
PROTOCOLE DETAILLE POUR LA FABRICATION DE LA BIERE

PARTIE I : DESCRIPTIF DU MATERIEL ET DES MATIERES PREMIERES

1. MATERIEL

Le matériel décrit ici fera souvent référence à des étapes décrites plus loin dans le protocole.

Pour l'étape de préparation il est nécessaire d'avoir :

- Un récipient pour contenir le malt (prévoir son volume en fonction de la quantité de bière voulue, cf ligne suivante).
- Le malt : mélange de trois malts différents en proportions bien définies.
 - Le malt de base (Münchener 15 EBC).
 - Quantité : entre 70 et 100% du total.
 - Le malt caramel (Cara-red 40 EBC).
 - Quantité : entre 10 et 15% du total.
 - Le malt torréfié (Chocolate 900 EBC).
 - Quantité : entre 1 et 5% du total.

Le calcul des proportions sera défini avant la fabrication (voir tableau concernant les quantités de malt en fonction du degré souhaité et le rendu final de la bière).

- Le houblon (Cascade) sous forme de cônes :
 - Quantité : entre 10 à 15g. Il faudrait normalement 15g de houblon amer et 10 de houblon aromatique mais nous avons choisi un houblon polyvalent à la fois amer et aromatique. On fera donc 2 houblonnage séparés pour assurer les deux fonctions du houblon.
- Des sachets de 6g de levure (Brewferm Top) :
 - Quantité nécessaire définie lors de la lecture de la densité initiale du moût juste avant l'étape de fermentation (voir étape de refroidissement).
- Une quantité d'eau suffisante pour la préparation du moût et le lavage des drêches (minérale de préférence).
- Un concasseur pour le malt.
- Des produits pour la stérilisation.
- Un thermomètre précis au dixième de degré serait l'idéal.
- Un pH-mètre précis au dixième voire centième d'unité de pH.
- Une cuve pour l'étape d'empâtage et de cuisson, en acier inox si possible. Son volume sera calculé plus loin. On peut avoir une cuve pour l'empâtage et une pour la cuisson (mais en transvasant dans un récipient intermédiaire pendant le filtrage on pourra se contenter d'une seule cuve).

- Une cuve pour l'étape de fermentation. Elle peut être en plastique et son volume sera calculé plus loin également. Il est avantageux d'avoir un robinet en bas de la cuve.
- Un barboteur. Il nous permettra d'évacuer le gaz carbonique produit lors de la fermentation tout en protégeant le contenu de la cuve de l'air extérieur. Cela sous-entend la nécessité de fermer hermétiquement la cuve de fermentation.
- Du sucre candi serait l'idéal. On pourra prendre du sucre de cuisine basique. Le sucre candi est en fait un sucre qui refroidit lentement à partir d'un sirop pour former de gros cristaux. Le sirop peut-être obtenu à partir de différents sucres comme le sucre de canne ou de betteraves par exemple. Sa cristallisation lente permet apparemment de lui apporter plus d'arôme. Il faudra se mettre d'accord sur le choix du sucre ou d'un mélange de sucres différents.
- Des bouteilles pour recevoir le produit final (opaques de préférences et résistantes).
- Des capsules au bon diamètre en fonction des bouteilles.
- Un système de refroidissement. Il est vivement conseillé de disposer d'un système permettant de refroidir rapidement le moût afin de limiter les risques de contamination durant l'étape de refroidissement.
- Une passoire ou un filtre (en acier ou en plastique). La filtration doit permettre de récupérer toutes les drêches après l'empâtage et aussi de pouvoir faire passer de l'eau au travers pour rincer ces dernières.
- Un densimètre pour évaluer la densité du moût. Il doit nous donner la densité du moût en %vol, en degré ou en échelle Plato (se référer à l'étape de fermentation pour plus d'information).
- De la teinture d'iode. Celle-ci est nécessaire pour contrôler la quantité d'amidon durant la phase de saccharification.
- Un système pour soutirer le moût. Un siphon avec une tige de remplissage convient.
- Si nécessaire, on pourra employer un clarifiant pour rendre la bière moins trouble. Des feuilles de gélatine vendue dans le commerce permettent cela si on les ajoute pendant la fermentation de garde (après transformation dans l'eau).
- Une balance. Elle doit autoriser une pesée jusqu'à plusieurs kilos (en fonction du malt apporté) et au mieux être précise au gramme près (pour le houblon, les levures et le sucre). Sinon il faudra employer 2 balances différentes.
- Un système pour chauffer à une température d'une centaine de degré environs et dont la puissance est réglable avec facilité.
- Une grande cuillère en bois, en inox ou en plastique pour brasser la maische pendant l'empâtage et la cuisson.
- Des récipients pour placer les différents ingrédients avant leur ajout.
- Il peut être pratique d'avoir un filet qui contiendrait le houblon durant la cuisson. On peut ainsi limiter la quantité d'impuretés qui se trouveront dans la cuve.
- Il est conseillé d'avoir un tamis (type cuisine) pour écumer et récupérer les impuretés à la surface du moût.
- Il est indispensable d'avoir l'heure...

En plus du matériel, il est intéressant d'avoir à disposition une pièce dont la température est contrôlée (, ainsi qu'un dispositif permettant de conserver la cuve de fermentation au frais pendant plusieurs jours ou semaines (chambre froide ou réfrigérateur entre 6 et 10°C).

2. MELANGE DE MALT

Nous avons choisi de produire de la bière à partir de malts différents. Le choix s'est porté sur 3 malts, chacun apportant sa contribution sur les caractéristiques du produit fini.

Il est possible d'utiliser des malts provenant de différentes céréales comme l'orge (principalement) mais aussi le maïs, l'avoine ou même le blé. Il existe de nombreuses variétés d'orges mais aussi de malts, leurs caractéristiques propres reposant sur des facteurs internes comme leur teneur en sucres, leur concentration en différentes enzymes mais leurs particularités viennent aussi des traitements qu'ils auront subis pendant leur production comme une cuisson plus ou moins longue et intense.

2.1 MALT DE BASE

Pour toutes les bières, il est nécessaire d'avoir un malt de base pour fournir le sucre nécessaire à la fermentation. C'est lui qui constituera la part majoritaire du mélange.

Notre choix s'est porté sur un malt d'orge, le Münchener 15 EBC. C'est un malt d'orge pour la fabrication de bières ambrées. Il apporte un goût et un arôme de malt à la bière. Il n'apportera qu'une faible teinte ambrée à la bière de part son EBC correct. Le malt Münchener a un EBC de 15 ce qui est relativement clair (voir étape finale pour plus d'information sur la couleur de la bière).

2.2 MALTS ADDITIONNELS

Nous avons fait le choix de d'enrichir notre malt de base avec deux autres malts différents. Ils vont chacun apporter une touche particulière à la bière et ainsi la rendre vraiment unique. Ils sont employés en petite quantité relativement au malt de base.

2.2.1 MALT CARAMEL

Pour donner plus d'arôme et de couleur à la bière, nous avons choisi d'ajouter un malt caramel, le Cara-red 40 EBC. On parle de malt caramel quand, au lieu de le sécher en soufflant de l'air chaud, on le sèche en le grillant.

La température et l'humidité sont maintenues à des valeurs suffisantes pour convertir l'amidon en sucre, à l'intérieur même du grain et l'endosperme (la partie nutritive du grain) est liquéfié. La température est montée à 150°C ou plus, caramélisant ainsi le sucre. Les contrôles du temps et la température vont donner des teintes différentes de malt caramel.

Plus la couleur du malt sera foncée, plus l'intensité des saveurs et du goût sucré seront apparent. Etant donné la température élevée dont est soumis le malt caramel, celui-ci ne fournira pas d'enzymes au moût. (pas de pouvoir de transformation de l'amidon des autres grains en sucre). Puisque la conversion de son propre amidon en sucre est déjà effectuée, ce type de grain est facilement utilisable avec des concentrés où il n'y a pas de vraie infusion.

Les malts caramélisés ont une quantité appréciable de sucres non-fermentescibles (dextrine). L'amidon et les dextrines contribuent au corps de la bière, à la tenue de mousse et à sa rondeur (voir étape de dégustation). Le

malt caramel donne à la bière un goût sucré, du corps, de la couleur et aide à la tenue de mousse. La quantité et la variété font varier ces différents facteurs.

Le malt Cara-red va permettre d'augmenter le corps de la bière et la stabilité de la mousse mais aussi de renforcer le côté malté et sucré de la bière. Il va aussi apporter une teinte plus rouge et foncer la bière (EBC = 40).

2.2.2 MALT TORREFIE

Enfin, le dernier composant du mélange de malt sera un malt torréfié, le Chocolate 900 EBC. Si le grain subit une cuisson intense, il va prendre une couleur très foncée et prendre un goût et arôme différent.

Le malt torréfié Chocolate ne contient plus d'enzymes à cause des fortes températures auxquelles il a été soumis. De plus il va apporter des saveurs complexes de vanille, de caramel et même de noisette.

Le malt Chocolate est similaire au malt noir mis à part que celui-ci n'a pas été grillé aussi longtemps. Il présente néanmoins la même couleur sans avoir le goût de brûlé du malt noir.

2.3 CALCULS DES QUANTITES DE MALTS POUR LE MELANGE

Avant de commencer, il faut commencer par définir les différentes quantités de matières premières qui seront nécessaires à la fabrication. C'est rendu possible par des règles de calcul.

- Quantité de malt en fonction du volume de bière et du degré désiré :

$$M = (V \times D) / 26$$

M : masse de malt en kg

V : volume de bière désiré en L

D : degré de bière désiré

On se référera à l'étape de fermentation pour plus de précisions sur les mesures de l'alcool dans la bière.

- Quantité de malt pour l'empâtage :

$$Q = M \times 2,8$$

Q : volume d'eau en L

- Quantité d'eau pour le filtrage de la maische et le lavage des drêches :

$$E = (B \times 1,25) - Q$$

E : volume d'eau à ajouter en L

B : volume de bière désiré en L

Q : volume d'eau ajouté pendant l'empâtage en L

Attention, cette quantité d'eau est donnée à titre indicatif.

Grâce à ces formules, on peut obtenir les tableaux de référence suivants qui nous donnent les quantités de malt et d'eau nécessaires à la production de la bière en fonction du volume et du degré désiré.

