

COURS DE TECHNIQUES BRASSICOLES

POUR LA FORMATION APPROFONDIE

Dr Ir A. Debourg

Chargé de cours

Département de malterie, brasserie et industrie de fermentation

Institut Meurice

1, Avenue E. Gryson

B-1070 Bruxelles

Belgique

SOMMAIRE

CHAPITRE 1 : LES MATIÈRES PREMIÈRES.....	5
1. <i>L'orge.....</i>	5
2. <i>Les grains crus.....</i>	11
3. <i>Le Houblon.....</i>	13
4. <i>L'eau.....</i>	17
5. <i>Traitements de l'eau.....</i>	21
CHAPITRE 2 : LE BRASSAGE.....	24
1. <i>But du brassage.....</i>	24
2. <i>Les transformations au brassage.....</i>	25
3. <i>Préparation de la mouture.....</i>	28
4. <i>L'empâtage.....</i>	31
5. <i>Les méthodes de brassage.....</i>	31
6. <i>Le traitement des grains crus.....</i>	33
7. <i>Le choix de la méthode de brassage.....</i>	33
8. <i>Brassage à haute densité.....</i>	34
9. <i>Les installations de brassage.....</i>	34
CHAPITRE 3: LA FILTRATION DU MOÛT.....	35
1. <i>Théorie et principes.....</i>	35
2. <i>La cuve-filtre.....</i>	36
3. <i>Le filtre à moût.....</i>	36
4. <i>Le filtre 2001.....</i>	37
CHAPITRE 4: ÉBULLITION DU MOÛT.....	38
1. <i>Buts de la cuisson du moût.....</i>	38
2. <i>Les transformations lors de l'ébullition du moût.....</i>	40
3. <i>Méthodes d'ébullition du moût.....</i>	41
4. <i>Le houblonnage.....</i>	43
5. <i>Acidification à l'ébullition.....</i>	43
CHAPITRE 5: TRAITEMENT DU MOÛT.....	44
1. <i>Clarification du moût.....</i>	44
2. <i>Refroidissement du moût.....</i>	44
CHAPITRE 6: LA FERMENTATION.....	47
1. <i>Notions fondamentales sur les levures.....</i>	47
2. <i>Les transformations pendant la fermentation.....</i>	51
3. <i>Conduite de la fermentation.....</i>	54
CHAPITRE 7: LA GARDE.....	60
1. <i>Les objectifs de la garde.....</i>	60
2. <i>Les transformations pendant la garde.....</i>	60
3. <i>La conduite de la garde.....</i>	61
4. <i>Contrôle de la garde.....</i>	61
CHAPITRE 8: LA FILTRATION DE LA BIÈRE.....	62

1. Buts de la filtration.....	62
2. Conduite de la filtration.....	62
3. Traitement de stabilisation.....	65
.....	67
CHAPITRE 9: CONTRÔLE MICROBIOLOGIQUE EN BRASSERIE.....	68
1. Introduction.....	68
2. Les principaux risques d'infection au cours de la fabrication.....	68
3. Les principaux micro-organismes contaminants en brasserie.....	69
4. Nettoyage et stérilisation en brasserie.....	69
5. Moyens mécaniques de nettoyage.....	70
CHAPITRE 10: CONTRÔLES DE QUALITÉ.....	72
1. Analyse du malt.....	72
2. Analyse du houblon.....	73
3. Analyse de la bière.....	73
Bibliographie.....	76
Autres livres dans la même collection.....	78

CHAPITRE 1 : LES MATIÈRES PREMIÈRES

1. L'ORGE

1.1. CARACTÉRISTIQUES

Dans nos pays et de nombreux autres, la matière de base de la fabrication de la bière est l'orge.

L'orge est choisie en malterie principalement parce que :

- son grain est vêtu, les pellicules pailleuses adhèrent au grain et protègent le germe ;
- sa composition azotée répond aux exigences du malteur et du brasseur ;
- l'orge germe facilement et rapidement ;
- l'orge germée est riche en enzymes qui facilitent le brassage ;
- c'est une céréale qui croît facilement et à des latitudes très différentes ;
- le rendement en malterie est élevé ;
- la filtration du moût est améliorée par les enveloppes pailleuses.

Il y a cependant 2 inconvénients à l'utilisation de l'orge.

C'est une matière première riche en polyphénols et en bêta-glucanes ce qui peut conduire à des difficultés sur le plan de la stabilité colloïdale et de la viscosité.

On distingue deux grandes espèces :

- les orges à 2 rangs (*Hordeum disticum*) ;
- les orges à 6 rangs (*Hordeum hexasticum*).

L'orge à 2 rangs est le plus apprécié en brasserie et il existe de l'orge d'hiver et de printemps.

1.2. COMPOSITION DU GRAIN

Le grain d'orge est une matière complexe contenant :

- une plantule complète : l'embryon ;
- une réserve de matières nutritives : l'endosperme ;
- une couche périphérique de cellules capables de former des enzymes hydrolytiques : la couche aleurone ;
- une membrane semi-perméable : le péricarpe-testa ;
- une paroi extérieure pailleuse.

1.2.1. L'ENDOSPERME

L'endosperme comprend 3 polymères dont la structure va se modifier au cours du maltage.

Les bêta-glucanes: Composants de la paroi des cellules endospermiques.

Les protéines de réserve: La composition protéique de l'orge est le résultat de conditions génétiques et environnementales.

Les protéines influencent non seulement la saveur de la bière et la stabilité de la mousse, mais elles affectent aussi la turbidité et la filtration du moût.

L'amidon: L'amidon est le constituant majeur de l'endosperme de l'orge. Il est formé de deux polymères, l'amylose et l'amylopectine et représente 50 à 70 % du poids sec du grain. A maturité, l'endosperme de l'orge est constitué de granules d'amidon de 2 tailles :

- larges granules d'amidon de 25 µm ;

- petits granules d'amidon de 5 mm.

Les granules d'amidon ont une structure semi-cristalline en lamelles.

1.2.2. LA COUCHE ALEURONE

Il s'agit d'une triple couche de cellules spécialisées dans la synthèse, lors de la germination, d'enzymes hydrolytiques qui vont solubiliser les polymères dans l'endosperme.

1.2.3. L'EMBRYON

L'embryon et l'endosperme se sont développés de manière indépendante et ont donc une composition chimique différente.

En effet, l'embryon ne contient pas d'amidon, mais un substrat respiratoire qui est le saccharose. Il en va de même pour les protéines qui, contrairement aux polymères de réserve de l'endosperme, sont des protéines de structure.

Le besoin ultérieur d'énergie de l'embryon lors de la germination induit une action conjointe de l'embryon et de la couche aleurone pour hydrolyser les cellules de l'endosperme.

1.2.4. LA PAROI EXTERNE

Elle entoure complètement le grain sauf aux 2 extrémités. Elle doit être intacte pour permettre une absorption d'eau homogène lors du trempage et protéger l'embryon des infections pendant la germination.

Elle représente $\pm 3\%$ du poids du grain et entoure la totalité du grain.

Le péricarpe est une membrane semi-perméable et le testa contient beaucoup de substances phénoliques telles que les proanthocyanidines qui sont impliquées dans le trouble colloïdal de la bière.

1.3. LA PHYSIOLOGIE DE LA GERMINATION DE L'ORGE

Au cours du maltage, le grain d'orge est transformé en malt friable sous l'action de différents enzymes.

Outre cette désagrégation des parois des cellules endospermiques, il faut également former les enzymes qui permettront la solubilisation des matières premières de réserve du grain lors du brassage.

Immédiatement après la récolte, l'orge est incapable de franchir l'ensemble des barrières qui empêchent la germination : une telle orge se trouve en dormance.

Il convient avant tout de conserver la vitalité de l'orge pendant cette période, d'où l'importance de disposer de techniques appropriées de stockage de l'orge qui doit être conservée à une humidité d'environ 10 à 12%.

1.3.1. TRANSFORMATION MORPHOLOGIQUES AU MALTAGE.

Pendant la germination, l'embryon se développe, les radicules poussent. Elles seront perdues après le maltage et représentent donc une perte. Il s'agit donc d'arrêter la germination lorsque les transformations seront suffisamment avancées pour permettre un brassage aisé.

1.3.2. FORMATION DES ENZYMES HYDROLYTIQUES

Bien que l'embryon puisse survivre avec ces propres réserves pendant un certain temps, il faudra fournir des sucres, des acides aminés et des sels minéraux dans le cas d'une croissance prolongée.

Pour couvrir ces besoins, il faudra dépolymériser les réserves endospermiques, principalement l'amidon, les bêta-glucanes et l'hordéine à l'aide d'enzymes appropriés.

Les produits de dégradation ainsi formés seront ensuite absorbés par l'embryon et utilisés pour la respiration et la synthèse cellulaire.

Dans le cadre du maltage, les points importants sont les suivants :

- diminuer au maximum les pertes par respiration ;
- favoriser la formation d'enzymes tels que les bêta-glucanases et les peptidases qui sont essentiels pour la désagrégation du grain ;
- synthèse d'alpha et bêta-amylase pour l'utilisation du malt au brassage.

La synthèse de nombreux enzymes hydrolytiques du malt est sous contrôle hormonal. L'acide gibbérellique est l'une de ces hormones synthétisées par l'embryon et qui active les cellules aleurones.

1.3.3. MODIFICATION DE L'ENDOSPERME

Le terme de modification est utilisé pour décrire le résultat des changements dus aux enzymes et qui transforment le grain d'orge en malt friable.

- Dégradation des parois cellulaires.

Les parois sont formées d'un polymère principal, les bêta-glucanes qu'il convient de dégrader pour permettre la solubilisation de l'endosperme.

- La protéolyse

L'hydrolyse des protéines de réserve de l'endosperme fournit l'azote aminé libre et l'azote soluble.

- L'amylolyse

L'alpha-amylase est le seul enzyme impliqué dans la dégradation des granules d'amidon.

Bien que présente dans l'endosperme, la bêta-amylase n'a pas d'effet sur les granules d'amidon intact.

Les produits de dégradation de l'action de l'alpha-amylase, les dextrines, sont soumis à la bêta-amylolyse pour former un mélange de dextrines, glucose, maltose et maltotriose.

Tous ces sucres sont dès lors disponibles pour le métabolisme de l'embryon. Entre 15 et 18 % de l'amidon de l'orge est ainsi solubilisé au cours du maltage.

1.4. LES GRANDES PHASES DU MALTAGE

Au cours du maltage, le grain d'orge est transformé en malt friable sous l'action de différents enzymes.

Outre cette désagrégation des parois des cellules endospermiques, il faut également former les enzymes qui permettront la solubilisation des matières premières de réserve du grain lors du brassage.

Trempage de l'orge

Il faut déclencher les activités vitales du grain et à cet effet, simuler les conditions de la semence dans le sol c'est-à-dire apporter de l'air, de l'eau et de la chaleur.

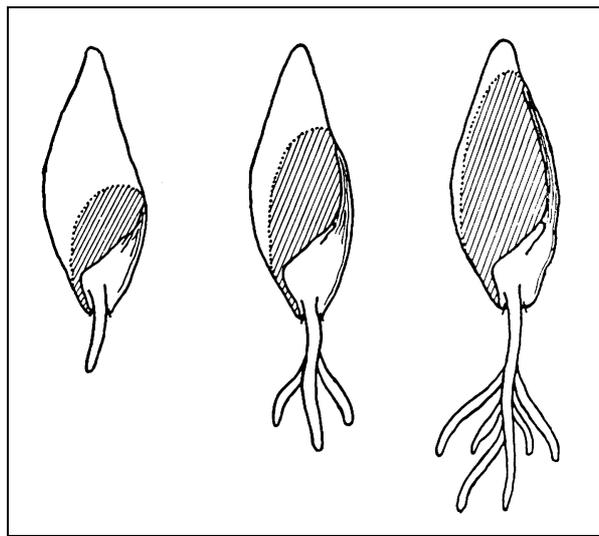
Ce sont ces 3 facteurs qui vont contrôler le trempage et la germination.

Le trempage est une opération essentielle dont la conduite déterminera le déroulement de toutes les opérations ultérieures du maltage.

Pour que les transformations nécessaires s'opèrent au cours du maltage, il faut arriver à une teneur en eau de l'ordre de 45 %.

Lors du trempage, il convient d'aérer convenablement les grains d'orge.

Germination de l'orge



Grains d'orge après 3 jours, 5 jours et 8 jours

Les principes généraux de la technique de germination sont :

- bien désagréger l'endosperme du grain ;
- obtenir cette transformation essentielle en perdant le moins possible de substances utiles par la respiration et par le développement des racelles ;
- formation suffisante d'enzymes hydrolytiques qui permettront la dissolution du contenu du grain lors du brassage (alpha et bêta-amylases, protéases).

Il s'agit donc d'abord de combattre une augmentation de la température car les transformations seraient trop importantes.

De plus, l'acide carbonique qui résulte de la respiration va s'accumuler dans les couches de grains et empêcher la respiration normale entraînant un risque d'étouffement.

Il est donc indispensable d'aérer le grain. Pour cette aération, on emploie de l'air froid, de cette manière, on combat en même temps l'élévation de température.

Mais, une fois les enzymes formés, il est inutile de continuer à aérer, car pour exercer leur action, les enzymes n'ont plus besoin d'oxygène et la désagrégation peut se poursuivre en l'absence d'air. L'aération ne provoque alors qu'une perte inutile.

Tourailage du malt vert

Lorsque le malt est désagrégé à point, il faut arrêter la germination en le séchant.

Pour arrêter complètement l'action des enzymes, et donc bien fixer les propriétés du malt, son humidité doit être inférieure à 5 %.

Pour atteindre une telle dessiccation, il faut chauffer le malt à des températures assez élevées en veillant toutefois à ne pas détruire totalement les enzymes.

Communiquer au malt le goût approprié est une question plus complexe. Celui-ci provient de réactions chimiques qui se produisent à haute température entre les sucres et les acides aminés donnant des produits colorés et aromatiques.

Cependant, on ne peut pas manoeuvrer comme on veut avec l'humidité et la température parce qu'il faut respecter les enzymes. Ils résistent d'autant mieux à une élévation de température que le malt est plus sec.

Or, au tourailage, on atteint toujours 80°C. Il faut donc attendre que le malt soit sec lorsqu'on élève la température au-dessus de 50°C.

