniac qui est hétérogène du point de vue phase : 10% phase vapeur et 90% phase liquide. La pression et la température atteignent respectivement la pression et la température d' la pression et la température d'évaporation. Dans toutes les installations la pression est normalement d'un bar.

Au niveau **d'évaporateur**, il ya production du froid. L'ammoniac en absorbant la chaleur spécifique apportée par le liquide frigorigène qui est l'eau alcoolisée libère les frigories. Ces dernières jouent un rôle très important pour la conservation des denrées alimentaires.

CONCLUSION

Dans ce travail nous avons étudié les différentes transformations qui se déroulent au cours des différentes étapes de la fabrication de la bière. Cette étude nous a permis de comprendre et d'expliquer les différentes réactions chimiques de la fermentation et de savoir comment préparer une bière propre et de bonne qualité. Ce travail m'a montré que la chimie n'est pas une science qui se limite dans le laboratoire, mais plutôt qu'elle s'étend dans la vie pratique.

Mon stage à BRANOMA m'a aidée à mettre en pratique mes connaissances théoriques acquises au cours de toute ma formation. Il m'a aidé à découvrir le monde professionnel du point de vue social et intellectuel et m'a été un vrai tremplin pour la suite de ma formation scientifique.

J'espère pouvoir en profiter dans l'avenir et réaliser des nouvelles découvertes sur ce sujet étant donné qu'il y a encore des points qui restent ouverts