Références concernant les quantités de malt et d'eau pour la production de la bière

Pour une bière à 4°

Volume de bière désiré (en L)	5	10	15	20	25	30
Quantité de malt (en kg)	0,76923	1,53846	2,30769	3,07692	3,84615	4,61538
Quantité d'eau pour l'empâtage (en L)	2,15385	4,30769	6,46154	8,61538	10,7692	12,9231
Quantité d'eau pour le rinçage (en L)	4,09615	8,19231	12,2885	16,3846	20,4808	24,5769

Pour une bière à 5°

Volume de bière désiré (en L)	5	10	15	20	25	30
Quantité de malt (en kg)	0,96154	1,92308	2,88462	3,84615	4,80769	5,76923
Quantité d'eau pour l'empâtage (en L)	2,69231	5,38462	8,07692	10,7692	13,4615	16,1538
Quantité d'eau pour le rinçage (en L)	3,55769	7,11538	10,6731	14,2308	17,7885	21,3462

Pour une bière à 6°

Volume de bière désiré (en L)	5	10	15	20	25	30
Quantité de malt (en kg)	1,15385	2,30769	3,46154	4,61538	5,76923	6,92308
Quantité d'eau pour l'empâtage (en L)	3,23077	6,46154	9,69231	12,9231	16,1538	19,3846
Quantité d'eau pour le rinçage (en L)	3,01923	6,03846	9,05769	12,0769	15,0962	18,1154

Pour une bière à 7°

Volume de bière désiré (en L)	5	10	15	20	25	30
Quantité de malt (en kg)	1,34615	2,69231	4,03846	5,38462	6,73077	8,07692
Quantité d'eau pour l'empâtage (en L)	3,76923	7,53846	11,3077	15,0769	18,8462	22,6154
Quantité d'eau pour le rinçage (en L)	2,48077	4,96154	7,44231	9,92308	12,4038	14,8846

Pour une bière à 8°

Volume de bière désiré (en L)	5	10	15	20	25	30
Quantité de malt (en kg)	1,53846	3,07692	4,61538	6,15385	7,69231	9,23077
Quantité d'eau pour l'empâtage (en L)	4,30769	8,61538	12,9231	17,2308	21,5385	25,8462
Quantité d'eau pour le rinçage (en L)	1,94231	3,88462	5,82692	7,76923	9,71154	11,6538

Pour une bière à 9°

Volume de bière désiré (en L)	5	10	15	20	25	30
Quantité de malt (en kg)	1,73077	3,46154	5,19231	6,92308	8,65385	10,3846
Quantité d'eau pour l'empâtage (en L)	4,84615	9,69231	14,5385	19,3846	24,2308	29,0769
Quantité d'eau pour le rinçage (en L)	1,40385	2,80769	4,21154	5,61538	7,01923	8,42308

Pour une bière à 10°

Volume de bière désiré (en L)	5	10	15	20	25	30
Quantité de malt (en kg)	1,92308	3,84615	5,76923	7,69231	9,61538	11,5385
Quantité d'eau pour l'empâtage (en L)	5,38462	10,7692	16,1538	21,5385	26,9231	32,3077
Quantité d'eau pour le rinçage (en L)	0,86538	1,73077	2,59615	3,46154	4,32692	5,19231

3. HOUBLON

On utilise le houblon lors de la fabrication de la bière pour ses nombreux composés biochimiques. Les glandes de lupuline à l'intérieur des cônes femelles produisent des composés comme des acides de houblon, des huiles essentielles et des polyphénols. La composition de la poudre de lupuline produite par les glandes varie en fonction de la variété.

Les plus importants sont les acides alpha (englobant les humulones), et les acides bêta (comprenant les lupulones), qui sont d'excellents conservateurs. Ils protègent la bière contre l'oxydation et contre les bactéries. Ce sont eux qui confèrent au houblon ses propriétés amérisantes.

Les huiles essentielles du houblon vont lui donner son caractère aromatique. Il existe plus de 300 composés différents dans l'huile essentielle de houblon et leur association va engendrer une très large gamme d'arômes différents.

Les brasseurs préfèrent généralement employer deux types de houblons différents pendant la cuisson. Un premier type, qui va permettre d'amériser le moût et un second type, qui peut être un mélange, pour apporter une touche aromatique à la bière. Le houblon amérisant s'emploie en début de cuisson alors que le houblon aromatique est ajouté en fin de cuisson pour libérer les huiles essentielles qu'elles soient détruites par la chaleur.

Nous avons pris la décision de se limiter à seulement une seule variété : le houblon Cascade. Cette variété fait partie des houblons les plus populaires aux Etats-Unis. Ses arômes épicés, floraux et d'agrumes (pamplemousse et citron notamment) sont aisément reconnaissables et caractéristiques de nombreuses bières américaines bien houblonnées. C'est une variété polyvalente qui peut s'employer à la fois comme houblon amérisant et aromatique car son taux d'acides alpha et bêta est relativement moyen.

Caractéristiques du houblon Cascade :

Origine	USA
Noble	NON
Utilisation	Amertume ou arôme
Type de bière	Ales Américaines
Substitution	Centennial, Galena, Eroica, Nugget, Bullion
Acides Alpha	4.5-7,5 %
Acides Bêta	4.5-7 %
Cohumulone	33-40 %
Myrcène	45-60 %
Humulène	13 %
Caryophyllène	4.5 %
Farnésène	13 %
Huiles essentielles	0.8-1.5 %
Stockage (%AA/6 M/20°C)	50

La quantité de houblon à ajouter dépend du type de bière souhaitée. Une bière amère contiendra beaucoup d'acides alpha alors que pour une bière plus délicate on se tournera vers des houblons pauvres en acides alpha.

Le degré d'amertume d'une bière s'exprime grâce à sa quantité d'acides alpha :

Degré d'amertume	Masse d'acides alpha en grammes
------------------	---------------------------------

<i>Légère</i>	1 à 1,5
<i>Moyenne</i>	1,5 à 2,5
<i>Prononcée</i>	2,5 à 4
<i>Beaucoup d'amertume</i>	4 et plus

Pour avoir, la quantité d'acides alpha dans la bière en fin de cuisson on passe par le taux d'acides alpha dans le houblon :

Par exemple 50 grammes de Fuggles (4%) donnera :

$$50 \text{ grammes} \times 0.04 = 2 \text{ grammes}$$

Mais 20 grammes d'Eroica (10%) donneront :

$$20 \text{ grammes} \times 0.1 = 2 \text{ grammes}$$

La variété Cascade à un taux en acides alpha variable de 4,5 à 7,5%.

Pour 10L de bière	Taux d'acides alpha	
Masse de houblon (g)	4,5%	7,5%
10	0,45	0,75
15	0,675	1,125
20	0,9	1,5
25	1,125	1,875
30	1,35	2,25
35	1,575	2,625
40	1,8	3
45	2,025	3,375
50	2,25	3,75
55	2,475	4,125
60	2,7	4,5

On pourra donc choisir la quantité de houblon à apporter en fonction du degré d'amertume désiré.

On peut aussi déterminer l'amertume de la bière avec par l'utilisation de l'échelle IBU (International Bitterness Units).

$$1 \text{ IBU (mg/L)} = 1 \text{ mg d'acide alpha / L de bière}$$

$$\text{Degré IBU} = \text{Quantité de houblon (g)} \times \text{teneur en acides alpha (\%)} \times \text{taux d'extraction (\%)} / \text{Volume de bière (L)}$$

Plus on infusera longtemps, plus on aura extrait d'acides alpha :

Durée d'ébullition en minutes	Taux d'extraction en %
10	6
20	10
30	15
40	23
50	28
60	30

A nous d'adapter le degré à l'amertume désirée, sachant qu'il varie généralement de 15 à 40 IBU environ.

4. LEVURE

4.1 CHOIX DE LA LEVURE

Le procédé que nous avons privilégié pour le brassage de la bière est celui de la fermentation haute. Ce procédé nous permet de produire la bière en moins de temps qu'avec la fermentation basse par exemple. On pourra être capable de brasser plusieurs cuvées. Le but étant non pas de produire dans une optique quantitative mais qualitative, en faisant varier les paramètres pour optimiser le process.

Les levures nécessaires à la réalisation de la fermentation haute appartiennent toutes à l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*. Il en existe de multiples souches dont les particularités sont la source de nombreuses recherches. Elles peuvent par exemple :

- avoir de meilleures propriétés de sédimentation
- une meilleure conservation sèche
- le développement d'arômes particuliers
- une activité fermentaire plus ou moins intense
- une activité à des températures plus ou moins variables ou défavorables
- une action nette sur la mousse
- ...

Les différentes souches de levures ne répondent pas toutes de la même façon lors de la fermentation. Par exemple, les levures à ale (*Saccharomyces cerevisiae*) fermentent mieux entre 16-24° C. De plus, les levures retrouvent principalement dans le haut de la cuve de fermentation. C'est ce qu'on appelle une fermentation haute. En revanche, les levures à lager, *Saccharomyces uvarum*, vont fermenter à plus basse température, autour de 10° C. Les levures vont se retrouver au bas de la cuve, on parlera alors de fermentation basse. Si on utilise des levures à lager dans un environnement chaud, la fermentation se fera en haut et on aura quand même une bière de type ale. On veillera à contrôler la température de fermentation pour avoir une bière qui répond à nos standards.

La levure qui sera employée pour la fermentation du moût est une levure de fermentation haute, polyvalente, spéciale pour les bières ambrées et brunes : Levure TOP de Brewferm.

La fermentation est théoriquement rapide d'après le fournisseur, avec peu de sucres résiduels et le développement d'ester fruités. Elle s'utilise à une température allant de 18 à 25°C.

La dose à apporter dépend de la densité initiale du moût :

d = 1,050 : 5 g/10L

d = 1.080 : 8 g/10L

Les levures ne servent pas seulement à fermenter le liquide sucré, elles contribuent également au goût de la bière. Lors de la fermentation, les levures dégagent des déchets sous forme de soufre, phénols et esters ce qui ajoute de la complexité au produit. Deux bières brassées exactement selon la même méthode mais qui n'ont pas les mêmes levures n'auront pas le même goût. Le choix de la levure est donc important pour arriver à produire une bière de qualité qui répond à nos attentes.

De plus, il a été décidé de commander plusieurs sachets de 6g de levure plutôt que qu'un de 100g dans un souci de précaution vis-à-vis des contaminations.