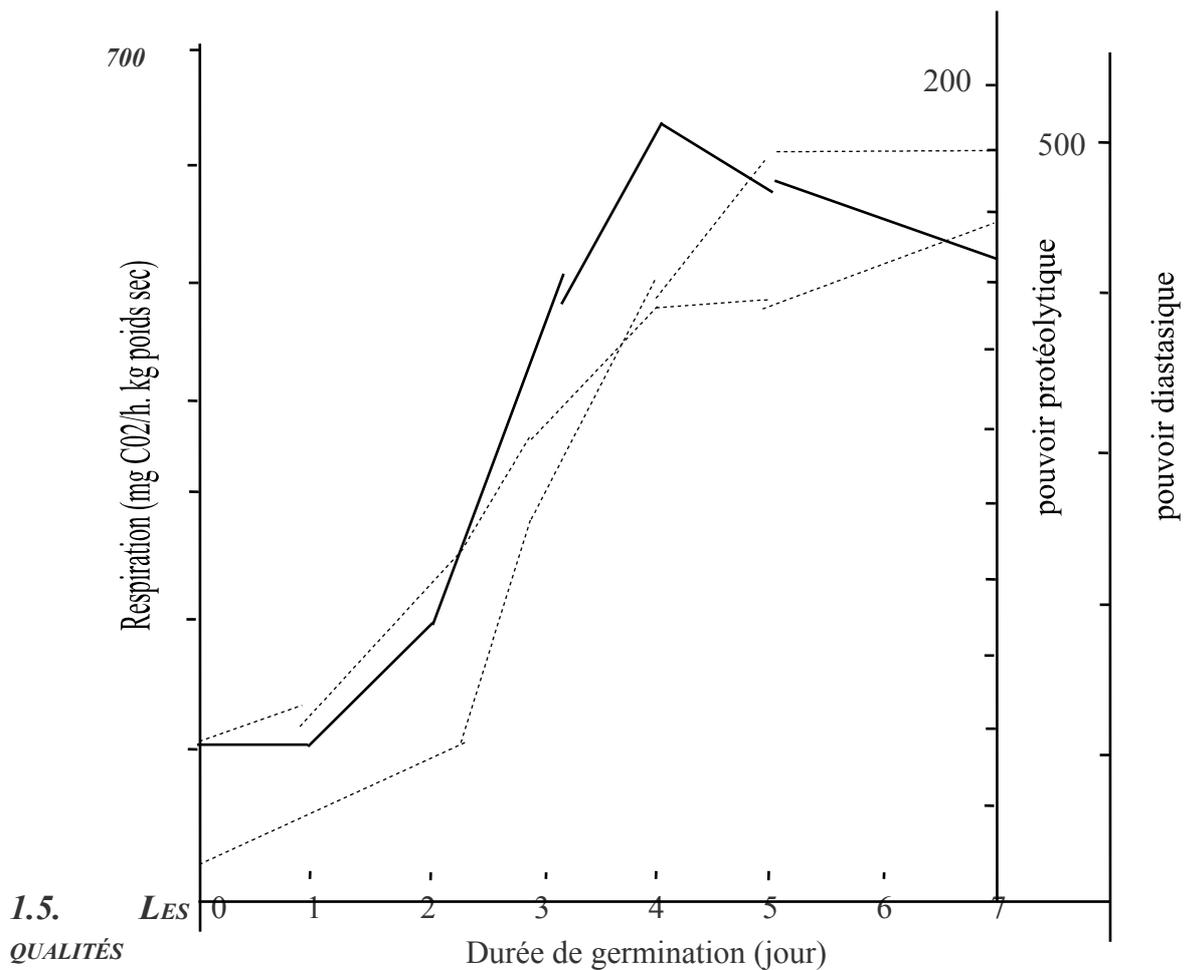
Une autre raison interdit d'élever la température lorsque le malt est encore humide : il deviendrait alors vitreux par gélification de l'amidon qui serait, dès lors, difficile d'extraire au brassage. On doit donc distinguer deux phases dans le tourailage :

- la phase de dessiccation : pendant laquelle les dédoublements enzymatiques se poursuivent encore et qui peut être considérée comme une continuation de la germination.
- le chauffage du malt sec (coup de feu) : pendant lequel il ne se produit que des réactions chimiques entre les composants du malt.

Dégermage du malt

Le malt touraillé doit être bien débarrassé de ses radicules qui sont fort hygroscopiques et empêchent un bon stockage du malt à une humidité d'environ 5 %.

Le malt est ensuite stocké dans des silos à l'abri de l'humidité jusqu'à utilisation en brasserie.



1.5. LES
QUALITÉS
BRASSICOLES
DE L'ORGE
DANS
L'AVENIR

Respiration et formation d'enzymes pendant la germination.

____ Courbe de respiration

..... Courbe de pouvoir diastasique

----- Courbe de pouvoir protéolytique

(d'après Briggsetel, 1982)

A l'heure

actuelle, les impératifs commerciaux exigent des malteurs et des brasseurs qu'ils utilisent des procédés rapides à haut rendement. C'est la raison pour laquelle il est essentiel que les orges puissent être maltées rapidement pour donner un malt sans problème en brasserie.

Les exigences de l'orge sont :

- résistance aux maladies réduisant, par là, la nécessité de fongicides et pesticides ;
- faible accumulation de protéines ;
- bonne adhérence de l'enveloppe au grain pour une bonne protection physique ;
- rapide absorption d'eau ;
- faible teneur en bêta-glucanes. Ceci est nécessaire à la destruction rapide des parois cellulaires ;
- désagrégation équilibrée des protéines et de l'amidon ;
- grande homogénéité de germination.

2. LES GRAINS CRUS

Il y a deux raisons à l'utilisation des grains crus en brasserie.

Ceux-ci sont une matière première moins chère que le malt et, de plus, ils permettent de réduire l'azote soluble contenu dans le moût. Ceci permet d'obtenir des bières plus stables au point de vue du vieillissement.

2.1. LES DIFFÉRENTS TYPES

De nombreuses sources d'amidon peuvent être utilisées comme matière première en brasserie de même que des sirops sucrés d'origines diverses.

Le maïs et le riz sont les céréales les plus utilisées en Europe. Il y a lieu de classer les additifs comme suit :

- les additifs solides : maïs, riz, sorgho, orge, froment, flakes de céréales, farines ;
- les additifs liquides : sirop de maïs, sirop de froment, sirop d'orge, sirop de sucre.

2.1.1. LES ADDITIFS SOLIDES

Le maïs

Il est utilisé sous forme de grits obtenus par broyage de l'endosperme des grains de maïs. Il est en effet important d'éliminer le germe, celui-ci contenant beaucoup d'huile.

Le riz

Les brisures de riz utilisées en brasserie sont un sous-produit de la production de riz pour la consommation humaine.

En effet, au cours du conditionnement du riz, de nombreux grains sont cassés et ne peuvent être vendus comme riz alimentaire.

Le sorgho

Il s'agit d'une céréale très répandue en Afrique.

Les premiers essais d'utilisation du sorgho comme grains crus n'ont eu que peu de succès étant donné que cette céréale contient énormément de polyphénols dans ses pailles. Ceci conduisant à des bières de moindre qualité. Cependant, la sélection de nouvelles variétés et l'amélioration des techniques de broyage permettent aujourd'hui une utilisation du sorgho en brasserie.

Les flakes de céréales

Les céréales sont ramollies par contact avec de la vapeur et l'amidon est empesé. Ensuite ce lait d'amidon est conditionné en flakes et séché. L'amidon ayant été modifié au cours du procédé de fabrication de ces flakes, il peut être directement attaqué par les enzymes du malt lors du brassage.

Un procédé plus récent permet également d'obtenir des flakes par chauffage à 140°C des grains grâce à un rayonnement infrarouge.

2.1.2. LES ADDITIFS LIQUIDES

Le saccharose et son produit d'hydrolyse, le sucre inverti, sont largement utilisés dans l'industrie brassicole.

Une autre source de sucre sont les sirops obtenus par hydrolyse enzymatique de l'amidon de différentes céréales.

L'avantage de ces sirops est qu'ils ont une composition parfaitement contrôlée et qu'ils peuvent donc servir à corriger la composition du moût.

2.2. IMPACT SUR LE PRODUIT FINI

La composition hydrocarbonée du moût peut être ajustée comme suit :

- sélection de l'additif : solide ou liquide ;
- étude de la composition chimique de l'additif ;
- modification des opérations de brassage ;
- utilisation d'enzymes commerciaux au brassage ;
- la proportion d'additifs utilisés.

La composition lipidique des additifs est très importante étant donné l'influence négative des lipides sur la stabilité organoleptique de la bière ainsi que sur la mousse.

Il faut également tenir compte du fait que l'utilisation de grains crus entraîne une dilution de l'azote alpha-aminé présent dans le moût, ce qui pourrait réduire l'activité de la levure pendant la fermentation.

Enfin, les additifs utilisés aujourd'hui dans l'industrie brassicole n'apportent pas de polyphénols supplémentaires. Les bières ainsi produites, avec une certaine quantité de grains crus, sont plus pâles mais ont une meilleure stabilité colloïdale et organoleptique.

2.3. ADAPTATION DU PROCÉDÉ SUITE À LEUR UTILISATION

L'utilisation de grains crus ou de grits implique une opération supplémentaire en salle de brassage.

Il faut tout d'abord empeser l'amidon par cuisson pour le rendre attaquant par les enzymes hydrolytiques.

On mélange donc les grains crus à environ 5 % de malt et on chauffe à une température comprise entre 80°C et 100°C. L'amidon est ainsi empesé et partiellement dégradé et liquéfié. Cette maische de grains crus est alors pompée et mélangée à celle de malt où se poursuit la dégradation de l'amidon.

Dans le cas où l'addition de matières amylosées se fait sous forme de flakes, il n'y a plus lieu de faire une maische séparée pour empeser l'amidon. En effet, celui-ci a déjà été transformé lors du procédé de fabrication de ces flakes.

De plus, l'utilisation d'enzymes commerciaux en salle de brassage facilite l'emploi de matières amylosées en remplacement d'une partie du malt.

Ainsi des alpha-amylases d'origine bactérienne peuvent être ajoutées à l'empâtage pour faciliter la dégradation de l'amidon lorsque des céréales non germées sont utilisées.

De plus, des problèmes de viscosité et de filtration peuvent être résolus par addition de bêta-glucanases.

3. LE HOUBLON

3.1. DESCRIPTION ET CULTURE

Le houblon *Humulus lupulus* est une plante vivace de la famille des cannabinaées. Enfoncée dans le sol, la souche, qui peut vivre plus de 50 ans, donne chaque année au printemps des pousses qui s'enroulent progressivement autour d'un support vertical. Ces tiges peuvent atteindre 7 à 10 m de hauteur.

Le houblon est une espèce dioïque (fleurs mâles et fleurs femelles poussant sur des plants distincts) dont seuls les pieds femelles sont cultivés. Les fleurs femelles sont disposées en "cônes" et chacun de ces cônes est formé de folioles disposées autour d'un axe central. A la base des bractées les plus fines, des glandes sécrètent une résine, la LUPULINE.

Celle-ci est riche en résines amères et en huiles essentielles. Les huiles donnent l'arôme, tandis que les résines sont responsables de l'amertume communiquée à la bière.

Les folioles contiennent également des substances tanniques, qui jouent un rôle dans le processus de clarification de la bière.

La chimie du houblon est d'une extrême complexité. Les acides alpha qu'il renferme, appelés aussi humulones ont une importance particulière.

Sur le continent européen, on a proscrit le houblon sauvage mâle et on a procédé à son extermination.

Cependant, en Grande-Bretagne, la fécondation des plants femelles peut être désirée pour développer des parfums particuliers. Certaines espèces de houblons britanniques mûrissent plus vite, plus complètement et de manière plus homogène si elles ont été fécondées. Ceci convient à l'été fort court de la Grande-Bretagne et à ses bières à pleine saveur de houblon. Les cônes sont récoltés en août-septembre, lorsqu'ils deviennent jaunes. Des cônes suffisamment mûrs donnent le maximum de lupuline, des cônes trop mûrs ont un pouvoir aromatique plus faible.

3.2. QUALITÉS BRASSICOLES DU HOUBLON

Les principaux pays producteurs de houblon sont l'Allemagne, les Etats-Unis, la République Tchèque, la Grande-Bretagne et l'Australie.

Il existe aujourd'hui deux principales sortes de houblons:

- les houblons aromatiques qui contiennent 3 à 5% d'acides alpha et confèrent un parfum de houblon important

- les houblons amérisants qui contiennent 8 à 10% d'acides alpha et apportent l'amertume. Parmi les houblons amérisants, on retrouve des variétés comme Brewers Gold, Nothern Brewer, Challenger,...

Les houblons aromatiques sont des variétés comme l'Hallertau, le Spalt ou le Saaz de République Tchèque, qui est le plus fin d'arôme et le plus réputé.

3.3. SÉCHAGE ET CONSERVATION DU HOUBLON

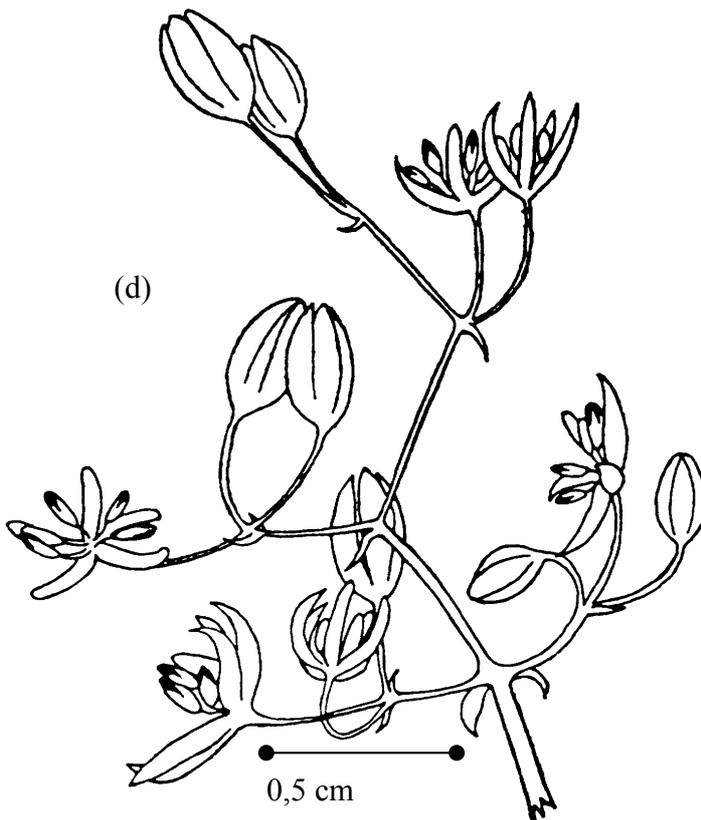
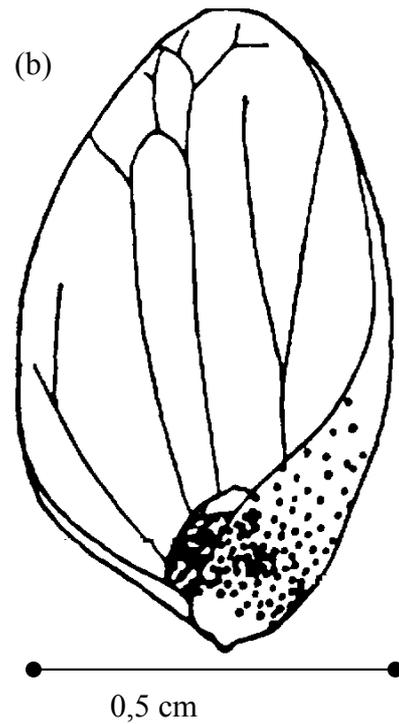
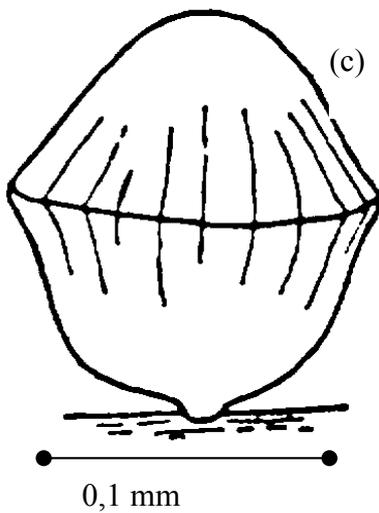
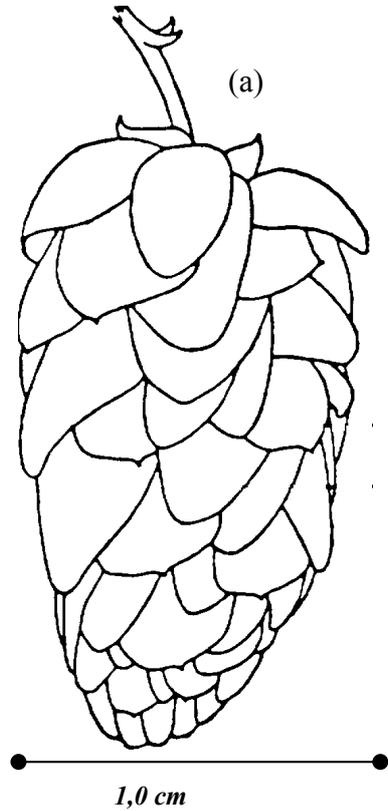
Fraîchement récoltés, les cônes de houblon contiennent environ 75 % d'humidité. Afin de pouvoir les conserver sans risque d'oxydation, il faut sécher les cônes de houblon et ramener l'humidité à 7-8 %.