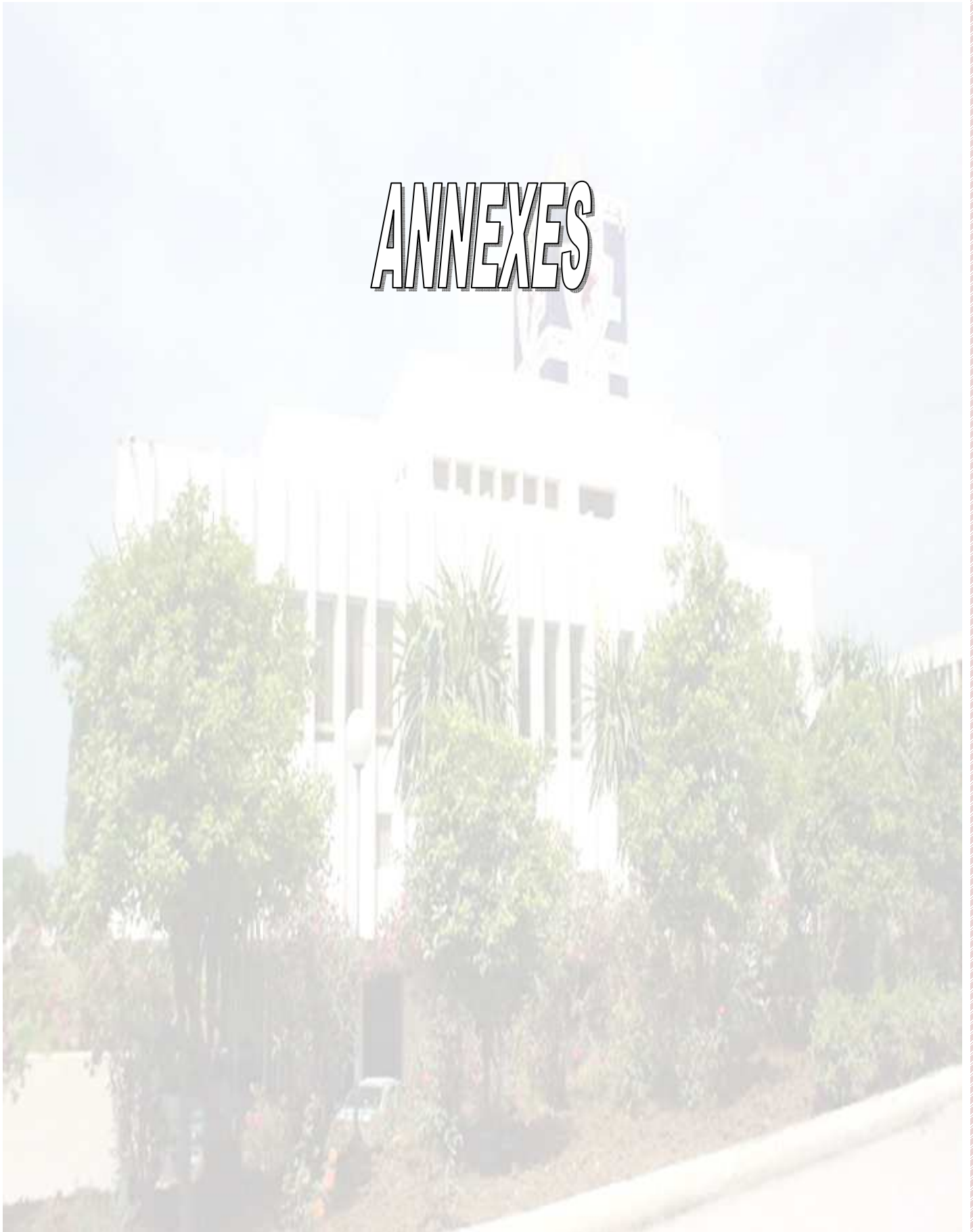
BIBLIOGRAPHIE

[1]Manfred Moll, BIERE ET COOLERS, Collection Sciences et Techniques

[2]WEBOGRAPHIE

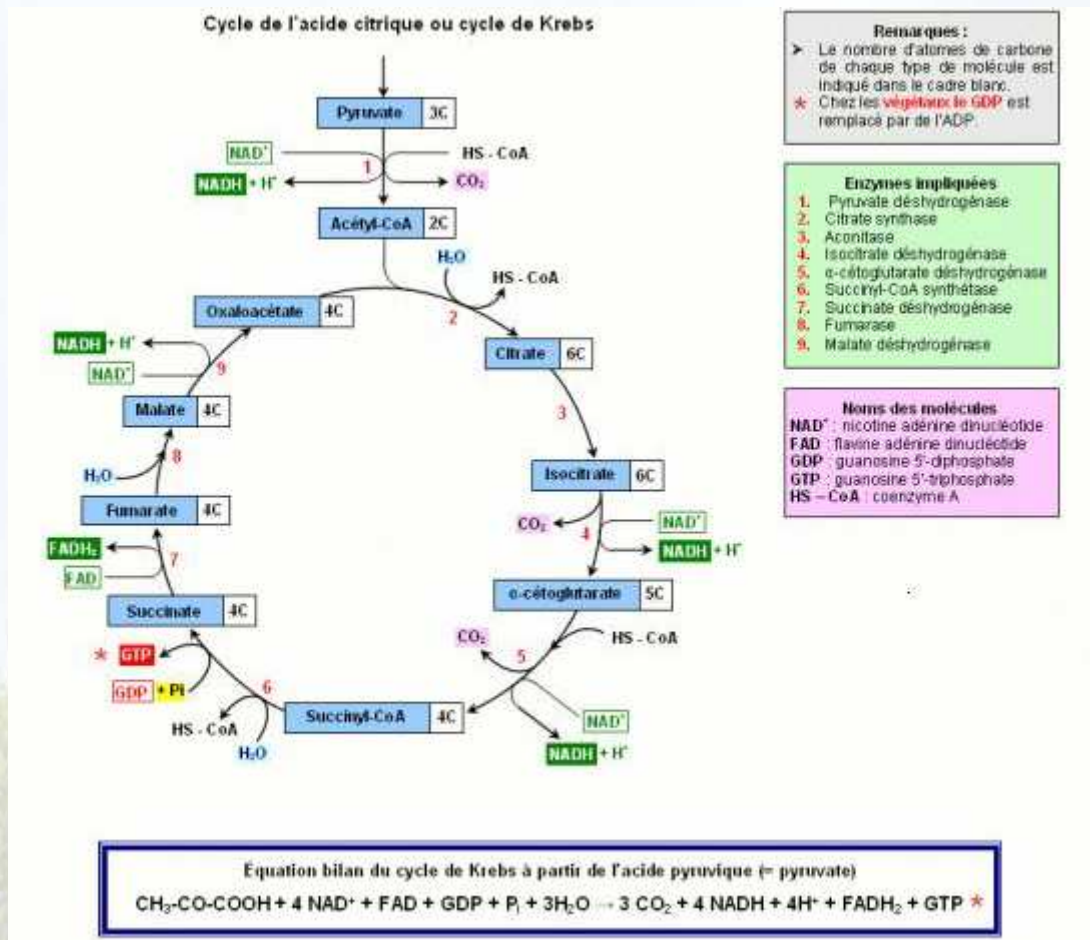
- http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Spécial:Connexion&returnto=Orge_commune
- [http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Spécial:Connexion&returnto=Fabrication de la bière](http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Spécial:Connexion&returnto=Fabrication_de_la_bi%C3%A8re)
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fabrication de la bière](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fabrication_de_la_bi%C3%A8re)
- <http://www2.vet-lyon.fr/ens/nut/webBromato/cours/cmspgrai/fabiere/schfabie.html>
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fermentation de la bière](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fermentation_de_la_bi%C3%A8re)
- <http://www.touteslesbieres.fr/>
- <http://sites.google.com/site/brasseurfab/lexique-de-la-biere-2>