4.2 INFECTIONS DE LA BIERE

Une infection est due à la présence en nombre important de bactérie ou de levure sauvage. La cause en est souvent un manque d'hygiène pendant la préparation du moût ou lors de la fermentation. Les contaminations ne présentent pas de danger léthal, on risquera au pire quelques petits problèmes d'ordre intestinaux.

Le pH élevé, la présence des acides du houblon (bactériostatiques naturels) et l'absence d'oxygène (quand la fermentation a lieu) ont pour effet de limiter considérablement les risques de colonisation par des invités clandestins. Il existe toutefois certaines infections à ne pas ignorer.

- ❖ Lactobacilles
Goût acide/atténuation anormalement élevé de la bière/parfois voile à la surface/augmentation de la viscosité
- ❖ Pédiocoques = Sarcines de la bière
Odeur de beurre rance lors de la fermentation (diacétyl)/acidité/viscosité
Ne pas confondre avec une production normale de diacétyl pendant la fermentation, qui se résorbera pendant la re-fermentation.
- ❖ Acétobacter = Bactérie du vinaigre
Goût, odeur de vinaigre/voile trouble en surface/atténuation anormalement élevée
- ❖ Zymomonas mobilis
Odeur, goût de pomme pourrie
- ❖ Levure sauvage
Goût de cidre/atténuation anormalement élevée

Il n'y a plus d'espoir pour une bière contaminée, la meilleure solution étant de s'en débarrasser. Reste aux expérimentateurs d'identifier la cause et de mettre en place une action corrective. Souvent, c'est vers le système de refroidissement que l'on se tourne (un refroidissement long augmente les risques de contamination). Il faut aussi penser à bien stériliser la cuve de fermentation avec les accessoires comme le barboteur. On peut aussi essayer d'identifier à quel moment il y a eu contamination en effectuant des prélèvements réguliers.

« Les sources de contamination peuvent être de nature vivante ou non-vivante. Toutefois, nous ne nous attarderons ici qu'aux sources de contamination vivante. Parmi ces sources, on retrouve principalement les levures et les bactéries. On appelle généralement " levures sauvages " celles qui sont indésirables et donc considérées comme contaminantes.

Dans cette situation de contamination, on observe alors une population hétérogène de levure par opposition à une population dite homogène qui ne contiendrait qu'un seul type de levures (homo=identique et hétéro=différent).

Ainsi, au lieu de former uniquement les produits désirés comme l'alcool et le CO₂, les autres levures utilisent aussi les nutriments présents et sont responsables de la formation de produits comme l'acide lactique, l'acide acétique ou même de l'acétone et du butanol, qui altèrent évidemment la composition de la " bière " et donc son goût, sa turbidité, son acidité, ses propriétés, etc.

On retrouve des levures partout où les conditions permettent leur croissance et donc en présence d'un minimum de nutriments. Mentionnons ici que les exigences nutritionnelles de la plupart des levures sont : une source de carbone (généralement les sucres), une source d'acides aminés (constituants des protéines), certaines vitamines et autres petites molécules essentielles. Ainsi, dans le grain utilisé pour le processus de brassage par exemple, il ne faudrait pas être surpris de retrouver des levures sauvages.

Le fait de bouillir le moût est suffisant pour tuer toutes les levures sauvages présentes à cette étape. De plus, nous avons appris récemment que la plupart des levures à bière sur le marché contiennent un facteur K ou " killer " qui consiste en un gène ajouté au génome de la levure et dont l'expression amène la sécrétion de substances toxiques pour les levures sauvages. On peut donc considérer cette source de contamination comme étant plus rare et facilement contrôlable.

Nous pensons que la meilleure façon de détecter une contamination est d'étudier les étapes de notre processus sur différents paramètres afin de connaître à tout moment les propriétés de notre bière en devenir. Une fois cette connaissance acquise, il sera plus facile de cibler la source et l'étape où une contamination est apparue.

Parmi les paramètres qu'ils seraient plus pertinents de suivre dans le temps, on note le pH, la gravité spécifique (concentration en sucres), le % d'alcool ou tout autre paramètres jugés nécessaires. Ces trois paramètres sont toutefois un bon indice sur le déroulement de la fermentation et pourraient nous permettre d'émettre des hypothèses quant à la nature du contaminant.

Par exemple, si le pH et les sucres diminuent anormalement et que le % d'alcool atteint un plateau, le contaminant utilise probablement les sucres présents et forme des composés acides alors que les levures produisent de moins en moins d'alcool.

Dans un deuxième exemple, si le pH et le % d'alcool diminuent anormalement mais que les sucres diminuent au taux habituel, le contaminant utilise peut-être l'éthanol au fur et à mesure qu'il est produit par les levures afin de former un acide. Voici un schéma qui résume ces deux exemples de contamination :

❖ Exemple 1 : Le contaminant est une levure sauvage qui fait la réaction suivante:

Sucres ----> Acide acétique

On observe donc :

- Diminution anormale du pH
- Densité spécifique en-dessous du taux normal

- % d'alcool qui plafonne puisque les sucres sont moins disponibles pour les levures à bière

→ Identification d'une levure sauvage faisant cette réaction : *Kloeckera apiculata*

****Fait à noter :** Si la levure contaminante est capable d'utiliser les sucres non fermentescibles par notre levure principale, la gravité spécifique descendra en dessous de ce qu'on appelle la limite d'atténuation. Cette limite correspond à la gravité spécifique minimale que peut atteindre la bière lorsque tous les sucres fermentescibles ont été utilisés. Cette limite représente donc les sucres non fermentescibles par la souche de levure choisie pour notre bière. Serions-nous capable de calculer la limite d'atténuation de notre bière?

- ❖ Exemple 2 : Le contaminant est une bactérie qui fait la réaction suivante

Éthanol ---> Acide acétique

On observe donc :

- Diminution anormale du pH
- Diminution anormale du % d'alcool
- Densité spécifique normale

→ Identification d'une bactérie faisant cette réaction : *Acetobacter pilori*

On voit donc que cette méthode de détection nous permet d'émettre des hypothèses quant à la nature du contaminant et éventuellement d'identifier la source. Une autre façon de faire est l'observation au microscope d'échantillons contaminés en comparaison avec un échantillon non-contaminé. Cet exercice permet facilement de dire si le contaminant est une bactérie ou une levure.

Par contre, pour l'identification précise de l'espèce du micro-organisme envahisseur, la méthode est plus longue et fastidieuse. Il s'agit de faire croître sur une gélose nutritive tous les organismes vivants présents dans l'échantillon contaminé. Ensuite, on peut isoler les contaminants de notre levure et les identifier par diverses techniques de laboratoire en microbiologie, ce qui peut être très long et parfois même impossible selon les moyens à notre disposition et selon la souche à identifier. »

(Extrait d'un site internet très intéressant :

<http://www.chimique.usherbrooke.ca/sherbroue/PROJET/guidebrasse/asbiob.htm>)

5. EAU

5.1 CARACTERISTIQUES

L'eau certainement l'ingrédient le plus fondamental. Elle représente plus de 97% de la masse totale de la bière. De plus, sa composition influe énormément sur la qualité finale. Les brasseries s'intéressent aux caractéristiques suivantes :

- Dureté totale et permanente = Titre hydrotimétrique (voir influence sur le tableau dans la partie pH)

Le degré hydrotimétrique est un indicateur de la minéralisation de l'eau.

Il correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Il est surtout proportionnel à la concentration en calcium et magnésium auxquels s'ajoutent quelquefois les concentrations en fer, aluminium, manganèse et strontium.

Le degré hydrotimétrique s'exprime en degré français (°F). Un degré français correspond à la dureté d'une solution contenant 10 mg/l de CaCO_3 . Un °F équivaut à 4 mg de calcium par litre et à 2,4 mg de magnésium par litre. Un méq d'ion calcium correspond à 5°F.

Interprétation de la valeur du degré hydrotimétrique de l'eau :

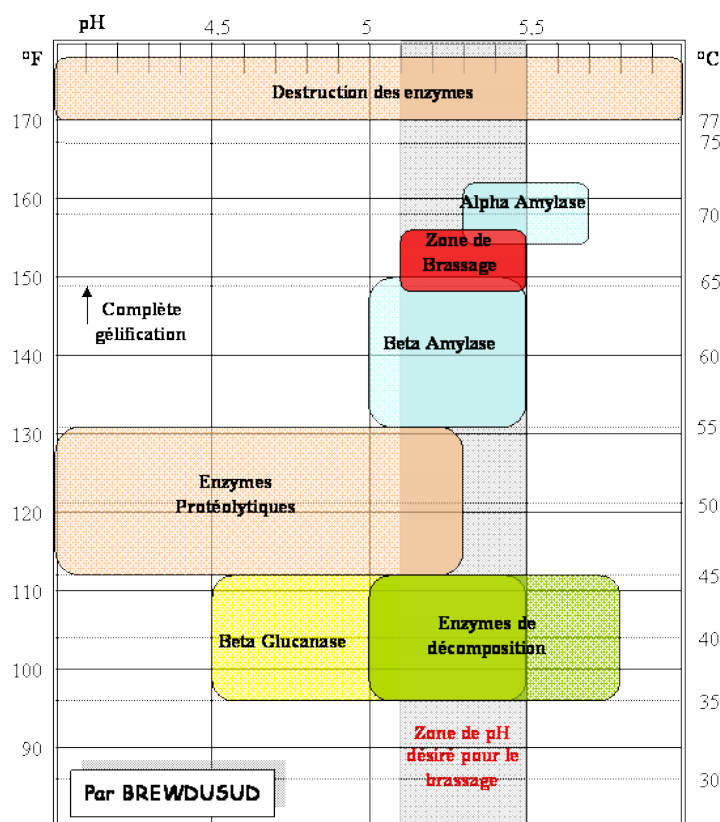
- > Valeur comprise entre 0 et 10°F = eau très douce
- > Valeur comprise entre 10 et 20°F = eau douce
- > Valeur comprise entre 20 et 30°F = eau moyennement dure
- > Valeur comprise entre 30 et 40°F = eau dure
- > Valeur supérieure à 40°F = eau très dure

- pH

Le pH de l'eau va avoir un effet important sur les réactions chimiques en solution et notamment les réactions entre les enzymes et l'amidon. Il peut être intéressant de l'ajuster (voir traitements).