Ce séchage se fait dans des tourailles sous courant d'air chaud à 40°C.

Ensuite, le houblon est comprimé en ballots de 50 kg afin d'éviter au maximum le contact avec l'air et stocké dans un local sec et à 0°C. On peut ainsi le conserver pendant 1 an.

3.4. COMPOSITION CHIMIQUE DES CÔNES DE HOUBLON

Eau	10 %	
Résines totales	15 %	
Huiles essentielles	0,5 %	composants indispensables
Tannins	4 %	
Monosaccharides	2 %	
Pectines	2 %	
Acides aminés	0,1 %	
Protéines	15 %	
Lipides, cires	3 %	
Cendres	8 %	
Cellulose, lignine	40 %	



HOP (*Humulus lupulus* L.)

Single mature hop cone ;
 Bracteole with seed and lupulin glands ;
 (c) Lupulin gland ;
 (d) Male hop flowers.
 (After Brugges).

3.4.1. LES RÉSINES

Il y a 2 fractions importantes :

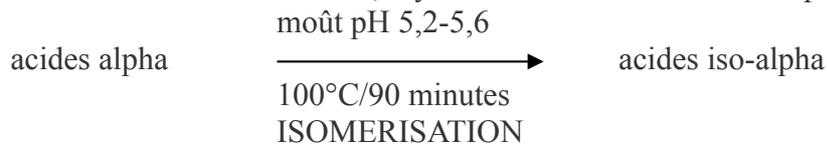
HUMULONES : 3 à 12 % suivant les variétés et le climat

LUPULONES : 2 à 7 % suivant les variétés et le climat.

Seule la fraction humulone peut être solubilisée dans le moût et donc est intéressante pour le brasseur.

La fraction humulone est formée des acides alpha qui sont très peu solubles dans le moût et peu amers.

Lors de l'ébullition du moût, il y a isomérisation des acides alpha.



Ces acides iso-alpha sont solubles et amers, mais l'isomérisation dépasse rarement 50 %.

Les acides alpha et surtout les acides iso-alpha se caractérisent par un pouvoir bactériostatique non négligeable.

3.4.2. LES HUILES ESSENTIELLES

Tout comme les résines, les huiles essentielles s'oxydent très facilement. Elles sont très volatiles et auront tendance à être éliminées lors du stockage.

Il y a 3 groupes de composés :

- hydrocarbures : hydrocarbures aliphatiques, terpènes, sesquiterpènes ;
- composés oxygénés : 30 % huiles essentielles (alcools, aldéhydes...) ;
- composés soufrés : composés très désagréables.

3.4.3. LES TANNINS : COMPOSÉS PHÉNOLIQUES

- Acides phénoliques : importants sur le plan du goût.
- Flavanoïdes : interviennent dans la composition de la bière et en particulier dans la formation du trouble au froid qui implique une association de fractions protéiques avec des flavanoïdes polymérisés.

3.5. DIFFÉRENTS TYPES D'UTILISATION DU HOUBLON

3.5.1. CÔNES

L'utilisation du houblon en cônes nécessite un stockage dans un local à 0°C de quantités importantes. De plus, on ne maîtrise que peu les oxydations des différents composés importants d'un point de vue brassicole.

3.5.2. *POUDRES DE HOUBLON ET PELLETS*

L'utilisation de pellets est très performante pour la protection contre l'oxydation.

En général, la première étape du procédé de formation des pellets est un séchage jusqu'à environ 5 % d'humidité.

Le houblon est alors refroidi puis broyé dans un moulin.

Après un nouveau refroidissement, la poudre de houblon est comprimée en pellets de 2 à 8 mm de diamètre.

Ils sont emballés sous vide dans des paquets en aluminium.

3.5.3. *EXTRAITS NON ISOMÉRISÉS*

Les extraits sont plus faciles à transporter et à stocker que les cônes de houblon et contiennent des quantités stables d'acides alpha.

Sur le plan mondial, environ 20 % du houblon est converti en extrait.

Extraction par solvant

Le houblon est extrait par des solvants puis les extraits sont concentrés par évaporation du solvant.

Les teneurs en acides alpha dépendent :

- de la teneur en acides alpha du houblon ;
- de l'âge et des conditions de conservation du houblon ;
- du solvant utilisé.

Il y a principalement 2 types d'extrait :

- extrait contenant uniquement les résines du houblon (20-40 % d'acides alpha) ;
- extrait standard contenant en plus des résines, les composés solubles dans l'eau, principalement les polyphénols ou tanins.

L'extraction peut se faire soit par un solvant (dichlorométhane) soit par CO₂ liquide qui présente l'avantage d'éviter les résidus de solvant dans l'extrait.

3.5.4. *LES EXTRAITS ISOMÉRISÉS*

Ils contiennent les acides iso-alpha formés par isomérisation des acides alpha extraits du houblon.

Ils ne nécessitent donc plus une ébullition du moût pour l'isomérisation des acides alpha.

Le principe est basé sur le fait que l'isomérisation des acides alpha est pratiquement complète après 20 minutes d'ébullition dans une solution 0,05 M de carbonate de Na dans l'eau.

L'on obtient ainsi des acides iso-alpha sous forme d'une solution de sels de Na ou K contenant 20 à 30 % d'acides iso-alpha.

Étant donné le nombre important d'étapes impliquées dans la production des extraits isomérisés, le prix est considérablement plus élevé que le houblon. Cependant, leur intérêt est justifié par une meilleure utilisation des acides iso-alpha par rapport aux autres produits tels que pellets ou extraits non isomérisés moins chers.

4.L'EAU

4.1. INTRODUCTION

L'eau est non seulement une des matières premières pour le brassage, mais est également utilisée en grande quantité pour la production de vapeur, le nettoyage et le rinçage des cuves et des chaudières, ainsi que pour le lavage et le rinçage des fûts et des bouteilles.

Les besoins en eau sont donc très importants, de l'ordre de 1 500 litres pour 100 litres de bière. Il faut donc disposer de réservoirs de stockage de capacité suffisante pour éviter tout arrêt de production par manque d'eau.

Le brasseur prend soin de traiter l'eau qu'il utilise tout au long du processus de production. Il corrige ainsi les caractères de l'eau qu'il capte, dépendant en majeure partie de la nature du terrain où la brasserie est implantée. Le contrôle de l'eau répond à trois qualités d'eau :

- qualité 1 : eau potable brute pour le nettoyage extérieur
- qualité 2 : eau potable décarbonatée pour le brassage, embouteillage
- qualité 3 : eau déminéralisée pour l'alimentation des chaudières

4.2. CAPTAGE DE L'EAU

4.2.1. EAU DE SOURCE

Les brasseries situées à proximité d'une source bénéficient d'une alimentation idéale en eau de source, considérée comme très pure, garantissant une faible quantité de germes pathogènes. Elle est captée soit à sa sortie du sol soit dans le sous-sol par drainage. Ce procédé favorise la protection de la qualité de l'eau des agents extérieurs.

4.2.2. EAU SOUTERRAINE

Cette eau est également très pure grâce à sa filtration naturelle lors de son passage au travers des différentes couches de gravier ou de sable. Elle est captée au moyen de puits, après forage du sol créant des tuyaux d'aspiration jusqu'à la nappe aquifère. En brasserie, les puits atteignent les couches schisteuses à 12 mètres de profondeur.

L'installation des puits doit être conçue de manière à ce que les eaux ne subissent aucune altération et plusieurs précautions sont requises :

- creuser les puits loin des fosses d'aisance, tas de fumier, écuries ;
- éviter la proximité de réservoirs de carburants ;
- de manière générale, éviter que des détritiques solides ou liquides ne puissent polluer les puits.

4.2.3. EAU DE RUISSELLEMENT

L'eau, à défaut d'eau de source ou d'eau de puits, proviendra des eaux de surface : des bassins ou des fleuves. Elle ne présente pas le même degré de pureté que celui des eaux souterraines, d'autant plus si la brasserie est établie dans une région industrielle. Néanmoins, grâce à la haute technicité des installations de traitement, les eaux même fortement polluées peuvent être modifiées pour atteindre un niveau de pureté comparable.

4.3. UTILISATION DE L'EAU

4.3.1 CHOIX DE L'EAU EN BRASSERIE

Les propriétés de l'eau utilisée en brasserie sont déterminées par les différents usages auxquelles elle est destinée.

4.3.2. L'EAU DE SERVICE

Elle est premièrement destinée au nettoyage aux différents stades du processus et doit répondre à des exigences strictes du point de vue microbiologique. Lors de la fabrication, cette eau entre en effet en contact direct avec le moût ou la bière et doit donc être exempte de microorganismes pathogènes, mais aussi dépourvue de toutes substances susceptibles d'infecter les moûts et les bières. Ensuite, elle est utilisée pour alimenter les chaudières à vapeur. Elle doit être adoucie pour empêcher la formation de dépôts qui diminuent leur rendement.

Enfin, on se sert de cette eau dans les condenseurs de machines frigorifiques ou les réfrigérants à bières. Ces eaux sont aussi adoucies afin d'éviter que la dureté n'affecte les appareils et augmente la fréquence des nettoyages, ce qui aurait pour conséquence une diminution de l'échange calorifique.

4.3.3. L'EAU DE BRASSAGE

Ce sont les caractéristiques chimiques de l'eau de brassage qui détermineront en grande partie la qualité de la bière par les réactions qui se produisent tout au long de la fabrication. Les principales caractéristiques sont décrites au point 4 ci-dessous.

4.3.4. OBTENTION D'EAU CHAUDE

L'eau froide est accumulée dans les citernes et après déminéralisation, elle est pompée à travers l'échangeur à plaque permettant le refroidissement du moût. A la sortie de l'échangeur, l'eau sort à une température de 60 à 80°C. Cette eau chaude est alors stockée dans des réservoirs inoxydables.

4.4. CARACTÉRISTIQUES DE L'EAU

4.4.1. CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

La composition chimique de l'eau dépend du sol où elle circule et, au cours de son parcours, elle rencontre des terrains de natures différentes. Elle se modifie à mesure qu'elle dissout les diverses substances des couches traversées et acquiert ainsi des caractères bien déterminés.

4.4.2. DURETÉ DE L'EAU

En règle générale, l'eau de pluie est chimiquement pure, c'est-à-dire une eau douce. En d'autres termes, si on évapore de l'eau de pluie, il ne subsiste aucun résidu, tandis que l'eau ordinaire qui s'évapore laisse un précipité blanchâtre constitué par des sels de calcium et de magnésium, par dissolution de calcaire ou de magnésium lors de son contact avec le terrain calcaire ou magnésien. Par opposition à l'eau douce, cette eau sera "dure".

Tous les sels de calcium et de magnésium présents dans l'eau forment la dureté totale de l'eau. Tous les bicarbonates de calcium et magnésium forment la dureté temporaire ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$). La différence entre la dureté totale et la dureté temporaire est la dureté permanente (CaSO_4 , CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, MgSO_4 , MgCl_2 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) due aux divers chlorures, sulfates et nitrates de calcium et de magnésium qui ne s'éliminent pas par ébullition et restent dans l'eau.

La dureté totale de l'eau est mesurée en titrant 100 ml d'eau avec une solution 0,02 N EDTA, 1 ml de solution d'EDTA est équivalent à 1 mg de carbonate de calcium (= 0,1° français).

Les concentrations ioniques de l'eau varient donc fortement et déterminent partiellement la typicité des bières. On adapte en outre parfaitement la composition de l'eau à la qualité de la bière recherchée.

4.4.3. DEGRÉ DE DURETÉ

Le degré de dureté d'une eau permet de comparer avec précision différentes eaux selon leur dureté. De là, découle la possibilité de classer les eaux en :

- eaux douces de dureté totale ne dépassant pas 15° français
- eaux moyennement dures de dureté totale comprise entre 15° et 20° français
- eaux dures de dureté totale comprise entre 20° et 50° français
- eaux très dures de dureté totale de plus de 50° français

Le degré de dureté varie selon les normes des pays :

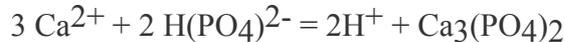
- 1° français = 10 mg CaCO_3 /l (valable en Belgique)
- 1° allemand = 10 mg CaO/l
- 1° anglais = 14,3 mg CaCO_3 /l
- 1° français = 0,56° allemand = 0,70° anglais

En sus des sels de calcium et magnésium, l'eau est composée d'autres substances et matières organiques qui vont déterminer également le pH de l'eau, indice de l'acidité ou le l'alcalinité d'une eau.

4.4.4. INFLUENCE DE DIFFÉRENTS IONS SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

Le calcium

Le calcium est nécessaire à l'activité de l'alpha-amylase et assure la protection de cet enzyme contre la destruction thermique. Il favorise aussi l'action d'autres enzymes amylolytiques et protéolytiques. Le calcium a un effet acidifiant par réaction avec les phosphates :



Les ions calcium stimulent la coagulation à l'ébullition, ainsi que la floculation de la levure.

Le magnésium

Le magnésium, constituant du malt, ne doit pas être présent dans l'eau de brassage. La proportion calcium/magnésium est importante (dans un rapport de cinq pour un environ). Le magnésium contribue au goût aigre et amer de la bière.

Le sodium et le potassium

Ils contribuent à l'amertume et à la salinité du goût.

Le fer

Au-delà d'une concentration de 0,2 mg/l, il engendre des effets néfastes, inhibant les amylases et donc la saccharification. Il crée aussi des complexes avec les polyphénols, formant des troubles colloïdaux.

Le cuivre

Il est nécessaire de l'éliminer étant donné qu'il catalyse l'oxydation, formant par conséquent des troubles colloïdaux.

Autres ions

L'ion sulfate donne des bières sèches. Au contraire, l'ion chlore donne une douceur au goût. Les nitrites sont néfastes pour la levure et empêchent la fermentation. Ces nitrites sont aussi susceptibles de réagir avec les tanins et donner une coloration rougeâtre à la bière.

4.4.2. CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES

En plus d'une certaine teneur en ions, l'eau doit respecter certains critères bactériologiques. Une bonne analyse chimique ne signifie pas forcément que cette eau soit potable. C'est de la sorte que l'on veille à détruire tous les organismes parasites ou pathogènes, les *Escherichia coli* et les streptocoques fécaux présents dans l'eau.

Les principaux micro-organismes qui peuvent altérer la bière, sont les levures sauvages et les bactéries lactiques.

5. TRAITEMENTS DE L'EAU

5.1. TRAITEMENT CHIMIQUE

5.1.1. DÉCARBONATATION

Cette modification de l'eau n'élimine que la dureté temporaire, c'est-à-dire les bicarbonates de chaux et de magnésium, afin d'atteindre un degré de dureté acceptable.

La décarbonatation est doublement nécessaire pour obtenir une bière de qualité et pour empêcher la formation de tartre dans les zones chaudes. Elle s'opère par ébullition, par décarbonatation à la chaux ou par addition d'acides.