ANNEXES

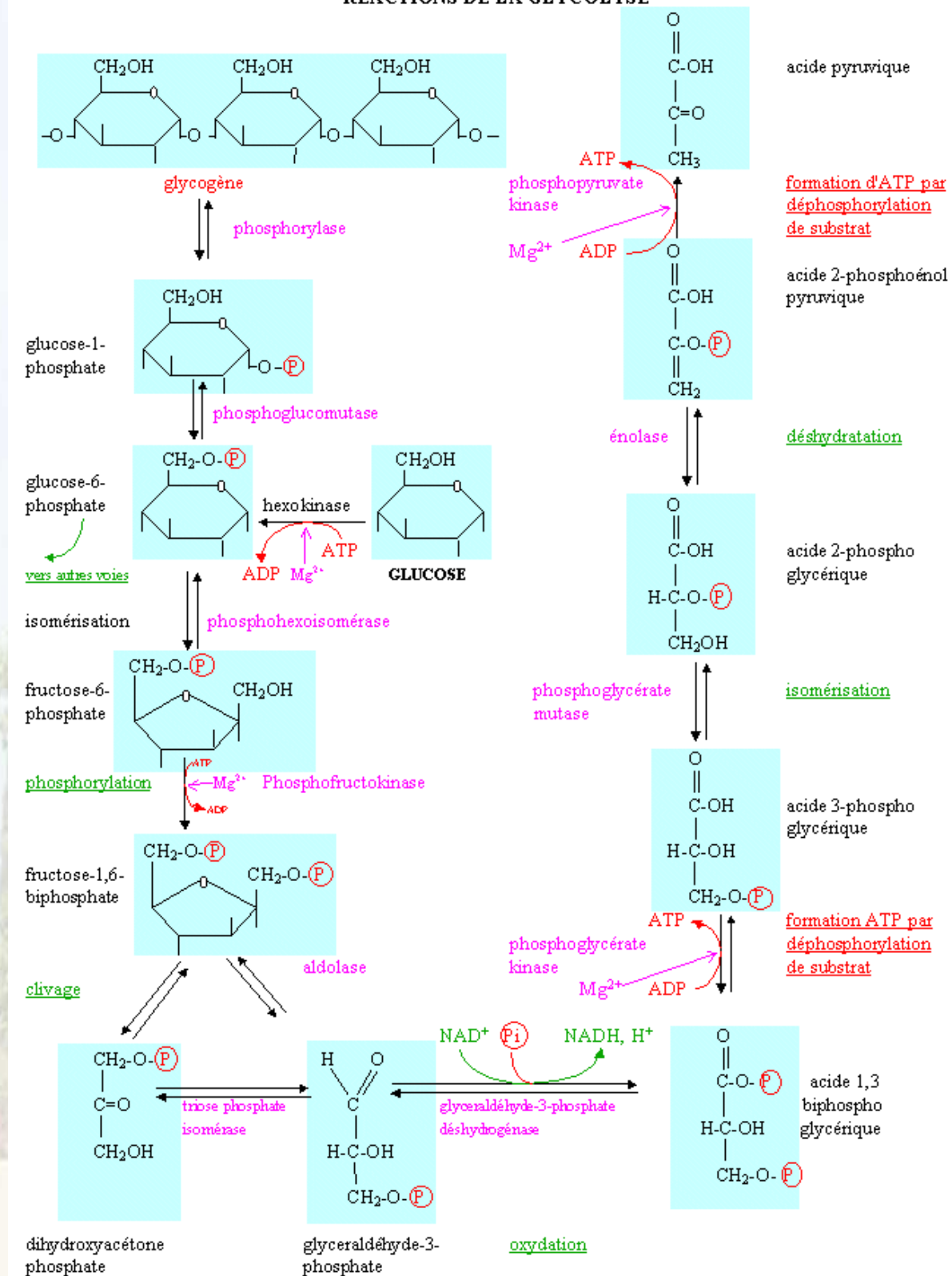


-I-

CYCLE DE KREBS



**-II-
REACTION DE LA GLYCOLYSE
RÉACTIONS DE LA GLYCOLYSE**



-III- REACTION DE MAILLARD