→ Le pH et la fabrication de la bière :

Le schéma suivant nous montre les interactions entre le pH, la dureté de l'eau et la température sur l'activité des enzymes nécessaires au brassage.



- Composition minérale

La qualité des sels minéraux influe sur le caractère de la bière. Leurs proportions agissent sur la saveur et la couleur

■ Ca^{2+}

- Protège l'amylase de la chaleur.
- Stimule les enzymes protéolytiques du malt.
- Pouvoir acidifiant en libérant à son profit l'ion H^+ des phosphates HPO_4^{2-}
→ Cette acidification améliore la filtration, donc le rendement, ainsi que la coagulation des protéines lors de la cuisson.
- Favorise la floculation des levures.
- Améliore le dépouillement de la bière en garde.
- Aide à éliminer les oxalates, responsables de certains troubles
- Excellent additifs à des eaux très douces (sous forme de sulfates).

■ Na^+

- Donne des bières à goût peu agréables.

■ K^+

- Maximum 10 mg/L (laxatif et poison pour les enzymes).

■ Fe^{2+}

- Gênant tout le long de la fabrication.

■ Cu^{2+}

- Poison pour la levure.

■ Mn^{2+}

- Nuisible pour la levure.

■ NH_4^+

- Indice de putréfaction des matières organiques en suspension dans l'eau.

■ HCO_3^-

- Plutôt nuisible car il libère du CO_2 lors de la cuisson et augmente ainsi l'alcalinité du moût.
- Ne doit pas dépasser 50mg/L dans les eaux de brassage.

■ SO_4^{2-}

- Sels acides favorables au brassage, il favorise la production de bières sèches et amères.

■ Cl^-

- Peut générer la floculation de bières douces et moelleuses.
- La chloration à 1 g/m³ de l'eau peut avoir une influence négative sur le goût du produit fini.

■ NO_2^-

- Fort inhibiteur de la fermentation même à faible dose.

■ NO_3^-

- Nuisible pour la levure au-delà de 30mg/L.

- CO_2 libre

Le CMT ou CO_2 total

On définira le CO_2 total par : $\text{CO}_2\text{T} = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$

Le CO₂ total est aussi appelé carbone minéral total : CMT en mole ou millimole par litre.
Cette grandeur intervient dans l'étude de l'équilibre calco-carbonique de l'eau.

(Site internet : <http://bernard.pironin.pagesperso-orange.fr/aquatech/eau-co2.htm#3>)

On peut donc voir que se sera le CO₂ qui sera majoritaire dans la bière, mais je n'ai pas réussi à trouver l'impact du CO₂ libre sur la production de la bière.

- Titre alcalimétrique complet (TAC)

Le TAC correspond à la teneur de l'eau en carbonates et hydrogencarbonates (CO₃²⁻ et HCO₃⁻). Il est équivalent à l'alcalinité.

Le TAC s'exprime en degrés français (°F) :

1° F = 3,4 mg/l OH⁻ (hydroxyde)

1° F = 6,0 mg/l CO₃²⁻ (carbonate)

1° F = 12,2 mg/l HCO₃⁻ (bicarbonate)

Le niveau guide dans les eaux destinées à la consommation humaine est de 50°F.

- Matières organiques

La réduction de la concentration de la matière organique est essentielle pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, car elle est à l'origine des qualités organoleptiques de l'eau distribuée (couleur, goût, odeur) d'une part, et de sa possible toxicité d'autre part.

- Numération des organismes totaux

Les brasseries effectuent des contrôles sur l'eau qu'elles utilisent pour la production de la bière. Ainsi, elles s'assurent de la qualité microbiologique pour diminuer les risques d'infection.

- Potabilité :

- Couleur (20 unités selon la méthode platino-cobalt).
- Goût (sans objection)
- Seuil d'odeur (sans objection)
- Turbidité (15 unités, avec la méthode employant des gouttes de mastic).
Elle se définit comme la teneur d'un liquide en matières qui la trouble (particules colloïdales absorbent diffusent et réfléchissent la lumière).
(Manque d'info sur l'influence sur la qualité de la bière, je suppose qu'elle doit être la plus faible possible pour avoir une bière limpide.)
- Normes chimiques de potabilité
 - As < 0.05 mg/L
 - Cu < 1.0 mg/L
 - Fluorures < 1 mg/L
 - Fe < 0.3 mg/L
 - Pb < 0.05mg/L

- $\text{Zn} < 5 \text{ mg/L}$
- Minéralisation totale $< 2 \text{ g/L}$
- Normes bactériologiques de potabilité
 - aucun organisme parasitaire ou pathogène
 - pas d'E.Coli dans 100mL
 - pas de Streptocoques fécaux dans 50mL
 - pas de Clostridium sulfito-réducteur dans 20mL

5.2 TRAITEMENTS

On pourra effectuer différents traitements pour améliorer la qualité de l'eau :

- Ajuster le pH (plutôt pendant la phase d'empâtage)

Pour acidifier le goût, on y ajoute des sels de gypse. Ce sel minéral ajouté pendant le brassage réagit avec phosphates contenus dans le malt et forme des composés qui acidifient le moût. Le carbonate de calcium est un sel minéral qui peut être ajouté pour rendre le moût plus alcalin. Ajouté à un moût trop acide au départ, il en diminue l'acidité.

- Neutralisation par des acides

Les plus couramment utilisés sont l'acide sulfurique H^2SO_4 et l'acide chlorhydrique $\text{H}_3\text{O}^+ \text{Cl}^-$. Plus rarement, on peut utiliser les acides phosphoriques (activent la fermentation) et les acides lactiques (recherche d'un caractère particulier).

L'acide est directement versé dans le moût (une partie à l'empâtage, une autre à l'ébullition).

Ex : 26 mL d'acide sulfurique à 98% fait baisser le pH de 1/10 d'unité pour 100 kg de malt (manque de précision sur les données...).

- Addition de sulfate ou de chlore

Mêmes critères que pour les acides.

- Décarbonation

Le but est d'éliminer une partie des matières organiques et du fer en ajoutant de la chaux. On laisse décanter puis on filtre.

On peut aussi chauffer pour faire précipiter les carbonates.

- Traitement bactériologique

On peut effectuer une chloration en présence du moût pour éliminer les microorganismes qui pourrait être à l'origine d'infections de la bière. Il aura formation de composés aromatiques chlorés, de chloramines, de trihalométhane (cancérigènes), de chlorophénols, de chlorobenzines toxiques. Ensuite, la déchloration sur charbon actif, qui en plus piège les polluants chimiques. Il faut aussi stériliser régulièrement les filtres à charbon à la vapeur.

- Résines

On peut faire une décarbonation sur des colonnes de résines carboxyliques (régénéré avec un acide minéral). La décarbonation entraînera une réduction de la dureté et de la salinité totale.

On peut éliminer les acides forts ou faibles avec des résines anioniques.

- Osmose inverse

L'osmose inverse consiste en une filtration sur membranes semi-perméables. On pourra ensuite ajouter les sels souhaités pour avoir une composition parfaitement connue et choisie de l'eau.

- Electrodialyse

Elle consiste en un transfert d'ions à travers des membranes sous l'effet d'un champ magnétique.

5.3 CHOIX DE L'EAU

Le choix de l'eau n'est pas à prendre à la légère car une méconnaissance de cet ingrédient lors de son utilisation peut risquer de provoquer l'échec de la production.

Nous avons le choix entre trois origines pour l'eau :

- l'eau courante du réseau local de l'IUT
- l'eau minérale
- l'eau distillée ou l'eau osmosée

5.3.1 L'EAU COURANTE

L'eau courante offre un avantage certain, son coût. De plus elle est disponible sur place donc pas besoin de transport. Il faut néanmoins se pencher sérieusement sur ses caractéristiques. Dans ce sens, nos recherches nous ont menées aux analyses de l'eau effectuées par le laboratoire d'analyse départemental situé dans le même bâtiment que l'IUT. Disponibles auprès de la DDASS, on peut voir que les analyses de 2008 nous renseignent sur seulement peu de critères importants pour la fabrication. En effet, on peut connaître comment elle se situe par rapport aux normes en vigueur mais pas dans le détail de certains points importants (voir annexes). Il serait possible d'effectuer nous-mêmes des analyses de la qualité de l'eau mais pour une raison de temps nous allons contacter directement la personne qui est chargée de ces analyses au laboratoire.

5.3.2 L'EAU MINERALE

L'eau minérale est relativement plus chère que l'eau courante mais elle offre néanmoins un avantage certain, la connaissance de sa composition. L'eau minérale très prisée par les brasseries de par sa qualité, c'est pourquoi la plupart se sont installées près de sources.

Tableau comparatif de plusieurs eaux minérales :

Origine	Alpes Evian	Vosges Wattwiller	Alpes Thonon	Nord Saint-Amand	Vosges Hépar	Vosges Vittel	Vosges Contrex
pH	7.2		7.4	7.2	7.0		
Résidu sec mg/l	309	1092	342	1260	2580	841	2125
Fluorures mg/l				2.6		0.28	
CATIONS							
Calcium mg/l	78	288	108	230	555	202	486
Magnésium mg/l	24	20.1	14	66	110	36	84
Sodium mg/l	5	3	3	40	14	3.8	9.1
Potassium mg/l	1	1.4	< 1	8			3.2
ANIONS							

Bicarbonates mg/l	357	142	350	280	403	402	403
Chlorures mg/l	4.5	3.9	9	61			8.6
Sulfates mg/l	10	678	13	620	1479	306	1187
Nitrates mg/l	3.8	0	12	< 0.5	2.9	4.6	2.7

(reste à choisir...)

5.2.3 L'EAU OSMOSÉE OU DISTILLÉE

L'eau distillée ou osmosée quant-à elle permet de pouvoir maîtriser totalement sa composition pour orienter la bière finale vers le produit recherché. Cependant, il est difficile d'en obtenir une quantité importante pour produire la bière et de plus, même si l'idée de pouvoir contrôler entièrement la composition de l'eau dans le but d'optimiser le processus est très alléchante, il faudrait avoir à disposition de nombreux produits. Cela impose également beaucoup de travail supplémentaire ce qui ne nous est à ce jour pas possible à la vue de notre emploi du temps. Nous avons fait le choix de ne pas se diriger vers cette option.