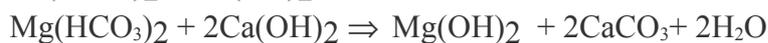
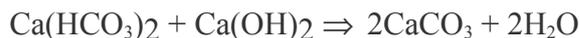
Ébullition

Il y a précipitation des bicarbonates à la suite d'un échauffement.



Ce procédé est de plus en plus délaissé en raison de son prix de revient élevé.

Décarbonatation à la chaux



On additionne une eau de chaux dans l'eau à traiter (solution à 0,15 % de chaux par litre), qui réagit avec les bicarbonates et les élimine. Par hectolitre d'eau à traiter, il faut ajouter environ 450 cm³ d'eau de chaux en proportion des degrés de dureté temporaire.

Addition d'acides

On utilise le plus souvent l'acide sulfurique, phosphorique, chlorhydrique ou lactique afin de neutraliser l'eau. Cependant, cette méthode a l'inconvénient que les ions calcium et magnésium sont maintenus dans l'eau. En outre, du gaz carbonique se forme et rend l'eau corrosive.

En général, on évite ce procédé qui rend l'eau acide, corrodant les réservoirs et tuyauteries.

5.1.2. DÉMINÉRALISATION

Les traitements précédents sont insuffisants, ne permettant d'éliminer tous les sels de l'eau.

L'ébullition supprime la dureté temporaire et l'addition d'acide modifie la composition.

La déminéralisation permet d'obtenir une eau débarrassée de tous sels, une eau distillée, et ce par simple filtration au travers d'une matière synthétique. Cette dernière est la "permutite" ou "résine échangeuse d'ions". Il existe diverses sortes de résines, chacune agissant de façon sélective sur la composition de l'eau.

Correction par résines CNO ou faiblement acide

Cette technique substitue favorablement le procédé à la chaux et par la qualité de l'eau produite et par la demande de main d'oeuvre moins élevée. Par passage de l'eau au travers des résines CNO, les bicarbonates de calcium et de magnésium sont retirés. Il y a en outre libération d'acide carbonique. En ce qui concerne la qualité, l'eau est adoucie mais est chargée d'acide carbonique, ce qui la rend agressive. Afin de neutraliser cette agressivité, on pulvérise l'eau dans un réservoir avec insufflation d'air à contre-courant.

Lorsqu'une certaine quantité d'eau est passée sur les résines, leur pouvoir de correction s'affaiblit et est "étouffé" par le calcium et le magnésium qui la recouvre, et deviennent inopérantes. Il faut dès lors régénérer ces résines, grâce à une solution d'acide chlorhydrique (30%), acide qui enlève le calcium et le magnésium et régénère les résines. Ensuite, on rince abondamment pour éviter qu'il ne reste des traces d'acide qui se dissolveraient dans l'eau traitée.

Déminéralisation totale

Le procédé de déminéralisation totale permet d'éliminer tous les sels présents dans l'eau. On emploie pour ce faire deux types de résines. D'une part, fortement acides, et d'autre part, basiques. Les résines acides modifient tous les sels de l'eau en acides correspondants : le chlorure de sodium devient de l'acide chlorhydrique, le sulfate de calcium de l'acide sulfurique.

A la sortie de l'échangeur, l'eau sera donc une solution de divers acides. La régénération des résines fortement acides se fait par une solution d'acide chlorhydrique et celle des résines basiques par une solution de soude caustique.

Grâce à cette déminéralisation totale, l'eau est chimiquement pure et la composition désirée de l'eau peut être obtenue par l'ajout précis de différents sels.

5.2. TRAITEMENT BIOLOGIQUE

La correction biologique s'effectue par filtration, c'est-à-dire par clarification de l'eau et par stérilisation absolue afin d'en détruire tous les germes vivants.

5.2.1. FILTRATION

On filtre l'eau à travers des couches de sable et de gravier de différentes grosseurs, après avoir fait subir au préalable une préfiltration. L'eau sera clarifiée par enlèvement des débris végétaux, restés en suspension dans celle-ci. Comme autres procédés, il y a également les filtres à cartons, à kieselghur mais ces derniers laissent encore passer certaines matières comme par exemple les algues.

5.2.2. STÉRILISATION

Elle supprime les micro-organismes présents dans l'eau d'alimentation.

Chloration

La chloration se fait par addition de chlore gazeux, d'hypochlorite de sodium ou de chloramines, de manière à atteindre quelques dixièmes de mg (0,3 - 0,5) de chlore libre par litre d'eau. Ce procédé permet d'obtenir une eau stérile voire même désinfectante suivant la dose de chlore utilisée.

Cette technique est couramment utilisée (pour les eaux de distribution...) mais cependant, entraîne une réaction du chlore avec les matières organiques et donne un goût de phénol qui affecte celui de la bière. L'eau chlorée passe alors par un filtre à charbon pour supprimer le chlore en excès dans l'eau.

Radiation ultraviolet

Moins fréquemment utilisé, ce procédé est en effet très coûteux tant au niveau de l'installation que de l'exploitation. Les tubes germicides utilisés pour la stérilisation de l'air sont une combinaison de rayons U.V. et d'ozone. L'eau à traiter passe en fin filet sous une lampe à ultraviolet (lampe à mercure à basse pression).

CHAPITRE 2 : LE BRASSAGE

1. BUT DU BRASSAGE

Au cours du brassage, lorsque le malt moulu est mélangé à l'eau chaude contenant des sels, de nombreuses modifications chimiques et physiques s'opèrent simultanément. Les particules de mouture s'hydratent et fondent.

Les substances simples de faible masse sont rapidement dissoutes et peuvent être dégradées par les enzymes.

Ceux-ci catalysent progressivement l'hydrolyse des polymères insolubles comme les protéines, les acides nucléiques et les hydrates de carbone pour donner des produits solubles. Ensuite, certains de ces enzymes peuvent solubiliser l'amidon des grains crus ajoutés au versement de matières premières.

L'objectif est donc d'extraire le malt et les éventuels grains crus avec un maximum de rendement, non seulement du point de vue de la quantité, mais aussi du point de vue de la qualité.

Il faut donc solubiliser la totalité de l'amidon ainsi que les sucres préformés au maltage.

La situation est légèrement différente pour les protéines. En effet, 50 % des acides aminés et des peptides du moût proviennent directement du malt.

Le brassage implique par ailleurs une série de transformations chimiques, notamment l'oxydation des polyphénols, les précipitations de protéines, la formation d'associations entre lipides et protéines.

Les compositions azotées et hydrocarbonées sont déterminées par le rapport

ENZYMES/SUBSTRATS et en particulier, par les rapports

alpha et bêta amylase/amidon et endopeptidases/protéines.

Ces rapports peuvent être modifiés par la mise en oeuvre de techniques appropriées :

- utilisation de substrats dépourvus d'activités enzymatiques (utilisation de grains crus) qui ont pour effet de diminuer la proportion de matières azotées dans le moût ;
- destruction thermique des enzymes en faisant bouillir une partie de l'empâtage c'est-à-dire prélever une MAISCHE ;
- choisir un pH plus favorable bien qu'une telle intervention se trouve limitée par l'effet tampon du moût ;
- le rapport farine/eau détermine la concentration en substrat qui à son tour modifie l'action de certains enzymes, c'est en particulier le cas pour certains enzymes protéolytiques qui sont plus actifs en milieu concentré.

2. LES TRANSFORMATIONS AU BRASSAGE

2.1. QUELQUES PROPRIÉTÉS DES ENZYMES IMPLIQUÉES AU BRASSAGE

Dans la dégradation de l'amidon, il y a intervention de différents enzymes dont il convient de définir les conditions optimales de fonctionnement :

Alpha-amylase : T° optimum 66- 68°C
Inactivation 80°C
pH optimum 5,6 à 5,8

Bêta-amylase : T° optimum 62-65°C
Inactivation rapide à 70°C
Inactivation instantanée à 80 °C
pH optimum 5,0

Limite dextrinase : T° optimum 55°C
Inactivation 65°C

Les conditions dans la chaudière d'empâtage sont très différents des conditions dans lesquelles les enzymes sont étudiés.

En effet,

- les substrats sur lesquels les enzymes doivent agir (amidon ou protéines) sont hétérogènes et impurs, mélangés à de grandes quantités d'autres substances ;
- ces substrats sont largement insolubles au début du brassage. dans le cas de l'amidon, les granules doivent d'abord être solubilisées avant d'être dégradés par les enzymes ;
- le brassage se déroule à des températures relativement élevées où les enzymes sont instables ;
- lorsque les substrats sont épuisés, les enzymes sont détruits plus rapidement par la chaleur.

Tous ces paramètres sont à prendre en considération lorsque l'on établit les conditions optimales de fonctionnement des enzymes.

2.2. LES TRANSFORMATIONS DE L'AMIDON

La transformation de l'amidon se déroule en 3 étapes :

Empesage : éclatement des granules d'amidon dans l'eau chaude.

Liquéfaction : rupture des chaînes polymériques formant l'amidon, ce qui entraîne une réduction de la viscosité.

Saccharification : formation de glucose, maltose et maltotriose par action conjuguée des alpha et bêta-amylases.

La composition détaillée en sucres que l'on retrouve dans le moût dépend de la nature des matières premières et des conditions de brassage.

Cependant, les proportions de sucres dans différents moûts sont généralement semblables, sauf si l'on ajoute des enzymes microbiens lors du brassage.

Une comparaison des sucres présents dans le malt et dans le moût illustre clairement les modifications intervenues lors du brassage.

Sucres du malt		Sucres du moût	
amidon	85,8	dextrines	22,2
glucosane et fructosane	3,9	maltotétraose	6,1
maltotriose	0,58	maltotriose	14,0
maltose	0,99	maltose	41,1
saccharose	5,1	Saccharose	5,5
glucose et fructose	2,4	glucose et fructose	8,9

La plupart des sucres présents dans le moût proviennent de l'amidon. La majeure partie des sucres simples sont donc le glucose, fructose, saccharose, maltose et maltotriose. Seulement 4 % des sucres proviennent de la dégradation d'autres polymères que l'amidon (hemicellulose).

2.3. LES MATIÈRES AZOTÉES

Les matières azotées représentent 5 à 6 % des solides du moût de malt et environ 40 % des matières azotées contenues dans le malt sont dissoutes au brassage, principalement sous l'action des endopeptidases.

La fraction totale de l'azote soluble du moût contient des ions NH_4^+ , des acides aminés, des peptides de différentes tailles et des protéines.

La présence de grandes quantités de matériel de haut PM, indiquant une protéolyse imparfaite lors du brassage peut contribuer à une formation de trouble dans la bière. En effet, les protéines et certains peptides sont, avec les polyphénols, les constituants majeurs du trouble dans la bière.

Par contre, les acides aminés présents dans le moût sont métabolisés pendant la fermentation et le profil des 20 acides aminés joue un rôle important dans la détermination du profil des composés volatils de la bière. Pour mener à bien la fermentation, un moût d'une densité de 12° plato doit contenir environ 150 mg d'azote alpha-aminé par litre.

2.4. OXYDATION ET COLORATION

Les polyphénols présents dans le malt se retrouvent dans le moût. Ils contribuent à l'astringence de la bière.

L'oxydation des polyphénols est nécessaire pour assurer leur élimination partielle par co-précipitation protéique.

2.5. TRANSFORMATIONS DIVERSES

Une faible proportion de lipides présents dans le malt (environ 2 %) est dissoute dans le moût, mais très peu de ces lipides se retrouvent dans le produit fini.

En effet, ces constituants sont en grande partie retenus sur la drêche lors de la filtration du moût. Cependant, certains enzymes (lipoxygénase) peuvent hydrolyser ces acides gras insaturés. Ils ne seront alors plus retenus sur la drêche et sont responsables de l'apparition de faux goût lors du vieillissement de la bière.

La division cellulaire de la levure en anaérobie et sa viabilité au cours du stockage dépendent de la présence suffisante en acides gras insaturés et en stérols dans le moût.

2.6. LES SELS MINÉRAUX AU BRASSAGE

Les sels minéraux présents dans l'eau de brassage ont déjà été étudiés lors du chapitre consacré aux matières premières.

Les interactions de ces sels avec d'autres ions provenant du malt peuvent avoir des effets importants sur le pH du moût, la variation de pH à l'ébullition et finalement sur le caractère de la bière.

Les sels minéraux présents dans le moût, à savoir ceux provenant de l'eau de brassage et ceux apportés par le malt, ont une profonde influence sur la composition du moût.

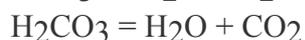
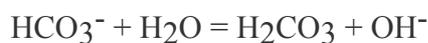
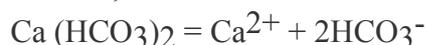
Les ions formant ces sels :

- influencent le pH du moût ;
- agissent comme tampon ;
- influencent l'extraction de protéines, vitamines... ;
- affectent la stabilité et l'activité de certains enzymes : ce qui peut modifier la composition de l'extrait.

2.7. DURETÉ DE L'EAU ET PH DU MOÛT

Les procédés pour réduire la dureté temporaire de l'eau due aux carbonates et bicarbonates, ont été examinés en détail dans le chapitre consacré à l'eau de brassage. Un excès de dureté temporaire de l'eau de brassage, dû à la présence de carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium, est néfaste au bon déroulement du brassage.

En effet, ces substances vont induire une réduction du pH.



Cet effet peut être neutralisé par addition d'acide lors de l'empâtage. Le choix de l'acide dépendra en partie de son influence sur la qualité de la bière.

Le brassage par infusion se fait au mieux à un pH compris entre 5,2 et 5,4. Ceci permet :

- aux amylases de dégrader l'amidon le plus rapidement ;
- d'augmenter l'activité d'autres enzymes hydrolytiques ;
- de modifier la solubilité de certaines protéines ;
- de réduire l'extraction de tannins.

2.8. TEMPÉRATURES AU BRASSAGE

Les effets de la température et de la durée des différentes étapes du diagramme de brassage sont liés.

En brasserie, la concentration élevée en substrats lors de l'empâtage permet aux enzymes de survivre à des températures particulièrement élevées.

De plus, lors du brassage, la température n'est pas maintenue constante, mais augmente par palier.

En général, l'augmentation de température :

- réduit la viscosité du moût ;
- accélère les vitesses de dissolution ;
- accélère les vitesses de diffusion (des substances qui entrent et sortent des particules de matière première) ;
- augmente l'activité des enzymes et ensuite leur inactivation.

Ainsi les optimums de température varient avec la concentration du mélange eau/farine, le pH et la composition des matières premières.

3. PRÉPARATION DE LA MOUTURE

Le brassage commence par une étape mécanique afin de réaliser une mouture du malt et des grains crus.

Cette opération a pour but de transformer les grains en une farine tout en conservant leur enveloppe aussi intacte que possible. En effet, lors du brassage, l'extraction sera d'autant meilleure que la mouture est fine, mais les pailles jouent un rôle lors de la filtration du moût.

3.1. CARACTÉRISTIQUES DE LA MOUTURE

La finesse de la mouture dépend de :

- l'épaisseur de la couche filtrante dans la cuve-filtre ;
- la largeur du gâteau de filtration dans le filtre à moût.

La cuve-filtre demande une mouture grossière alors que le filtre à moût permet l'utilisation d'une mouture plus fine.

On peut évaluer la distribution de la taille des particules en passant la mouture sur différents tamis.

Dans la cuve-filtre, les pailles doivent être conservées intactes pour former une bonne couche filtrante et l'endosperme doit être suffisamment broyé pour atteindre une saccharification totale et un rendement valable.

Le contrôle visuel de la mouture doit mettre en évidence :

- l'absence de grains intacts ;
- l'absence de particules d'endosperme adhérent aux pailles ;
- la taille uniforme des granules de farine.

3.2. LA TECHNOLOGIE DU CONCASSAGE

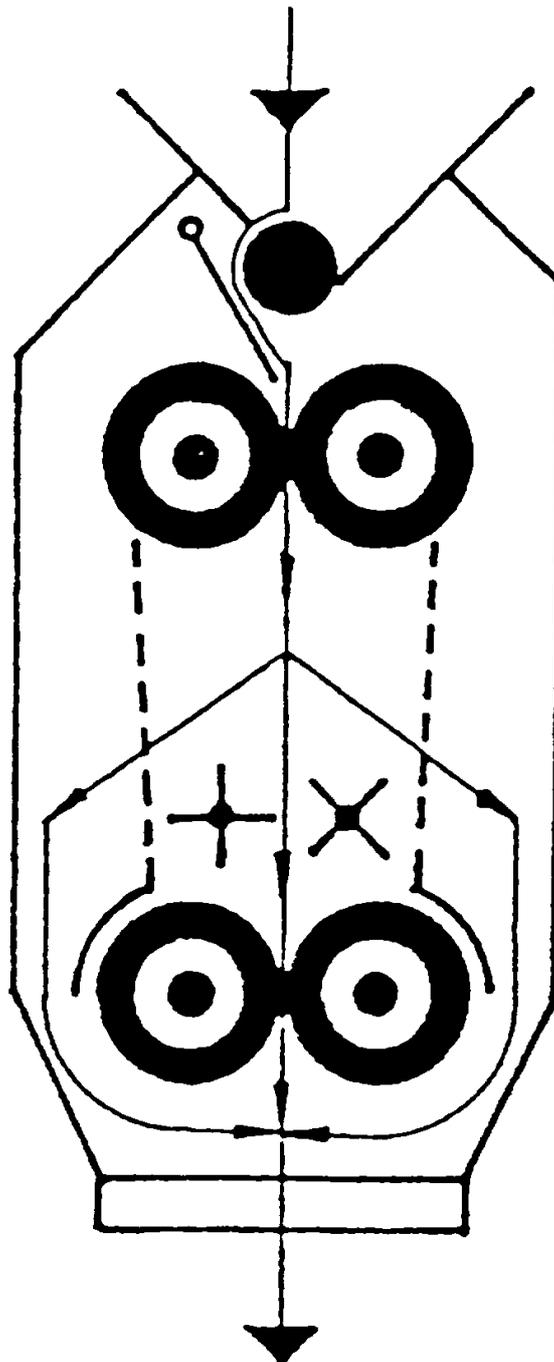
Diverses technologies de concassage sont utilisées dans l'industrie brassicole :

- la mouture humide ;
- la mouture sèche avec moulin à rouleaux ;
- la mouture fine avec moulin à marteaux.

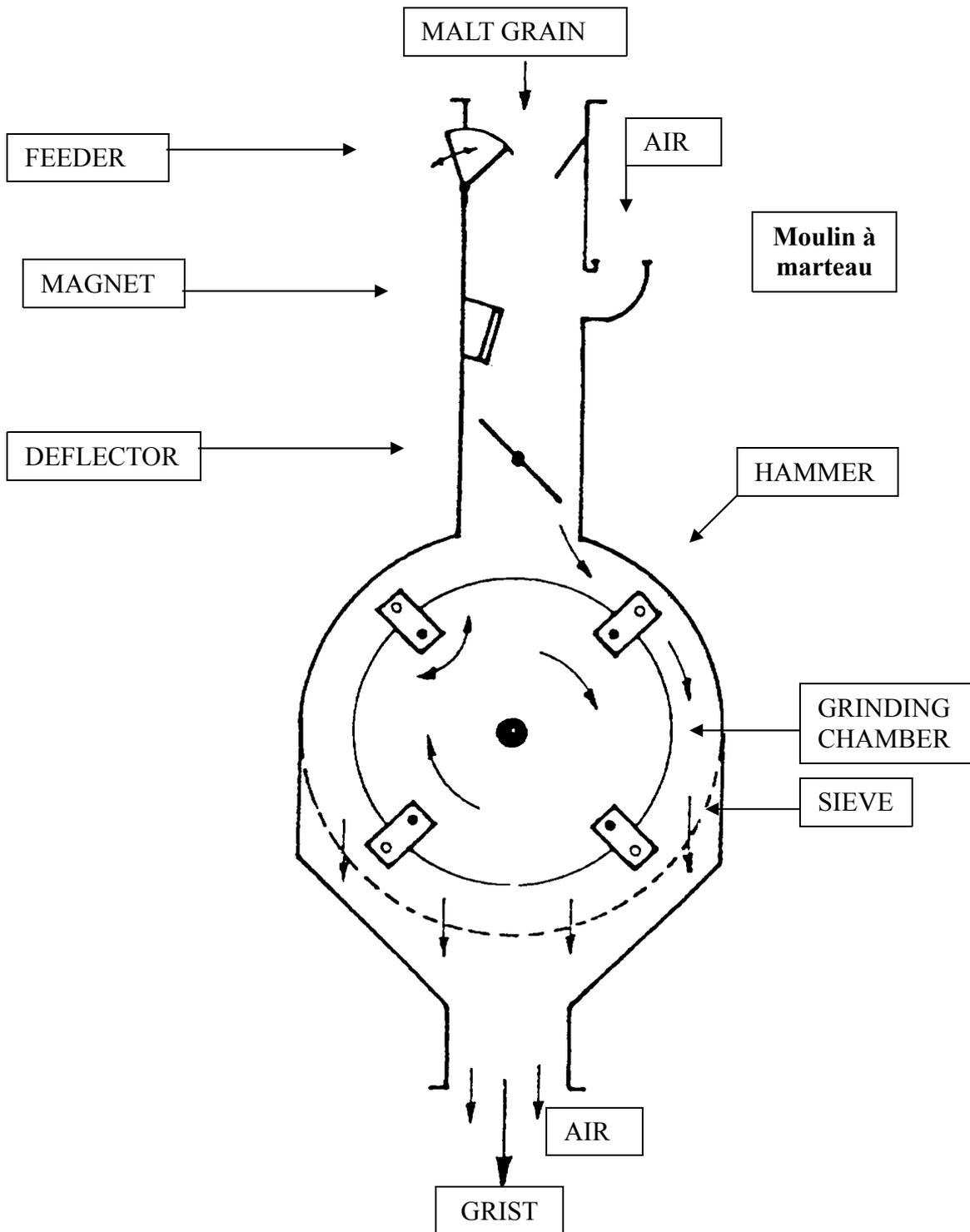
Actuellement, la technique la plus souvent utilisée est la mouture sèche.

En fonction de la qualité du malt et des caractéristiques imposées pour la mouture, le concassage peut se faire :

- par des moulins à rouleaux (2, 4, 5 ou 6) ;
- par des moulins à marteaux.



Moulin à
rouleaux



Les moulins à rouleaux font usage à la fois de la pression et de forces de cisaillement pour broyer les grains.

Les moulins à marteaux réduisent le malt en une fine farine et ne peuvent être utilisés que lorsque la technique de filtration met en oeuvre une couche filtrante de faible épaisseur (filtre 2001).

La finesse de la mouture est déterminée par la vitesse de rotation du moulin et les perforations dans la paroi d'évacuation de la farine.

4. L'EMPÂTAGE

Le brassage commence par l'empâtage de la farine avec l'eau. Anciennement, on le faisait à la main, avec un fourquet, qui figure toujours dans les armoiries de la brasserie.

Actuellement, il se fait toujours automatiquement ou mécaniquement dans un appareil appelé hydrateur.

Un hydrateur automatique est parfois un simple tuyau qui plonge dans l'eau de la cuve-matière. En ce cas, il faut énergiquement agiter l'eau pour obtenir un bon mélange. En effet, lorsque l'on laisse tomber la farine sur l'eau, elle y forme un tas qui ne se mélange pas du tout. Généralement, l'hydrateur automatique est un évasement du tuyau à farine dans lequel on injecte de l'eau. Il faut cependant éviter les formes compliquées, qui sont trop difficiles à nettoyer.

Un hydrateur mécanique se compose d'un tuyau courbé : dans la partie verticale, on injecte de l'eau dans la farine ; dans la partie horizontale, une vis d'Archimède fait avancer la farine empâtée et assure un bon mélange.

Les hydrateurs mécaniques permettent d'empâter beaucoup plus épais.

On prend pour l'empâtage de 2 à 4 hl d'eau par 100 kg de malt selon la méthode de brassage et la densité de la bière produite. Le moût qui se forme dans la cuve matière doit toujours être beaucoup plus concentré que le moût fin ébullition, parce qu'après la filtration, il faudra enlever, par lavage, l'extrait qui imbibe encore la drêche, ce qui provoquera évidemment une forte dilution.

5. LES MÉTHODES DE BRASSAGE

On distingue trois sortes de méthodes de brassage :

- par infusion où on ne fait que chauffer progressivement l'empâtage, sans ébullition d'une partie du brassin ;
- par décoction, où on élève la température uniquement par cuisson de parties du brassin, qu'on ramène bouillantes dans la masse ;
- les méthodes mixtes, où l'on utilise les deux méthodes de chauffage.

5.1. L'INFUSION

Le brassage par infusion est réalisé en chauffant simplement le brassin par la vapeur dans la chaudière.

On commence généralement à 45-50°C où on stationne une demi-heure (protéolyse). Ensuite, on monte à 62-65°C où on reste de 30 à 45 minutes (action de la bêta-amylase). Le palier de température suivant se situe à 70-75°C où l'on attend la saccharification totale et on termine à 78°C avant de pomper le brassin vers la filtration.

5.2. LA DÉCOCTION

La décoction est la méthode classique pour les bières de fermentation basse.

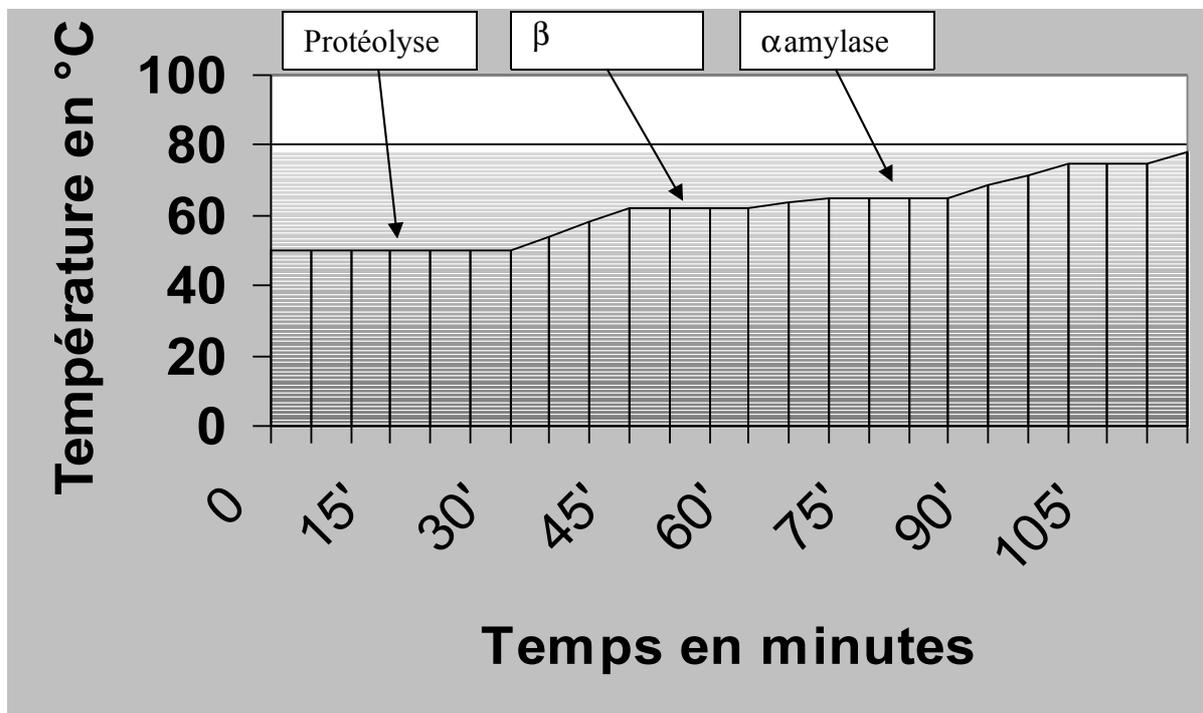
On empâte dans une cuve-matière et fait bouillir une partie du brassin dans une autre chaudière, la chaudière à maisches. Lorsque la maische a bouilli, on la ramène bouillante dans la cuve-matière pour y élever la température.

Beaucoup de détails peuvent varier dans cette méthode, on peut regrouper les maisches vite ou lentement dans le brassin.

Cette méthode classique de décoction est très longue. Souvent, on ne fait qu'une maische ; on retombe évidemment alors dans les méthodes mixtes.

5.3. LES MÉTHODES MIXTES

Les méthodes mixtes sont une combinaison des deux méthodes précédentes. Une des maisches peut être une maische de grains crus.



Différents paliers de températures du brassage

6. LE TRAITEMENT DES GRAINS CRUS

Il y a deux raisons à l'utilisation des grains crus. Ceux-ci sont une matière première moins chère que le malt et de plus, ils permettent de réduire l'azote soluble contenu dans le moût. Ceci permet d'obtenir des bières plus stables au point de vue du vieillissement.

La législation européenne autorise un maximum de 30 % du versement total en grains crus. Dans d'autres pays comme, par exemple, les États-Unis, on peut aller jusqu'à 40 à 50 % du versement.

Comme nous l'avons déjà vu lors de l'étude des matières premières, l'utilisation de grains crus implique une opération supplémentaire en salle de brassage.

Il faut tout d'abord empeser l'amidon par cuisson pour le rendre attaquant par les enzymes hydrolytiques.

Cependant, si l'on fait bouillir de l'amidon empesé, mais non liquéfié, la solution est tellement visqueuse qu'elle brûle aux parois de la cuve. Pour éviter cela, on ajoute aux grains crus lors de l'empâtage une certaine quantité de malt et on stationne 10 à 20' à 78°C avant de réaliser l'ébullition de la maische.

Une autre méthode pour éviter des difficultés de liquéfaction est d'ajouter de l'alpha-amylase d'origine bactérienne au brassin. Cette amylase a la propriété d'être encore active à 90°C ; elle n'est détruite qu'à l'ébullition et permet donc la liquéfaction de la maische de grains crus si on élève progressivement la température.

Une petite difficulté est que cette amylase n'a une bonne activité qu'entre pH 5,8 et 7,3. On doit donc faire en sorte que le pH de la maische de grains crus soit au minimum de 6.

Dans le cas d'emploi d'amylase bactérienne, il vaut mieux ne pas ajouter de malt.

Le pH d'une maische de riz seul est inférieure à 6, mais elle n'est presque pas tamponnée et il suffit d'ajouter un peu de chaux pour arriver à pH 6,5 (20 g/100 kg riz).

Un point très important est de diluer suffisamment la maische de grains crus, pour que la pâte ne soit pas trop visqueuse au moment où se produit l'empesage.

Nous avons signalé plus haut que les enzymes sont gênés dans leur activité par la viscosité de la solution. Si on fait un empois trop concentré on ne parvient pas à liquéfier.

Il faut empâter les grains crus avec au moins 5 hl d'eau par 100 kg de farine qui ne doit pas être trop fine.