PARTIE II : RÉALISATION DE LA BIÈRE

1. PRÉPARATIFS

1.1 LEVAIN

La première chose à faire avant d'initier la production proprement dite sera de préparer un levain 1 ou 2 jours avant le début du travail. Il est plus facile et rapide d'ensemencer le moût de bière avec un liquide dans lequel les levures seront déjà en pleine activité. Il suffit pour cela de mélanger ½ Litre d'eau avec 50g de sucres à dissoudre et de rajouter un sachet de levure (6g). On bouche bien la bouteille avec du parafilm et on la place à 25°C.

Si au bout de 1 ou 2 jours le levain n'est toujours pas actif, c'est que les levures étaient mortes. On pourra tenir compte de la quantité de sucre, d'alcool et d'eau ajouté lors de l'introduction du levain dans le moût, mais ce n'est pas obligatoire.

1.2 PESEE ET CONCASSAGE DU MALT

Conformément au tableau de référence au début du protocole, on pourra peser les quantités nécessaires de malt pour l'empâtage. Ensuite, on passe les grains dans le moulin à malt pour les broyer grossièrement.

1.3 STERILISATION

Il est important de bien stériliser chaque outil, matériel avant utilisation et si possible le plus près possible du moment de son utilisation.

2. ETAPE D'EMPATAGE

2.1 INTRODUCTION

Durant, cette étape, le moût va passer par différents paliers de température. Chacun à un rôle précis pendant le brassage. Voir le document sur les étapes de la fabrication de la bière :

- **Pallier protéique ou relais d'albumine**

$T^{\circ} \approx 45^{\circ}\text{C}$

tps = 10min à 30min

pH = 5 à 5,5

Action des protéinases

(formation d'acides aminés et de protéines simples)

- **Pallier de saccharification**

$T^{\circ} \approx 55^{\circ}\text{C}$ - 65°C

tps = 30 à 60 min

Action des β -amylases

(formation des sucres fermentescibles = maltose et glucose)

$T^{\circ} \approx 68^{\circ}$ à 72°C

tps = 30 à 90 min

pH = 5,3 à 5,7

Action des α -amylases

(formation des sucres non fermentescibles = dextrines)

- **Pallier d'inhibition enzymatique**

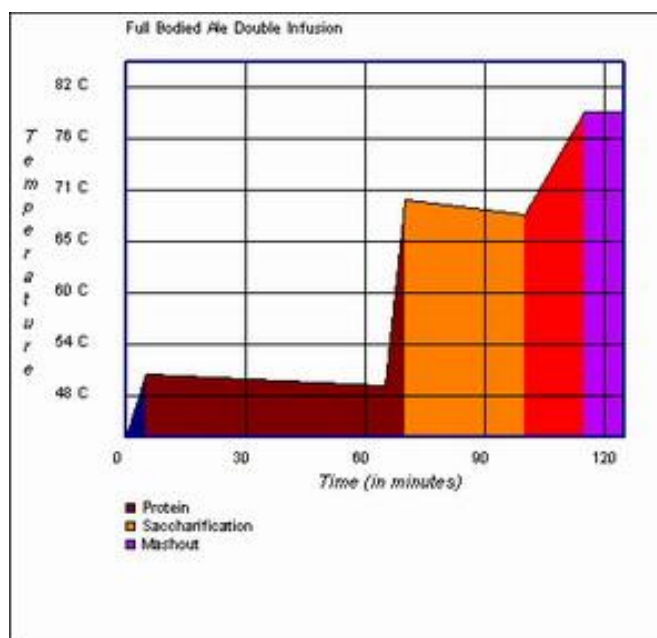
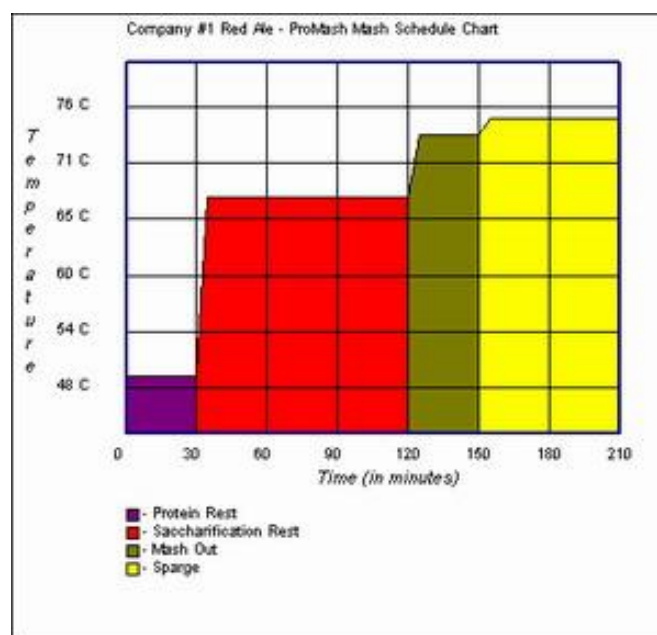
$T^{\circ} \approx 80^{\circ}\text{C}$ max

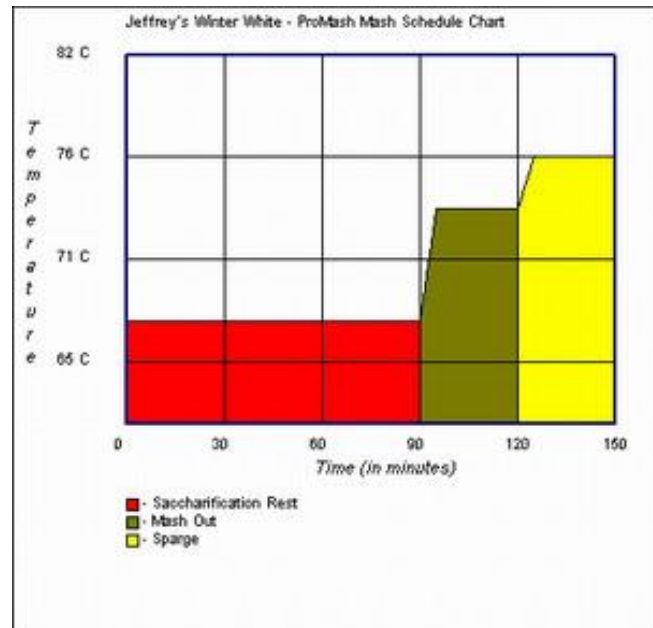
tps = 10 à 15 min

Dénaturation des enzymes

Solubilisation des sucres

Voici quelques exemples de graphiques illustrant le déroulement de l'étape d'empâtage :





2.2 EN PRATIQUE

(→ fixer un planning d'un commun accord)

- Nous sommes maintenant prêts pour commencer l'empâtage. Il faut tout d'abord faire chauffer la quantité d'eau nécessaire dans la cuve d'empâtage (qui servira aussi pour la cuisson) jusqu'à atteindre 45°C.
- Quand la température est atteinte, arrêter le chauffage et ajouter le mélange de malt concassé tout en brassant bien avec une grande cuillère propre.

Le mélange attaque le pallier protéique qui durera entre 10 à 30 minutes (pH 5 à 5.5) à 45°C.

Continuer à brasser...

Augmenter la température doucement jusqu'à atteindre 55-65°C au bout du temps fixé au départ :.....

- Début du pallier de saccharification

Continuer à brasser pendant un peu plus de 30 minutes.

- Au bout de 30 min environ, chauffer jusqu'à atteindre un peu plus de 65°C (aux alentours de 68°C).
- Quand la température est atteinte, attendre (en brassant) pendant 30 min avant de faire le premier contrôle de fin de saccharification.
Prendre un échantillon du moût et le tester avec de la teinture d'iode pour identifier ou non la présence d'amidon.
Si présence, continuer pendant 5 minutes environ et refaire un test.
- Quand l'iode ne vire plus au violet, augmenter la température jusqu'à atteindre 80°C environ et ce, pendant 10 à 15 minutes. Pendant ce temps, faire chauffer de l'eau à la même température (quantité calculée en fonction du volume et du degré de bière voulu).

2.3 ETAPE DE FILTRAGE

- Prendre une passoire ou filtre et verser le moût au travers pour le récupérer dans un réservoir intermédiaire (on a encore besoin de la cuve pour chauffer).
- Rincer les drêches avec l'eau chaude sans les agiter (en récupérant le moins possible d'impuretés).
- Jeter les drêches et récupérer le « filtrat » dans la cuve destinée à la cuisson.

3. ETAPE DE CUISSON

« L'acidité de la bière est principalement liée au pouvoir tampon des phosphates de la bière surtout au niveau du brassage. Les concentrations sels de calcium, magnésium et en carbonates/bicarbonates influenceront le pH final du moût. Un pH de 5.2 fin ébullition est idéal pour une bonne cassure. La cassure est la coagulation des protéines qui se trouvent dans le moût, elle est obtenue lors de l'ébullition du moût avec le houblon. L'importance de la cassure dépendra de la quantité de protéine qui se trouve dans le malt et donc du type de malt choisi, elle dépendra également du type de houblon, certains permettant une meilleure cassure. »

3.1 ETAPE DE HOUBLONNAGE

- Faire chauffer le moût entre 80 et 110°C (jusqu'à atteindre une ébullition « tranquille »).
- Ajouter le houblon amérisant (quantité dépend du volume de bière) au bout de 15 à 30 min.
- Ajouter le houblon aromatique au bout de 1h15 environ.
- Ecumer tout le long de la cuisson les flocons blanchâtres à la surface (cassures).

3.2 ETAPE DE REFROIDISSEMENT

- Au bout de 1h30 environ, le volume du moût devrait avoir bien diminué. La densité est plus élevée à cause de l'évaporation de l'eau. Il faut maintenant mettre en place le système de refroidissement pour refroidir au plus vite le moût, tout en retirant les particules de houblon (cônes) qui se trouvent à la surface.
- Quand la température est aux alentours de 25°C, on transfère le moût dans la cuve de fermentation et on peut ajouter notre levain. 6g de levure ont été introduite initialement dans le levain. Cette quantité correspond à la base pour environ 10L (selon la densité du moût à 25°C). On pourra donc se passer d'en ajouter plus, sauf dans certaines conditions (volume > 10L ; densité élevée).