Les grains crus n'amenant pas de pailles, il faut adopter la mouture du malt ou la technologie de filtration du moût.

7. LE CHOIX DE LA MÉTHODE DE BRASSAGE

Les paramètres dont il faut tenir compte sont :

- le type de bière que l'on veut fabriquer ;
- le malt qu'on emploie ;
- la quantité de grains crus utilisée ;
- le matériel disponible.

Comme premier principe, il faut que la méthode de brassage donne un moût parfaitement saccharifié, qui ne donne plus de réaction à l'iode, qui contient assez de sucres fermentescibles pour la fermentation et qui s'écoule clair à la filtration.

Un des points les plus importants dans la technologie de brassage d'aujourd'hui est l'utilisation maximale des outils de production, conduisant souvent à une fabrication continue. L'automatisation de l'ensemble du procédé joue ici un rôle important.

Lorsque la composition du moût correspondant au type de bière que l'on veut produire est obtenue, on remarque que sa qualité est peu affectée par une modification de la méthode de brassage, mais est beaucoup plus sensible à un changement de la composition de l'eau ou de la nature des matières premières.

Il est caractéristique qu'en Allemagne où il n'est pas permis d'ajuster le pH au brassage par une addition d'acide, on attache plus d'importance à la méthode de brassage que dans d'autres pays.

8. BRASSAGE À HAUTE DENSITÉ

Il peut être intéressant d'un point de vue économique, de produire du moût d'une densité plus élevée que celle qui serait nécessaire pour produire la bière que l'on désire obtenir. Ce moût de densité plus élevée est ensuite fermenté et dilué à la fin du procédé, juste avant ou après la filtration de la bière.

Ainsi, la capacité des différentes cuves est réduite.

De plus, ce système permet des économies d'énergie puisque les volumes à chauffer seront plus petits. Cependant, cette technique peut entraîner des modifications dans le profil organoleptique du produit fini. En effet, il peut y avoir des problèmes lors de l'ébullition du moût et en particulier au niveau de l'extraction du houblon.

La méthode de brassage par infusion donne de meilleurs rendements lorsque l'on travaille à haute densité.

9. LES INSTALLATIONS DE BRASSAGE

Actuellement, la cuve-matière est presque toujours une simple chaudière avec agitation en forme d'hélice, appelé "propeller".

Le plus souvent, elles sont en inox ou en cuivre. La cuve est surmontée d'un dôme avec cheminée pour l'évacuation des vapeurs.

Le chauffage se fait par une double enveloppe où circule de la vapeur. La surface de chauffe doit être calculée de telle façon qu'on puisse élever la température du brassin de 1°C par minute. La surface de chauffe doit toujours être couverte entièrement par le brassin, sinon il caramélise ou brûle aux parties non couvertes. A cause de cela, il faut éviter que la surface de chauffe ne vienne trop haut dans la cuve.

La contenance de la cuve-matière est généralement de 5 à 8 hl/100 kg de versement. En effet, 100 kg de farine occupent dans l'eau un volume de 0,7 à 0,8 hl.

La chaudière à maisches est construite comme une cuve-matière, mais de dimensions plus petites. On lui donne généralement une contenance de 3,25 hl par 100 kg de versement.

Pour permettre la cuisson de maisches de petit volume, il faut que la surface de chauffe ne monte qu'à faible hauteur dans la chaudière, ou qu'elle soit divisée en deux parties indépendantes.

CHAPITRE 3: LA FILTRATION DU MOÛT

1. THÉORIE ET PRINCIPES

Toutes les matières solubles étant dissoutes par le brassage, il faut maintenant séparer le moût de la partie insoluble, la drêche. L'opération se passe en deux phases : d'abord l'écoulement du moût, puis le lavage de l'extrait qui imbibe encore la drêche. Celle-ci contient 80 % de moût qui si on ne le récupère pas entraîne d'importantes pertes de rendement.

Le moût et les eaux de lavage doivent s'écouler clairs ; si trop de matières mal dissoutes sont entraînées, la qualité de la bière peut s'en ressentir.

L'oxydation du moût est également défavorable à la qualité. Cette oxydation au lavage peut être évitée en maintenant la drêche sous eau chaude.

La température joue un autre rôle lors de la filtration. En effet, par refroidissement le moût devient beaucoup plus visqueux. Il faut donc laver à l'eau chaude et réchauffer l'appareil de filtration.

Les objectifs de la filtration sont donc :

- obtenir un moût clair et brillant ;
- réaliser un rendement d'extraction équivalent au rendement de laboratoire ;
- l'obtention d'une drêche la plus sèche possible.

Dans le monde industriel actuel, il est évident que cette opération doit de plus permettre une automatisation et une rentabilisation maximum.

La filtration et le lavage peuvent être réalisés selon deux techniques différentes : la cuve-filtre qui est une cuve à double fond perforé, ou bien le filtre à moût qui est un filtre à toiles.

Comparaison entre la cuve-filtre et le filtre à moût

- * Le filtre à moût travaille plus vite, ce qui est plus avantageux quand les brassins se suivent constamment.
- * On peut mettre en oeuvre des quantités plus importantes de grains crus en utilisant le filtre à moût.
- * En moyenne, on obtient 1 % de rendement en plus dans le filtre à moût vu que la mouture est plus fine et que l'extraction de la drêche est plus efficace.
- * Le filtre à moût est calculé pour un versement donné et on n'a que très peu de flexibilité à ce niveau.

2. LA CUVE-FILTRE

A la fin de l'empâtage, on agite le brassin et on le pompe sur la cuve-filtre en l'agitant constamment afin de répartir la drêche uniformément sur la cuve.

Avant de pomper sur la cuve-filtre, on doit aussi introduire de l'eau dans celle-ci jusqu'au-dessus du double fond, sinon il y reste de l'air, qui entrave l'écoulement. Pour assurer une bonne évacuation de cet air, on introduit l'eau par en-dessous. De plus, l'utilisation d'eau bouillante permet de réchauffer la cuve.

La couche de drêche dans la cuve ne peut être trop épaisse, généralement 35 cm.

Le pompage terminé, on laisse se déposer la drêche avant de commencer à soutirer le moût.

Les premiers moûts sont troubles et repompés prudemment sur la cuve-filtre.

Ensuite, dès que les moûts sont clairs, ils sont envoyés à la chaudière d'ébullition.

On laisse ainsi couler tout le moût dense.

Un mauvais brassin filtre lentement ou s'arrête même tout à fait de couler. Dans ce cas, il faut remuer la drêche à l'aide des couteaux prévus dans la cuve-filtre.

Après filtration des moûts denses, on commence aussitôt les lavages.

Actuellement, le lavage se fait par déplacement, la couche de drêche étant arrosée d'eau chaude par le haut et maintenue constamment sous eau. Ce lavage dure normalement 2 à 3 heures.

L'élément important de la cuve-filtre est évidemment le faux-fond. Actuellement, il est construit en acier inoxydable, permettant un pourcentage d'ouverture entre 15 et 25% de la surface du faux-fond.

3. LE FILTRE À MOÛT

Dans les pays où l'approvisionnement en matières premières est incertain, la cuve-filtre est souvent remplacée par un filtre à moûts. Il se compose de cadres creux où se dépose la drêche, alternant avec des plateaux rainurés sur lesquels on pose des toiles.

Le brassin et les eaux de lavage sont amenés dans les cadres et plateaux par des canaux latéraux formés par la juxtaposition des pièces du filtre.

Lorsque le filtre est monté, on le réchauffe en y laissant circuler de l'eau chaude. Ensuite, on ouvre tous les robinets et on y pompe le brassin en l'agitant constamment dans la cuve-matière.

Le premier moût s'écoule des robinets et n'a pas besoin d'être regroupé, car il est très vite clair et peut donc aller directement à la chaudière.

Pour que le lavage soit efficace, il est indispensable que les cadres soient bien remplis, car sinon, l'eau de lavage y passerait au-dessus de la drêche. De plus, tous les cadres doivent être remplis de la même façon, sinon le rendement est mauvais.

4. LE FILTRE 2001

4.1. DESCRIPTION DES PRINCIPES DU FILTRE 2001

Le filtre est similaire à un filtre à moûts. Les cadres sont divisés en deux par une membrane gonflable et insérés entre deux plaques recouvertes de la membrane filtrante.

Le procédé de filtration entièrement automatisé se déroule en six étapes.

- remplissage du filtre par le bas et à basse pression ;
- filtration du moût en formant une couche de drêche contre la membrane filtrante ;
- une précompression, grâce aux membranes gonflables, de la couche de drêche permet de récupérer de l'extrait sans utilisation d'eau de lavage ;
- l'eau de lavage est alors introduite par la même conduite que le moût et répartie entièrement sur toute la surface de la drêche ;
- une compression de la drêche permet une nouvelle récupération d'extrait ;
 - la drêche est ensuite éliminée par ouverture du filtre.

4.2. COMPARAISON DU FILTRE 2001 ET DES AUTRES TECHNIQUES DE FILTRATION

Étant donné que la filtration s'effectue sur une couche de drêche moins épaisse et parfaitement homogène, le moût devient rapidement clair et contient très peu d'acides gras. Le lavage des drêches est très efficace et utilise moins d'eau que les techniques classiques de filtration. La compression finale permet de réduire l'humidité présente dans la drêche favorisant ainsi son évacuation et son utilisation ultérieure.

De plus, le procédé est entièrement automatisé même pour l'élimination de la drêche et le nettoyage des membranes filtrantes.

CHAPITRE 4: ÉBULLITION DU MOÛT

1. BUTS DE LA CUISSON DU MOÛT

Le but de la cuisson est de stabiliser la composition du moût et de l'aromatiser avec le houblon.

De nombreuses réactions complexes se déroulent lors de l'ébullition du moût. Lorsque celui-ci est chauffé, les amylases résiduelles et les autres enzymes sont inactivés ce qui arrête le processus d'extraction des matières premières et fixe la composition en hydrate de carbone du moût.

Lors de l'ébullition, le moût est stérilisé et la microflore du malt, du houblon et des autres matières premières est détruite.

Si l'ébullition se poursuit, certaines protéines coagulent et d'autres interagissent avec des sucres et/ou des substances polyphénoliques (tannins). Le précipité insoluble résultant de ces interactions est appelé le "trub" ou "trouble chaud".

Lors de la cuisson du moût, les substances actives du houblon sont extraites et peuvent être transformées ou réagir avec d'autres constituants du moût.

La coloration du moût augmente également lors de la cuisson, surtout par la formation de composés colorés (mélanoïdines), mais aussi par oxydation des tannins. Ces deux réactions étant favorisées par un pH élevé, le pH à l'ébullition est souvent corrigé pour la fabrication des bières de fermentation basse (pils) par addition d'acide en chaudière d'ébullition.

Dans celle-ci, le taux d'évaporation horaire est de 5 à 10 % ce qui permet d'éliminer une partie de l'eau utilisée lors du lavage du filtre à moût.



Cuve d'ébullition de l'Abbaye de Rochefort en Belgique

2. LES TRANSFORMATIONS LORS DE L'ÉBULLITION DU MOÛT

2.1. LES SUCRES

Si l'on se réfère à la composition en hydrates de carbone du moût, 68 à 75 % des sucres sont utilisables par la levure en fermentation. Par contre, 23 à 28 % sont des polysaccharides plus complexes et des dextrines qui ne sont normalement pas fermentés et se retrouvent intacts dans le produit fini. Si, comme dans le cas de la fabrication du whisky, on omet l'ébullition, les enzymes resteront actifs plus longtemps et la majorité des dextrines sera transformée en sucres fermentescibles.

Dans le process de brassage, les réactions de coloration se font au touraillage du malt et se poursuivent lors de l'ébullition du moût.

Ces réactions de brunissement ne sont pas catalysées par des enzymes et les produits formés sont des polymères de haut poids moléculaire solubles dans l'eau : les mélanoidines.

Les propriétés de ces mélanoidines dépendent de la nature des composés aminés et des sucres impliqués dans leur formation. Ces réactions sont donc largement responsables de la coloration et des caractéristiques organoleptiques du moût et de la bière.

Les réactions peuvent être inhibées par l'addition de SO₂. De plus, la couleur du moût peut être réduite par des périodes d'ébullition plus courtes, mais à température plus élevée.

2.4. INTERACTIONS PROTÉINES-TANNINS

Les tannins sont extraits des végétaux et réagissent avec les protéines.

Dans le procédé brassicole, les constituants polyphénoliques du malt et du houblon interagissent avec les protéines :

- pendant l'ébullition du moût pour former le trub ;
- pendant le refroidissement en faisant apparaître le trouble au froid ;
- lors du conditionnement et du stockage où peut se développer un trouble colloïdal.

Les interactions protéines tannins sont dues au départ à des liens hydrogènes. Au cours du stockage, des oxydations peuvent se produire et entraîner la formation de liens covalents entre les protéines et les tannins, mais les mécanismes de ces réactions ne sont pas entièrement connus.

2.5. LES RÉSINES DE HOUBLON

Les résines de houblon, dont les détails ont été étudiés dans le chapitre consacré aux matières premières, sont également un ensemble de composés polyphénoliques et peuvent donc également polymériser et réagir avec les protéines.

Mais, certains des constituants des résines de houblon vont aussi subir des modifications lors de l'ébullition du moût et ainsi participer à l'amertume de la bière.

Les composés intervenant dans celle-ci sont les acides iso-alpha formés à partir des acides alpha au cours de l'ébullition.

Ces acides iso-alpha ainsi formés sont solubles et amers, mais le rendement d'isomérisation dépasse rarement 50 %.

Les extraits de houblon permettent une utilisation plus efficace car les acides alpha peuvent être isomérisés avant addition à la chaudière d'ébullition. Dans le cas de l'utilisation d'extraits isomérisés, il n'est plus nécessaire de bouillir pendant 90 minutes pour transformer les résines de houblon.

De plus, il ne faut pas perdre de vue un autre constituant du houblon qui participe au parfum de la bière : les huiles essentielles. Ces composés sont relativement volatils et sont donc éliminés au cours de l'ébullition. Si l'on désire en conserver une partie dans la bière, il y a lieu de faire l'addition de houblon en plusieurs étapes au cours de l'ébullition.

3. MÉTHODES D'ÉBULLITION DU MOÛT

Le chapitre précédent illustre les nombreux et complexes mécanismes chimiques et physiques qui se déroulent lors de l'ébullition du moût. Il est évidemment impossible de trouver des conditions pratiques où tous ceux-ci sont optimum.

Ainsi, chaque brasserie détermine sa propre méthode d'ébullition du moût, et ces différences sont en partie responsable du caractère typique de la bière produite.

Pour illustrer la complexité de la situation, le tableau ci-dessous reprend les différentes opérations unitaires impliquées dans l'ébullition du moût, la séparation du houblon et le refroidissement du moût :

a) Ébullition du moût

- transfert de chaleur et évaporation
- stérilisation et dénaturation des enzymes
- coagulation des protéines et des tannins
- transformation des constituants du houblon
- réaction entre d'autres composés du moût (formation de couleur)
- extraction de composés du houblon
- distillation de substances volatiles.

b) Séparation des résidus de houblon et du trub

c) Refroidissement du moût

- transfert de chaleur
- production de trouble au froid
- aération du moût.

3.1. CHOIX DES MATÉRIAUX

Les chaudières d'ébullition étaient, par le passé, construites en cuivre. En effet, celui-ci est malléable (permet d'obtenir des formes de cuves particulières), possède un bon coefficient de conductibilité thermique et une bonne résistance à la corrosion.

Au cours des dernières années, l'acier inoxydable a petit-à-petit remplacé le cuivre.