4. ETAPE DE FERMENTATION

4.1 GENERALITES

« La fermentation se définit comme étant le phénomène d'oxydation cellulaire d'un substrat organique (ex : sucre) où il y a formation d'énergie lorsque l'oxygène est absent ou non-utilisable (conditions anaérobiques). Ainsi, la fermentation est un des procédés que les levures peuvent utiliser afin de générer l'énergie dont elles ont besoin pour leur métabolisme. Elles utilisent ce procédé sous certaines conditions seulement, c'est-à-dire

comme méthode de rechange lorsque les conditions ne permettent pas l'utilisation de procédés plus énergétiques, comme par exemple la respiration membranaire en présence d'oxygène.

L'utilisation du procédé de fermentation alcoolique par les levures donne lieu au rejet abondant de substrats incomplètement dégradés. Comme son nom l'indique, la fermentation alcoolique entraîne principalement le rejet d'alcool sous forme d'éthanol et du CO₂ dans le milieu où croissent les levures. Il faut cependant noter que 13% d'alcool est le maximum qu'on peut atteindre avec les levures par fermentation, puisqu'au delà de cette limite, les enzymes de la fermentation alcoolique sont inhibées.

Dans le procédé de fabrication de la bière, les levures traversent deux phases, aérobie puis anaérobie. La première phase a pour principal objectif d'augmenter la biomasse des levures. En effet, une certaine quantité de levures inoculées dans un milieu riche en nutriments et en présence d'oxygène passeront rapidement à une phase exponentielle de croissance. Étant donné que nous voulons obtenir un bon rendement en alcool à la fin du processus de fabrication de la bière, il importe que nous ayons une quantité importante de levures qui produiront cet alcool. Il est aussi très important d'avoir une bonne population de levure dès le début, puisqu'on ne voudrait surtout pas que notre milieu riche en nutriments soit colonisé par d'éventuels envahisseurs contaminants.

Toutefois, la phase aérobie n'est pas utile que pour cette raison, car elle permet aussi de préparer les levures à la phase anaérobie. En absence d'oxygène, les levures perdent leur capacité de produire certains composés utiles, voir même essentiels à leur développement (ex : les stérols). Il est donc avantageux pour elles de se préparer à l'avance en prévision de conditions moins favorables ; elles ne font pas exception et sont soumises à la sélection naturelle de l'évolution, c'est la survie des plus avantageés... Ainsi, puisque nous voulons que les levures travaillent longtemps en anaérobie, nous leur permettons, durant la phase anaérobie, de synthétiser assez de composés essentiels.

Rappelons que lorsque l'oxygène n'est plus disponible, les levures n'ont d'autre solution que de soutirer leur énergie des sucres d'une façon différente (fermentation) qu'en présence d'oxygène, ce qui entraîne la formation de divers produits dont l'éthanol et le CO₂. On pourrait comparer ce phénomène à un procédé d'urgence fonctionnel, mais tout de même moins efficace et qui produit plus de " déchets " ou de substrats partiellement dégradés que le procédé habituel qui a fait ses preuves! »

(Extrait d'un site internet très intéressant :

<http://www.chimique.usherbrooke.ca/sherbroue/PROJET/guidebrasse/asbiob.htm>)

Une fois le moûtensemencé, la levure va se multiplier et certains acides vont être excrétés. C'est cette excrétion des acides (citriques, tartriques,...) qui va faire baisser le pH de 5.2 à 4.2. On pourra vérifier que le pH est réduit relativement vite, au cours de la multiplication cellulaire. Une fois le pic cellulaire atteint la levure n'excrète presque plus d'acide et le pH de 4.2 est maintenu. Comme nous avons fermenté à haute température (et avec une aération importante) nous allons multiplier nos levures de façon plus importante, d'ou excrétion plus importante d'ou baisse plus importante du pH.

La saturation de la bière en CO₂ a alors relativement peu d'impact sur l'acidité ou plutôt sur le pH. Un petit test simple, mesurer le pH d'une bière avec CO₂ et de la même bière sans CO₂ (dégazée). La différence est de maximum 0.1 unité de pH.

4.2 CALCULS CONCERNANT L'ALCOOL ET LA BIÈRE

La teneur en alcool, titre alcoométrique volumique ou degré alcoolique représente la quantité d'éthanol dans une solution. C'est le rapport entre le volume d'alcool d'un mélange sur le volume total du mélange (le tout à 20°C). L'unité pour exprimer cette teneur est le degré (noté °) ou le pourcentage volumique (noté %vol). L'eau pure a une teneur nulle en alcool soit 0°. L'alcool pur a un titre de 100°.

La quantité de sucre présente dans le moût avant la fermentation va déterminer la teneur en alcool (et de gaz carbonique) après la fermentation. On peut retenir que le taux d'alcool final vaut en général un peu plus du tiers du degré Plato.

1°P = 1 g de matière sèche soluble (essentiellement le sucre) pour 100 g de moût.

La conversion du degré Plato en densité n'est pas linéaire, cependant une bonne approximation de cette conversion est : 1°P = 4/1000 degrés de densité. Par exemple, une mesure de 12° Plato donne une densité approximative de 1,048 = 1 + 12 × (4/1000).

Une autre formule de calcul plus exacte est :

$$d = 1 + \frac{p}{258.6 - 0.880p}$$

Où p est le degré Plato, d est la densité.

- Teneur en sucre en g/L avant fermentation

$$S = (D_i - D_f) \times 1000 \times 2,5 \quad S : \text{teneur en sucre en g/L}$$

- Teneur en alcool après fermentation

$$A = S / 19 \quad A : \text{teneur en alcool en \%vol}$$

$$A = (D_i - D_f) / 7,6$$

- Quantité de sucre à ajouter avant fermentation pour augmenter le volume de bière

$$s = V \times 20 \times N \quad V : \text{volume en L du moût}$$

$$N : \% \text{vol d'alcool}$$

- Quantité d'eau à ajouter avant fermentation pour diminuer sa teneur potentielle en alcool

$$e = (V \times N) / (A \times N) \quad N : \% \text{vol d'alcool à diminuer}$$

$$A : \text{teneur potentielle en alcool en \%vol}$$

Pour ajouter 1%vol d'alcool, il faut 19 grammes de sucre par litre. Au contraire pour diminuer de 1%vol d'alcool, la quantité d'eau à ajouter par litre de bière est égale à l'inverse du pourcentage d'alcool désiré (ex 5% à 4% = ¼L d'eau environ). Attention, l'ajout d'eau diminuera également la teneur en dextrines et en substances aromatiques et amérisantes !

4.3 FERMENTATION PRIMAIRE

- On ferme la cuve après l'ajout des levures et on la place à 20/22°C.
- Il n'y a rien à faire mis à part peut-être des prélèvements réguliers pour suivre l'évolution du pH, pour faire des observations pour identifier les microorganismes présents. On peut aussi vérifier la production d'alcool un réactif au bichromate de potassium : on mélange 10 g de bichromate de potassium et 10 mL d'acide sulfurique concentré dans 50 mL d'eau. Le réactif vire de l'orange au vert en présence d'éthanol. On peut aussi utiliser un alcootest ou une sonde Exao à éthanol.
- La première fermentation des levures devraient être intense. On devrait observer un fort dégagement gazeux à travers le barboteur.

4.4 FERMENTATION SECONDAIRE (DE GARDE)

- Dès que l'activité du barboteur a diminué (ce qui peut prendre entre 3 à 7 jours), on commence à mesurer la densité et on place la cuve de fermentation au frais (environ 15°C) pendant une semaine minimum (en fonction de la densité).

Durant cette étape, la fermentation est quasi-inexistante, et la bière est plate. Les levures vont se déposer au fond de la cuve et va commencer alors la formation d'ester qui peuvent donner des odeurs comme la pomme, la poire, la banane etc. La bière va également se clarifier et le goût s'affiner.

- La disparition des sucres va entraîner une baisse de la densité. Quand celle-ci atteint une valeur minimale et ne varie plus, on peut soutirer.

5. ETAPE D'EMBOUEILLAGE

- On commence par laver, rincer et stériliser les bouteilles. On peut ouvrir la cuve, et soutirer la bière sans la lie (dépôt des levures au fond la cuve de fermentation) avec le dispositif de soutirage vers les bouteilles.

« Dans l'industrie, la bouteille sera remplie sous pression et il suffira alors d'évacuer l'air de la bouteille en créant une petite mousse (qui débordera de la bouteille) puis on ajoute une goutte de stérilisant et ensuite on peut refermer la bouteille. L'air est en fait à bannir car il peut oxyder la bière et ainsi détériorer son goût. »

5.1 REFERMENTATION

- On ajoute un peu de sucre dans chaque bouteille. On pourra alors constituer une gamme de concentration en sucres allant de 3 à 10g/L. Il est conseillé d'apporter ce sucre sous forme de sirop (dissolution du sucre dans un peu d'eau chaude). Attention de ne pas mettre trop de sucre, la surpression engendrée pourrait faire exploser les bouteilles.
- Capsuler les bouteilles (couleur du bouchon en fonction des caractéristiques du procédé de fabrication).

5.2 CONSERVATION

- Entreposer les bouteilles à moins de 25°C à l'abri de la lumière pendant au moins trois semaines après l'embouteillage.

6. ETAPE FINALE : DEGUSTATION

Voilà maintenant l'instant fatidique. L'ouverture des bières pourra se faire régulièrement, tous les 5 jours par exemple après le mois de remise en refermentation (les temps de fermentation et de refermentation sont vraiment variables mais plus on attend, plus la bière se bonifiera ; par contre plus on attend plus on risque également d'avoir de CO₂ dans la bouteille avant ouverture.

La bière est une boisson noble qui mérite autant d'attention que le vin (surtout quand on sait qu'elle contient plus de 8000 composés différents alors que le vin n'en contient que 2000). Aussi ne doit pas la déguster n'importe comment. Elle doit être reposée et à température. Elle doit être versée doucement, en tenant le verre incliné et en le redressant lentement et progressivement, avec une petite accélération à la fin afin de former un joli col de mousse. La bière doit présenter deux doigts de mousse.

Le verre idéal est un verre à pied, légèrement évasé vers le haut pour y plonger le nez. Chaque bière a son verre. Par élégance, on le présente la marque tournée vers le buveur. Contrairement au vin, il est inutile de le remuer, on ne fera que mousser et éventer la bière pour rien.