L'acier inoxydable est moins cher et l'épaisseur des parois des chaudières en inox est plus petite.

De plus, le cuivre n'est pas absolument inerte durant l'ébullition du moût et peut catalyser des réactions d'oxydation impliquant en particulier les polyphénols, ceci ayant comme conséquence une augmentation de la coloration du moût.

De nombreux objectifs doivent être pris en compte lors de la construction d'une cuve d'ébullition.

Le moût doit être agité vigoureusement par ébullition et éventuellement par agitation mécanique.

Le transfert de chaleur doit se faire de façon intensive et localisée afin d'obtenir un rendement le plus élevé possible.

De plus, le nettoyage de l'ensemble de la chaudière doit se faire par un système de nettoyage en place.

3.2. CHAUFFAGE DE LA CHAUDIÈRE D'ÉBULLITION

Le chauffage du moût peut se faire soit par des doubles enveloppes dans la chaudière d'ébullition soit par un échangeur thermique externe à la chaudière. Les doubles enveloppes peuvent être placées de façon non symétrique autour de la chaudière afin d'augmenter l'agitation due à l'ébullition.

En effet, lorsque l'on cuit le moût sans l'agiter, il se produit souvent des arrêts d'ébullition, suivis d'une brusque reprise qui risque de faire déborder la chaudière. La profondeur de la chaudière joue également un rôle à ce niveau.

Au début de l'ébullition, le moût a une forte tendance à déborder parce qu'à ce moment les protéines, qui commencent à coaguler, permettent la formation d'une mousse stable.

On estime la violence de l'ébullition par le pourcentage d'eau évaporée en une heure. Une vive ébullition doit se traduire par une évaporation de 5 à 10 % du liquide.

3.3. LA CHAUDIÈRE D'ÉBULLITION

La chaudière d'ébullition classique est construite exactement comme une cuve matière moderne.

La contenance est fixée d'après le volume de moût qu'on veut faire par brassin. Cependant, le volume réel doit être de 25 % supérieur au volume de moût.

La périphérie de la chaudière est généralement ronde et le fond est bombé. Cette forme permet de bouillir violemment sans débordement, le moût étant rejeté vers le centre de la chaudière lorsqu'il monte le long des parois. Dans la cheminée, il y a toujours un évasement où l'on recueille les eaux qui se condensent dans celle-ci.

Ces eaux sont chargées d'huiles essentielles et ne seront pas utilisées pour l'alimentation des chaudières.

Il faut éviter de laisser couler ces vapeurs condensées dans la chaudière car les huiles essentielles qui y sont présentes ont été oxydées et donnent un mauvais goût et une âcreté à la bière.

Pour améliorer la turbulence du moût et l'intensité de l'ébullition, on place souvent, dans la chaudière, des surfaces de chauffe supplémentaires ou "surcuiseur".

Le plus simple est de faire, au fond de la chaudière, un renflement en forme de bosse. On admet dans cette partie de la surface de chauffe, la vapeur à une pression plus élevée pour encore renforcer la turbulence.

L'autre technique de chauffage du moût, c'est-à-dire via un échangeur thermique externe entraîne une modification de la construction de la chaudière d'ébullition tout en présentant différents avantages :

- le chauffage peut commencer avant remplissage total de la cuve ;
- le moût subit une ébullition très vigoureuse ;
- il y a moins de formation de mousse, ceci permettant de réduire le volume mort de la chaudière d'ébullition ;
- la cuve est facile à nettoyer par circulation de détergents à travers tout le circuit ;
- les volumes en chaudières d'ébullition peuvent être fort variables.

4. LE HOUBLONNAGE

4.1. CHOIX DU HOUBLON

Une bière brassée uniquement avec des céréales a un goût fade et neutre. Le houblon joue donc un grand rôle dans la qualité de la bière. Souvent, le brasseur utilise un mélange de deux ou de trois houblons afin qu'un caractère trop prononcé de l'un soit neutralisé par la présence des autres.

4.2. DOSE DE HOUBLON

La dose de houblon dépend de l'amertume que l'on désire obtenir dans la bière et de la richesse du houblon en acides alpha.

Il s'agit donc d'évaluer la dose de houblon selon le pouvoir d'amertume.

Actuellement on contrôle celle-ci par le dosage des iso-humulones dont les concentrations sont généralement comprises entre 15 et 40 mg/l suivant les types de bière.

4.3. LE MODE DE HOUBLONNAGE

La durée de cuisson du houblon dépasse rarement deux heures, car l'amertume deviendrait moins fine.

Rarement on ajoute l'ensemble du houblon en une seule fois.

Généralement, on donne un peu de houblon au début de l'ébullition. On ajoute la majeure partie une heure avant la fin de l'ébullition et souvent, on en met encore 10 à 20 %, 15 à 30 minutes avant la fin.

Ce houblon ne sera pas aussi bien extrait, mais laisse un peu de parfum et de goût "d'huiles de houblon".

Lorsqu'on ajoute le houblon par portions, il faut toujours mettre le houblon le plus vieux d'abord, pour éliminer par ébullition son arôme désagréable.

L'utilisation d'extraits de houblon permet une dissolution des matières amères et une isomérisation plus rapides. On obtient ainsi un meilleur rendement en acide iso-alpha.

Il faut cependant être prudent quant au choix de l'extrait de houblon. En effet, certains extraits ne contiennent que les acides alpha et pas les autres composés du houblon pouvant jouer un rôle dans la qualité de la bière (les huiles essentielles et les polyphénols).

5. ACIDIFICATION À L'ÉBULLITION

Nous avons déjà attiré l'attention à plusieurs reprises sur la nécessité de bien régler le pH au brassage.

Pour l'ébullition, il faut acidifier de telle façon que le pH soit de 5,2 à la fin de l'ébullition, ce qui représente 5,4 à 5,5 au début.

Cependant, il faut acidifier dès le début sans quoi l'âcreté du houblon, la coloration et l'oxydation seront déjà présentes et ne disparaîtront plus.

CHAPITRE 5: TRAITEMENT DU MOÛT

Après l'ébullition, il faut enlever du moût le houblon épuisé et les protéines coagulées (trub) avant de procéder au refroidissement du moût.

1. CLARIFICATION DU MOÛT

Lorsque l'on utilise du houblon sous forme de pellets, la séparation des résidus de houblon est difficile. On doit opérer par dépôt, par filtration ou par centrifugation, afin d'éliminer en même temps le trouble et le houblon moulu.

La centrifugation est un moyen facile de séparer les résidus de houblon et le trouble du moût. Les avantages de la centrifugation sont :

- place occupée faible ;
- peu de travail de vidange et de nettoyage ;
- stérilisation facile de la centrifugeuse et le moût n'est pas exposé aux infections pendant la centrifugation ;
- le trub étant recueilli en masse compacte il n'y a quasi pas de perte de moût.

Pour la séparation du trouble, on utilise une vitesse de rotation d'environ 4 000 tours/minute. Le moût est soumis à la force centrifuge et les particules en suspension s'accumulent contre la paroi du bol tournant.

2. REFROIDISSEMENT DU MOÛT

Avant de l'ensemencer avec la levure, le moût doit être refroidi à 14-16°C pour une fermentation haute et 6-9°C pour une fermentation basse.

La grande préoccupation à partir du moment où on refroidit le moût est de le protéger de toute infection qui pourrait gâter la bière.

De ce point de vue, la zone critique se situe entre 40°C et 20°C.

Il faut que, tout en maintenant la stérilité, le refroidissement assure :

- l'élimination de la cassure ;
- l'absorption suffisante d'oxygène.

Lorsque le moût est en contact avec l'oxygène à température élevée, il se produit une oxydation qui est défavorable à la qualité de la bière.

Mais, en-dessous de 40°C, il se produit moins d'oxydation. Le moût assimile alors simplement l'oxygène indispensable à un bon développement de la levure pendant la fermentation.

Dans les installations modernes, on refroidit tout à fait aseptiquement dans des appareils fermés et on assure la dissolution d'oxygène en insufflant de l'air stérile dans le moût.

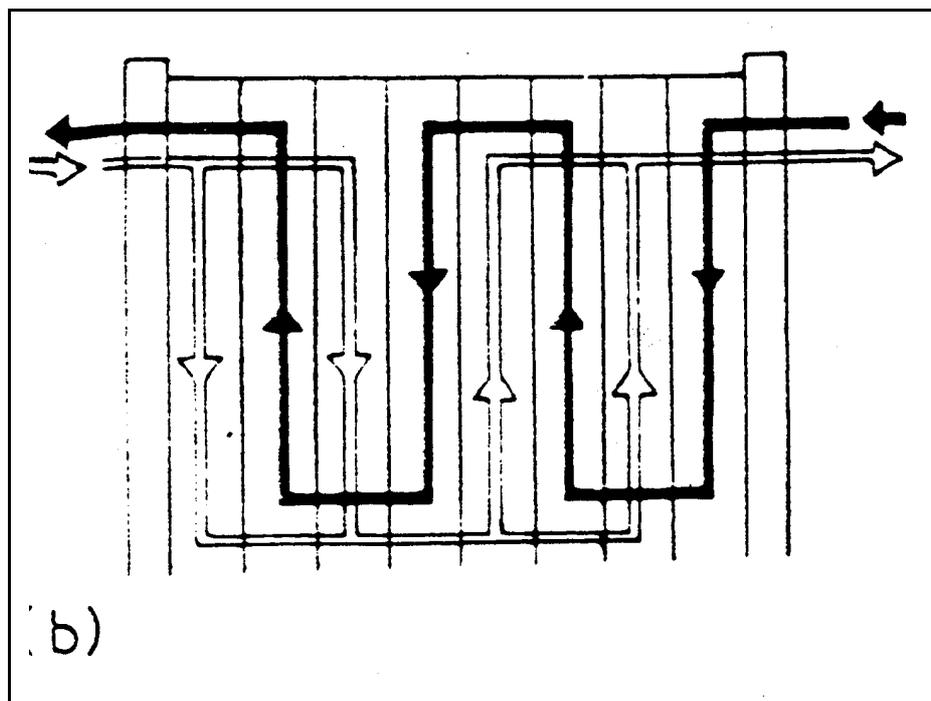
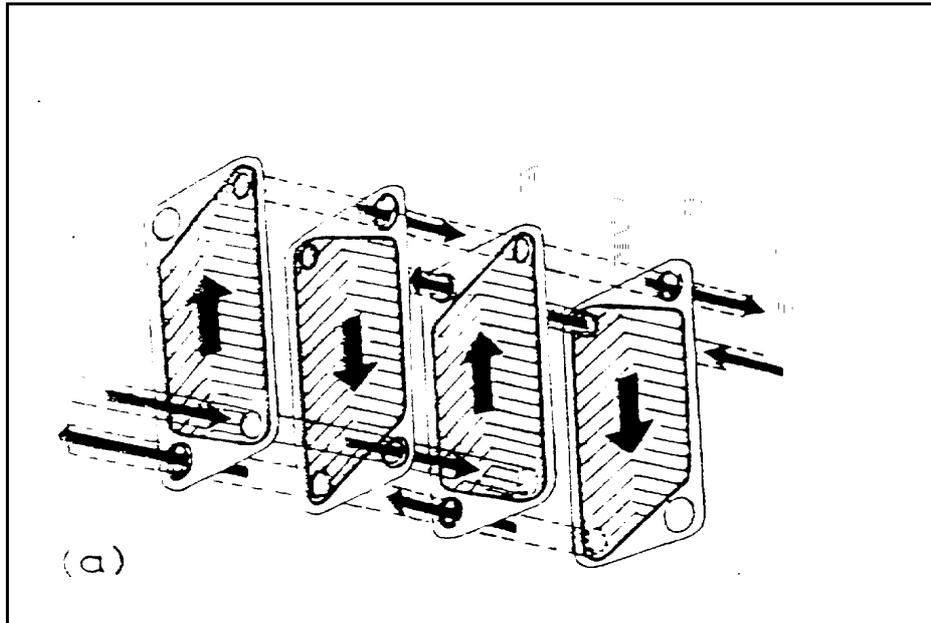
2.1. RÉFRIGÉRANTS À MOÛTS

Il en existe de nombreux modèles, mais quel que soit le type, la circulation doit toujours y être méthodique, c'est-à-dire que l'eau doit entrer à l'extrémité où le moût s'écoule.

Le réfrigérant doit répondre aux conditions générales suivantes :

- être facile à nettoyer ;
- être parfaitement étanche ;
- donner un bon rendement.

Les réfrigérants couramment utilisés en brasserie sont des échangeurs à plaques en acier inoxydable.



Shémas d'un refroidisseur à plaque

Ils sont constitués d'une succession de plaques entre lesquelles circulent alternativement le moût à refroidir et l'eau ou la solution de réfrigération.

Pour la traversée des liquides entre les plaques, il y a un passage libre entre deux canaux opposés en diagonale de chaque plaque.

Pour que le refroidissement soit méthodique, la circulation des liquides doit être en sens opposé dans deux plaques voisines.

L'échangeur à plaque peut être formé de deux parties : dans la première, le moût circule à contre-courant de l'eau et dans la seconde section contre du glycol afin de réduire davantage la température du moût.

Le nombre de plaque dépendra du débit que l'on doit donner à l'appareil. Les dessins dans ces plaques permettent un écoulement turbulent et donc un bon transfert de chaleur.

De plus, d'un point de vue énergétique, les échangeurs à plaques produisent un volume considérable d'eau chaude (70°C) qui peut être utilisée à l'empâtage ou dans des circuits de nettoyage.

Le nettoyage du réfrigérant à plaque ne nécessite pas un démontage après chaque brassin. Il suffit d'y faire circuler par les conduites à moût une solution "détergente" chaude puis de la vapeur afin de stériliser le réfrigérant.

2.2. OXYGÉNATION DU MOÛT

Comme le moût reste à l'abri de l'air dans le réfrigérant à plaques, il y est protégé contre les infections, mais il n'est pas possible de l'oxygéner. Il faut donc injecter de l'air stérile dans le moût à la sortie.

L'air doit toujours être injecté à travers un orifice très étroit de manière à bien se disperser dans le moût et ainsi favoriser au maximum sa dissolution.

La dose d'oxygène à dissoudre dans le moût est de 6 à 8 mg/l.

CHAPITRE 6: LA FERMENTATION

Le moût, ainsi préparé, est introduit dans la cuve de fermentation et ensemencé avec la levure (champignon unicellulaire).

La levure est la "pierre maîtresse" du brasseur.

Au cours de la fermentation, elle se multiplie et transforme les sucres du moût en alcool, par l'intermédiaire de différents enzymes. Sans la levure, la bière ne peut exister.

C'est à Louis PASTEUR que l'on doit la première explication scientifique de l'action des levures.

La régularité des fermentations et la constance parfaite de la qualité de la bière, jour après jour, exigent l'emploi de levures rigoureusement sélectionnées.