Comme pour le vin, il existe un vocabulaire de la bière.

6.1 CONTROLE DE LA PRESSION

C'est la partie la plus facile de l'évaluation. Il suffit d'ouvrir une bouteille en face de M. Hitmi. Si la mousse jaillit partout c'est qu'il y a eu trop de sucre avant l'embouteillage. S'il n'y a même pas un pchit à l'ouverture, c'est qu'il aurait fallu ajouter plus de sucre.

6.2 COULEUR

On définit la couleur d'une bière en termes de robe, on parlera :

- d'une robe dorée ou de reine (bière blonde)
- d'une robe de jeune fille ou de princesse (bière blanche)
- d'une robe de dame patronnesse (brune légère ou ambrée, ce qui devrait être notre cas)
- d'une robe de bure ou encore de moine (brune profonde ou noire)

La couleur du malt (en EBC) va influencer la couleur de la bière finale.

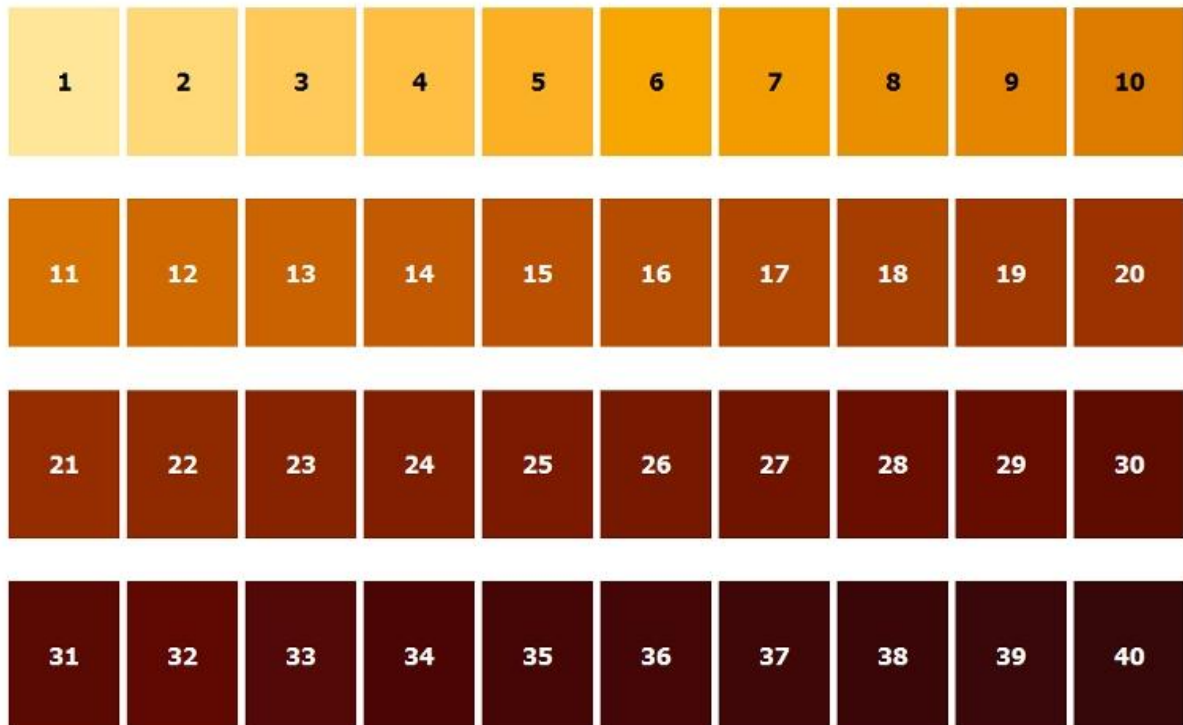
EBC = European Brewing Convention

C'est l'unité européenne de mesure de la couleur de la bière, en opposition à l'unité américaine *SRM = Standard Reference Method*.

La couleur de la bière, sa teinte en SRM, est mesurée par spectrophotométrie à 430nm. La couleur SRM est approximativement égale à 10 fois l'absorbance moyenne, qui est mesurée sur une échelle logarithmique. On peut calculer l'EBC à partir de la SRM en passant par la relation :

$$EBC = 1,97 \times SRM$$

Palette de couleur en SRM :



6.3 APPARENCE

Parlons maintenant de l'apparence. A l'exception des bières blanches qui doivent être troubles, l'apparence d'une bière c'est sa transparence à la lumière qui compte, sa brillance. On parle aussi de clarté.

Le brillant d'une bière sera :

- lumineux (bière blonde)
- profond (bières ambrées et brunes)
- pour les blanches on parlera d'un aspect lacté
- pour les bières refermentées en bouteille et qui contiennent de la lie, on parlera d'un aspect tourmenté

6.4 MOUSSE

Comme vous pouvez le constater la bière dans son vocabulaire est essentiellement féminine. Toujours dans l'aspect visuel, il y a la mousse. On appelle cela la fleur de la bière. Autrefois on nommait aussi le col de mousse, la jarretière.

Si la mousse persiste, on dira de cette bière qu'elle a une « jolie fleur » ou encore une « jarretière de mariée ».

En principe, on peut voir le nombre de gorgées bues pour vider un verre, car chaque gorgée doit laisser une trace mousseuse sur la paroi du verre. On parlera dans ce cas de la dentelle de la bière, en comparaison avec les dentelles de Bruges, de Calais, de Bruxelles ou encore de Caudry ou de Valenciennes.

La dentelle sera :

- riche : mousse compacte
- simple : mousse tenue,
- fine : petites bulles serrées
- ciselée : petites bulles espacées
- grossière : grosses bulles (souvent le signe d'une mauvaise santé de la bière)

6.5 ODEUR

On parlera de verdure, de nez céréalié, de levure, de bouquet caramélisé, ou encore de brûlé. Les termes de froment, blé, pomme ou cidre reviendront également fréquemment. Les nez les subtils définiront parfois le curaçao, la coriandre, le goût de porto, ou encore de menzanilla.

Si les odeurs de blé, pomme, froment ou cidre dominent, on parlera d'un bouquet printanier ou champêtre. Si ce sont les fruits rouges, on dira que c'est un bouquet d'été ou encore vermeil, enfin, si on y trouve du caramel, de la noisette, de la réglisse, ce sera un bouquet d'automne ou de chasse.

Remarquons au passage que ces appellations correspondent à des plats que peuvent accompagner ces bières :

- champêtre : salades, entrées, poissons fins
- vermeil : viandes rouges, poissons gras
- de chasse : gibiers, desserts

6.6 GOUT

Enfin, nous allons goûter notre bière. On appelle cela trousser la bière ou encore lui soulever le jupon.

Une fois qu'on aura goûté la bière, on la fera tourner en bouche pour définir le palais. Suivant qu'on aura eu un nez houblonné, malté ou fruité, ce palais sera tantôt aromatisé, amer, aux nuances d'herbes diverses, ou encore doux ou sec, épicé, au café, ou grillé, ou enfin subtil ou affirmé avec des nuances de citron, de cerise, de framboise, de chocolat, de fumé, de réglisse, de champignon même, ou de calcaire, d'argile, d'ardoise et d'autres sels minéraux.

Sous le jupon se trouve la culotte, du moins en principe. Aussi pourra-t-on s'amuser à définir le palais d'une bière en termes de culotte. Ainsi on dira d'une bonne bière qu'elle a de la culotte ou encore qu'elle est bien culottée.

Elle sera :

- courte de culotte ou longue si le palais est court ou long
- elle aura une culotte tannée s'il est affirmé ou de caractère
- une culotte de velours si la bière est moelleuse ou particulièrement ronde et parfumée
- si l'amertume prédomine fortement, on pourra parler d'une culotte de belle-mère
- si elle a un petit arrière-goût aigre ou suri en revanche, on qualifiera cette culotte de pucelle, ou encore de vieille fille (comme vous voudrez)

Après avoir avalé, nous déterminerons le fini de notre bière, c'est-à-dire sa persistance en bouche : courte, longue, avec un arrière-goût ou non, etc.

Enfin, nous pourrions discuter ensemble de cette bière en référence à d'autres bières ou en référence à des bières de même type, nous parlerons alors de classification, de fidélité au style et bien sûr c'est là qu'interviendra le goût personnel de chacun.

Il se peut parfois que la bière, même en bouteille, ait un goût de fer, un goût oxydé. Dans ce cas, on dira qu'elle est mordue (comme on dit d'un vin qu'il est bouchonné) et on évitera de la boire.

Je tiens quand même à rajouter que tous ces termes ne sont pas des blagues, c'est bel et bien le langage employé pour parler du goût de la bière. M. Favre sera sûrement ravi d'entendre ce vocabulaire, lui qui est si poète...

6.7 DEFECTS 'ASPECTS DE LA BIÈRE

6.7.1 TROUBLE IMPORTANT

Un trouble important est lié à la présence de protéines en trop grande quantité. Il existe plusieurs sources de trouble :

- Trouble permanent : trop de protéines, dû à un excès de malt par exemple, à un palier protéique trop court ou encore à une mauvaise filtration après cuisson.
- Trouble à froid : ce trouble est dû à la coagulation des protéines avec certains composés du houblon, il se résorbe dès que la bière monte en température pour disparaître à température ambiante, moins gênant que le précédent, la solution est de tenter d'abaisser le taux de protéines en prolongeant le palier protéique.
- trouble dû aux levures : l'emploi de levure poussiéreuse pose souvent le problème de leur floculation, une mise à température basse (> 5°C) pendant quelques jours de la cuve de fermentation avant l'embouteillage améliore grandement leur décantation, ainsi que celle des protéines du trouble à froid.
- Trouble dû à l'amidon : un peu d'amidon a été solubilisé pendant un lavage des drêches trop chaud, il se retrouve dans la bière finie et provoque la formation d'un voile. Il faut éviter de faire un lavage à plus de 80°C.

6.7.2 BIÈRE TROP FONCÉE

Généralement dû à une caramélisation pendant l'ébullition, ou une oxygénation trop importante du moût chaud. La caramélisation se produit avec des ébullitions fortes et des moûts de densité élevée. Réduire l'ébullition si on a une densité élevée (>1,050 ; 12.5 Plato), et éviter de faire pénétrer de l'air dans un moût présentant une température supérieure à 30°C.

6.7.3 BIÈRE TROP CLAIRE

Augmenter le pourcentage de malt coloré, quelque pour cent de malt chocolat (0,5 à 2% du total) peuvent nettement améliorer une couleur trop claire, sans pour autant être perceptible au goût.

6.7.4 BIÈRE AYANT UNE FAIBLE TENUE DE MOUSSE

La tenue de mousse est influencée par les protéines, qui en sont le principal constituant, un palier protéique trop prolongé (> 30mn) peut réduire dramatiquement le taux nécessaire à une tenue de mousse correcte. Réduire le palier protéique, augmenter le pourcentage de malt spéciaux, ou ajouter un faible pourcentage de grain cru (non malté).

Une autre possibilité est une trop faible carbonation pour former une mousse convenable. Augmenter le sucre à l'embouteillage.

6.7.5 DEPOT DE LEVURE IMPORTANT

Un dépôt de levure important dans la bouteille après la re-fermentation (> 0.5 mm) peut avoir plusieurs origines :

- période de garde trop courte : les levures n'ont pas eu le temps de décanter vers le fond de la cuve de fermentation, la fermentation secondaire n'était pas finie, la solution est de prendre le temps d'achever la garde.
- la cuve de fermentation a été remuée lors du transvasement vers l'embouteillage : remettre la cuve au froid pendant quelques jours, et agir avec précaution.

6.7.6 BIERE AQUEUSE

Les bières n'ayant pas assez de corps sont généralement dues soit à un trop grand ajout de sucre (bière de kit), soit à un palier de saccharifications trop long. Dans le premier cas, remplacer avantageusement le sucre par environ 2 fois son poids d'extrait de malt, pour le second, réduire le palier, ou employer des malts spéciaux, notamment les malts de type caramel.

6.7.7 RE-FERMENTATION DIFFICILE

Une re-fermentation en bouteille difficile peut être due à un manque de levure, par exemple, la levure 1968 London Ale II, E.S.B de wyeast est réputée pour causer des problèmes de re-fermentation, elle est si flocculente qu'il n'y en a plus assez pour faire reprendre la fermentation. La solution est d'ajouter un peu de levure fraîche, 5 à 10g /10L, à l'embouteillage, et préférer une levure poussièreuse pour cette opération, elle ne provoquera pas de dépôt (peu appétissant en fond de bouteille). Il est aussi possible que la température soit insuffisante, ne pas hésiter à mettre les bouteilles dans une pièce chaude (minimum 20°C, 25°C étant l'idéal).

6.7.8 SUR-CARBONATION OU GUSHING

À l'ouverture de la bouteille, la moitié de nos bières se répand sur la moquette en un jet incontrôlé comme dans les mauvais films d'horreur, arrosant généreusement au passage M. Hitmi qui vous reprochait déjà d'entraîner ses élèves dans des expériences douteuses. Cette sur-carbonation peut avoir plusieurs raisons :

- Trop de sucre à l'embouteillage : contrôlez la quantité de sucre que vous avez mis à l'embouteillage, réduisez celle-ci si elle est trop importante.
- Fermentation secondaire non terminée lors de l'embouteillage : votre bière contient encore des sucres issus du brassage, sucres qui fermenteront en bouteille, respectez un temps de garde assez long, deux semaines sont souvent un minimum.
- Infection du malt par le *Fusarium Graminearum* : assez rare, cette infection par un champignon est contractée en malterie, la seule solution est de faire échanger le malt contaminé. Il est à noter que les malteries surveillent de très près ce type d'infection.

Annexe

Les paliers de température

(tiré d'un site sur la brassage amateur)

Dans ce chapitre, nous allons voir l'influence de la température sur l'action des enzymes responsables de la transformation du moût pendant le brassage.

QUE SE PASSE-T-IL PENDANT LE BRASSAGE DU MOUT DE BIERE

Pendant le **maltage**, l'orge a développé des enzymes, enzymes qui aurait dut permettre a la jeune plante de croître en puisant dans les réserves d'amidon constituant la majorité du grain. Ces enzymes ont la particularité d'être pratiquement inactives à température ambiante et faible taux d'humidité.

Les principales enzymes intervenant lors du brassage sont les **amylases alpha** et **amylase beta**, ainsi que les **protéinases**.

Vous noterez que ces températures sont des optimums d'efficacité, ce qui ne veut pas dire qu'en dehors de ces plages, il n'y a pas d'action.

Le brassage va permettre de transformer l'amidon en sucre plus simple, assimilable par les levures, et selon la température choisie, de favoriser un type de sucre.

EMPATTAGE - PALIER PROTEINIQUE (PROTEIQUE)

Température : 45°C à 55°C

ph : 3.8 à 5.3

enzyme : protéinase (peptidase et protéase)

durée : 10 à 30 minutes

Ce palier, aussi appelé **relais d'albumine** permet la transformation des protéines complexe non soluble du malt, en acide aminé et protéine simple, qui constitueront les aliments pour la levure durant la fermentation.

Il permet de rompre une bonne partie des protéines responsable du trouble de la bière. Il a surtout de l'intérêt avec des malts peu transformés, comme les malts allemand, il est par contre d'une faible utilité, voir nuisible pour la tenue de mousse et le corps de la bière avec l'utilisation de malt transformé (majorité de la production actuelle), ce palier ayant déjà été en partie effectué lors du processus de maltage.

PALIER DE SACCHARIFICATION

Formation des sucres fermentescible

Température : 55°C à 65°C

ph : 5 à 5.5

enzyme : amylase beta

durée : 30 à 60 minutes

Ici, les amylases entre en action, déstructurant les longues et complexes molécules de l'amidon (l'amidon $C_6H_{10}O_5^n$ est un sucre complexe, composé de 500 à 20 000 molécules de glucose $C_6H_{12}O_6$) en molécule plus simple de maltose. C'est ce maltose qui sera transformé par la suite en gaz carbonique CO_2 et alcool C_2H_5OH par l'action des levures lors de la fermentation.

En jouant sur la durée de ce palier, on peut adapter le taux de sucre fermentescible/sucre non fermentescible afin d'équilibrer la bière.

Cette action a lieu en symbiose avec l'amylase alpha, qui prédécoupe les chaînes d'amidon pour former les dextrines, en effet, l'amylase beta est incapable de transformer complètement la chaîne d'amidon, ne pouvant s'attaquer qu'aux extrémités de celle-ci.

L'amidon fait virer au violet sombre l'iode. On utilise cette propriété pour savoir si l'on a atteint la fin de la saccharification, en prélevant un peu de moût que l'on additionne de quelques gouttes d'iode.

- l'échantillon ne se colore pas, ou est légèrement rougeâtre : la saccharification est complète.
- l'échantillon vire au bleu/violet : la saccharification est incomplète, prolongez votre palier.

/!\ jetez votre échantillon, l'iode est toxique /!

Formation des sucres non fermentescible

Température : 68°C à 72°C
ph : 5.3 à 5.7
enzyme : amylase alpha
durée : 30 à 90 minutes

A ces températures, l'amylase beta se dénature, ne laissant plus que l'amylase alpha en action, on a donc une formation accrue de dextrine, qui favoriseront le corps de la bière. Ces dextrines **érythro-dextrine** ont le pouvoir de faire virer au rouge l'iode.

PALIER D'INHIBITION ENZYMATIQUE

Température : ~ 80°C
durée : 10 à 15 minutes

Ici, toutes les enzymes sont détruites (une enzyme étant une protéine agissant comme catalyseur d'une réaction chimique, et non pas de petits organismes vivants, comme a tenté de nous le faire croire, une célèbre marque de lessive).

En détruisant les enzymes, on permet à notre brassin de subir la période de lavage sans occasionner de transformation dans l'équilibre acquis précédemment, l'augmentation de la température a aussi pour effet de solubiliser les sucres, améliorant ainsi le rendement du brassage, et facilitant le lavage des drêches.

On veillera toutefois à ne pas dépasser les 80°C, au dessus, on risque de solubiliser des restes d'amidon non transformé, qui provoquera un trouble permanent de la bière, et d'extraire les tannins des drêches, qui auront pour effet de donner de l'astringence.

SOMMAIRE

Partie I : Descriptif du matériel et des matières premières	1
1. Matériel	1
2. Mélange de malt	3
2.1 Malt de base	3
2.2 Malts additionnels	3
2.2.1 Malt caramel	3
2.2.2 Malt torréfié.....	4
2.3 Calculs des quantités de malts pour le mélange	4
3. Houblon.....	5
4. Levure.....	8
4.1 Choix de la levure	8
4.2 Infections de la bière.....	9
5. Eau.....	11
5.1 Caractéristiques	11
5.2 Traitements	15
5.3 Choix de l'eau	16
5.3.1 L'eau courante	16
5.3.2 L'eau minérale.....	16
5.2.3 L'eau osmosée ou distillé	17
Partie II : Réalisation de la bière	17
1. Préparatifs.....	17
1.1 Levain.....	17
1.2 Pesée et concassage du malt.....	18
1.3 Stérilisation	18
2. Etape d'Empattage.....	18
2.1 Introduction	18
2.2 En Pratique	20
2.3 Etape de Filtrage.....	21
3. Etape de Cuisson	21
3.1 Etape de Houblonnage	21
3.2 Etape de Refroidissement.....	21
4. Etape de Fermentation	21
4.1 Généralités	21
4.2 Calculs concernant l'alcool et la bière	23
4.3 Fermentation Primaire	24

4.4	Fermentation Secondaire (de Garde)	24
5.	Etape d'Embouteillage	24
5.1	Refermentation	24
5.2	Conservation	25
6.	Etape finale : Dégustation	25
6.1	Contrôle de la pression	25
6.2	Couleur	25
6.3	Apparence	26
6.4	Mousse	26
6.5	Odeur	27
6.6	Goût	27
6.7	Défaut 'aspects de la bière	28
6.7.1	Trouble important	28
6.7.2	Bière trop foncée	28
6.7.3	Bière trop claire	28
6.7.4	Bière ayant une faible tenue de mousse	28
6.7.5	Dépôt de levure important	29
6.7.6	Bière aqueuse	29
6.7.7	Re-fermentation difficile	29
6.7.8	Sur-carbonation ou gushing	29
	Que se passe-t-il pendant le brassage du moût de bière	30
	Empattage - palier protéinique (protéique)	30
	Palier de saccharification	30
	Palier d'inhibition enzymatique	31