1. NOTIONS FONDAMENTALES SUR LES LEVURES

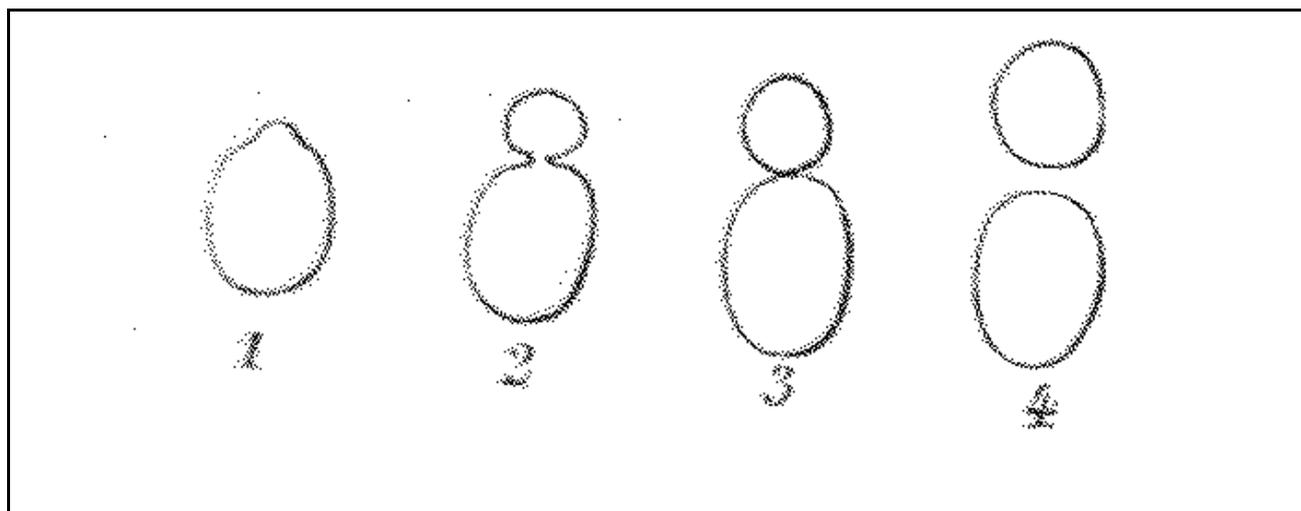
1.1. CLASSIFICATION DES LEVURES

Les levures appartiennent au genre Ascomycète, mais seules certaines levures présentent un intérêt industriel lorsqu'elles se prêtent à des applications pratiques.

Les levures du genre *Saccharomyces* connaissent d'importantes applications en panification, brasserie, production d'alcool et vinification.

Le genre *Saccharomyces* se distingue par les caractères suivants :

- les cellules se multiplient par bourgeonnement ;
- les cellules peuvent former un pseudo-mycélium
- les spores sont rondes ou ovales.



Stade de reproduction des cellules par bourgeonnement (Étude sur la bière de L.Pasteur)

En brasserie, deux souches différentes sont à envisager :

- *Saccharomyces cerevisiae* : levure haute ;
- *Saccharomyces uvarum* : levure basse.

Ces deux souches de levure ont un comportement différent en fermentation : *Saccharomyces uvarum* fermente à basse température et sédimente alors que *Saccharomyces cerevisiae* fermente à température plus élevée et forme un chapeau en fin de fermentation.

Parmi les levures hautes et basses, il existe encore une foule de variétés de souches qui se distinguent par des caractères physiologiques, tels que vitesse de croissance, vitesse de fermentation, floculation, assimilation de matières azotées, production d'arômes...

Ces caractères ont un grand rôle dans la typicité de chaque bière.

En brasserie, on parle beaucoup de levures "sauvages" : ce sont les levures qui ne sont pas des levures de bière et qui constituent des infections. En effet, lorsqu'elles se développent, elles forment dans la bière d'autres substances que celles formées par les levures de bière et nuisent ainsi à sa qualité.

1.2. MORPHOLOGIE DE LA LEVURE

Les levures de brasserie sont unicellulaires, de forme sphérique ou ovale et leur taille varie d'après les espèces ou les souches et même dans une culture pure d'une seule souche. Leur diamètre moyen est compris entre 5 et 10 microns.

Une observation au microscope électronique de la levure permet de mettre en évidence les différentes composantes de la cellule.

Elle comprend le protoplasme et la membrane cellulaire qui l'entoure.

Dans le protoplasme, on distingue le noyau, qui contient les chromosomes, composés des gènes qui sont les éléments de base des caractères héréditaires de la levure.

Le reste du protoplasme, appelé cytoplasme contient les mitochondries. C'est dans celles-ci que se déroulent les dernières étapes du métabolisme énergétique dans des conditions aérobiques.

Par contre dans des conditions anaérobiques (ou fermentaires), les mitochondries ne contiennent plus tous les enzymes impliqués dans les mécanismes respiratoires.

Des mutants au niveau des gènes contenus dans les mitochondries apparaissent à une fréquence élevée (0,5 %) et sont appelés mutants "petites" ou déficients respiratoires.

Enfin, la structure des membranes joue un rôle important dans l'organisation de la cellule de levure.

Cette membrane est composée de lipides et de phospholipides et contient des protéines et des stérols.

Le besoin en acides gras insaturés et en stérols dans les membranes représente en grande partie le besoin en oxygène des levures de brasserie.

1.3. MULTIPLICATION DE LA LEVURE

La levure se multiplie par bourgeonnement. Une même cellule peut bourgeonner de nombreuses fois ; comme chaque bourgeonnement laisse une cicatrice sur la paroi cellulaire, on peut estimer le nombre de générations qu'a subit une cellule.

Pour se multiplier la levure a besoin d'aliments hydrocarbonés, azotés et minéraux et aussi de facteur de croissance.

Lorsque toutes ces matières nutritives se trouvent dans le moût en quantité suffisante, on peut distinguer trois phases dans le développement de la levure :

- une phase de latence pendant laquelle on ne constate pas encore de développement ;
- une phase exponentielle au cours de laquelle la levure se reproduit ;
- une phase stationnaire où le développement se ralentit par suite de la formation d'alcool, de CO₂, de la diminution du pH et de la diminution de la concentration en sucre.

1.4. GÉNÉTIQUE DE LA LEVURE ET AMÉLIORATION DE SOUCHES

Les caractères héréditaires fondamentaux d'un organisme vivant sont déterminés par les gènes présents sur les chromosomes contenus dans le noyau des cellules.

Les levures de brasserie sont polyploïdes c'est-à-dire qu'elles contiennent plusieurs exemplaires d'un même gène. Ceci assure la stabilité de ces souches au cours des divisions successives, mais complique l'étude génétique de ces souches ainsi que leur amélioration.

En effet, au cours de ces dernières années, les programmes d'amélioration génétique des levures industrielles se sont beaucoup développés. Cependant, malgré les performances des souches génétiquement modifiées déjà existantes, aucune n'est utilisée en fabrication industrielle vu la législation inadaptée et l'opinion publique peu favorable à cette pratique.

Le génie génétique peut offrir beaucoup à l'industrie brassicole. Alors que les ingénieurs ont fourni des efforts considérables pour optimiser chaque opération unitaire de l'élaboration de la bière, et en particulier le "design" des cuves de fermentation, les propriétés de la levure sont restées pratiquement inchangées depuis le début de son utilisation en fermentation brassicole. Ses performances ont été quelque peu améliorées en agissant sur son environnement, soit en modifiant les matières premières, soit en changeant certains paramètres de fermentation comme la température ou l'aération du moût.

Actuellement les techniques de biologie moléculaire ainsi que les connaissances en génétique permettent de construire des souches parfaitement adaptées aux exigences des nouvelles technologies.

Il est en effet possible, à l'heure actuelle, de prélever une unité d'information génétique ou gène dans n'importe quel micro-organisme et de l'introduire, à un endroit précis, dans l'ensemble du matériel génétique ou génome contenu dans le noyau de la levure. La nouvelle souche ainsi produite appelée levure recombinante, a acquis dans son patrimoine génétique une propriété supplémentaire qui sera transmise à sa descendance.

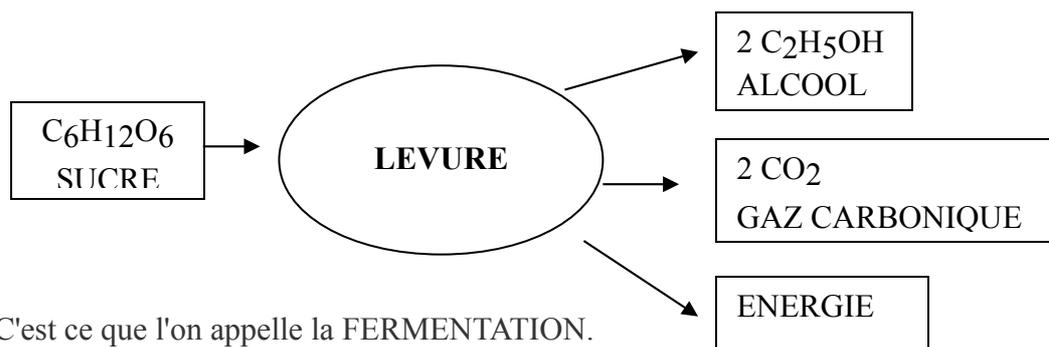
Cette technique génétique permet donc d'introduire dans la levure industrielle, de nouvelles activités enzymatiques ou de modifier les flux de voies métaboliques existantes dans le but d'améliorer la tâche du brasseur et la qualité du produit fini.

1.5. MÉTABOLISME DE LA LEVURE

Le métabolisme est l'ensemble des réactions enzymatiques qui se déroulent dans une cellule ainsi que l'organisation et la régulation de ces réactions. Une voie métabolique consiste en une série de réactions chimiques catalysés par des enzymes.

1.5.1. FERMENTATION ET RESPIRATION

Lorsque la levure estensemencée dans un milieu nutritif contenant des sucres fermentescibles, elle transforme ceux-ci en alcool et gaz carbonique.



C'est ce que l'on appelle la FERMENTATION.

La vitesse de fermentation dépend surtout de la température, mais est aussi influencée par la souche de levure et son état physiologique.

1.5.2. ASSIMILATION DES COMPOSÉS AZOTÉS DU MOÛT.

Les aliments azotés de la levure sont les ions ammonium, les acides aminés et les peptides simples capables de traverser la membrane cellulaire.

L'absorption des acides aminés du moût par les levures de brasserie se fait d'une manière séquentielle. Ceci serait dû à la spécificité des perméases responsables du transport des acides aminés.

Le métabolisme des acides aminés joue un rôle prépondérant sur les qualités de la bière produite.

En effet, les alcools supérieurs présents dans la bière sont issus du métabolisme azoté.

1.6. FLOCCULATION DE LA LEVURE

La levure floccule à la fin de la fermentation. En brasserie, ce phénomène a une importance considérable car si la levure floccule trop, elle n'est plus en contact avec la bière et elle n'achève pas la fermentation.

La flocculation est une agglutination de cellules de levure, qui se produit vers la fin de la fermentation.

Cette flocculation dépend de deux facteurs :

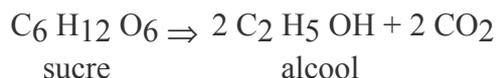
- la composition du milieu : la présence d'ion calcium favorise la flocculation.
- le génotype de la souche : la flocculation est déterminée génétiquement par de nombreux gènes.

2. LES TRANSFORMATIONS PENDANT LA FERMENTATION

2.1. L'ATTÉNUATION

Après l'exposé théorique des propriétés de la levure et des mécanismes par lesquels elle transforme le milieu dans lequel elle se développe, voyons comment ces transformations vont se passer dans la fermentation de la bière.

La première de ces transformations est la fermentation des sucres.



Le sucre qui est plus dense que l'eau est remplacé par de l'alcool, qui est moins dense que l'eau. Donc, au cours de la fermentation, la densité du moût va diminuer et ceci va servir de mesure au brasseur pour contrôler la progression de la fermentation. Ceci est représenté par l'atténuation et s'exprime en % de diminution de la densité.

$$\text{Atténuation} = (E - E')/E \times 100$$

E : teneur en extrait du moût au début
E' : teneur en extrait du moût en fermentation

Lorsque tous les sucres fermentescibles sont fermentés, on atteint l'atténuation limite. Il est très important de connaître ce chiffre pour bien conduire la fermentation.

Comme nous l'avons déjà vu précédemment, seuls les mono-, di- ou trisaccharides sont fermentescibles.

Ce sont (en % des sucres fermentescibles totaux) :

- le maltose (60 à 70 %) ;
- le maltotriose (14 à 20 %) ;
- le glucose (10 - 15 %) ;
- un peu d'autres mono- et disaccharides.

Tous ces sucres sont métabolisables par les levures de brasserie, mais pas avec la même vitesse.

Ces vitesses de fermentation dépendent de la souche et de l'état physiologique de la levure.

La composition du moût peut également influencer l'atténuation. En effet, une aération insuffisante du moût conduit à de mauvaises atténuations par manque de division cellulaire. Il faut un minimum de 6 mg/l d'oxygène dissous dans le moût.

2.2. MÉTABOLISME DES MATIÈRES AZOTÉES

Comme nous l'avons évoqué dans le paragraphe concernant le métabolisme de la levure, celle-ci absorbe une partie des acides aminés présents dans le moût.

Mais, la levure excrète aussi des matières azotées à la fin de la fermentation.

Ainsi, la teneur en azote diminue globalement d'un tiers environ pendant la fermentation. Un moût à 12 % d'extrait contient en moyenne entre 500 et 1100 mg de matières azotées par litre suivant la composition du versement. L'azote aminé libre indispensable au métabolisme de la levure représente quant à lui environ 100 à 250mg/l.

2.3. PRODUCTION DE COMPOSÉS VOLATILS

La levure produit au cours de la fermentation une panoplie de substances volatiles qui vont donner le parfum à la bière.

On peut distinguer dans ces matières volatiles cinq classes de composés :

- les alcools supérieurs
- les acides volatils
- les esters
- les aldéhydes et les composés carbonylés
- les composés soufrés.

2.3.1. LES ALCOOLS SUPÉRIEURS

Ils sont principalement des sous-produits du métabolisme azoté et en particulier des acides aminés.

2.3.2. LES ACIDES VOLATILS

Le principal représentant est l'acide acétique qui est un produit secondaire normal de la fermentation.

L'oxydation des alcools supérieurs peut donner un peu d'autres acides volatils.

2.3.3. LES ESTERS

Ils ont une importance capitale car ce sont les principaux constituants de l'arôme. Ils sont formés par des réactions enzymatiques entre des alcools et des acides.

2.3.4. LES ALDÉHYDES ET COMPOSÉS CARBONYLÉS

L'ensemble de ces composés carbonylés joue un rôle néfaste sur la qualité de la bière.

Un de ces composés bien connu est le diacétyl qui donne une odeur de beurre rance à la bière. Il provient du métabolisme des acides aminés valine, leucine et isoleucine.

2.3.5. LES COMPOSÉS SOUFRÉS

Le moût contient des quantités variables de composés soufrés vu les doses variables de sulfate présentes dans l'eau de brassage.

La levure a besoin de soufre pour la synthèse des protéines, de certains cofacteurs et de vitamines.

Au cours de la fermentation, la levure produit de l' H_2S et divers composés soufrés qui ont très mauvais goût.

Le diméthylsulfure (DMS) fait également partie de la saveur de certaines bières et en particulier des pils.

2.4. ACIDITÉ ET DÉGAGEMENT DE CO₂

Le pH diminue au cours de la fermentation. Cet abaissement provient de la formation de CO₂ et d'acides organiques.

La teneur en CO₂ de la bière à la fin de la fermentation dépend de sa température. Les bières de fermentation basse en contiennent généralement 3 à 3,5 g/l. Pendant la garde, on maintient la bière sous pression et on règle ainsi la teneur en CO₂.

Le pH normal des bières est compris entre 4,0 et 4,4. Le pH initial du moût n'a que peu d'influence sur le pH final de la bière.

Cependant, les tampons du moût, qui sont principalement les phosphates, vont exercer une influence. La levure produisant toujours à peu près la même proportion d'acides, l'abaissement du pH sera d'autant plus important que le moût contient moins de tampons.

On constate ainsi que l'emploi de grains crus, qui n'apportent guère de tampons, donne un pH plus bas qu'un brassin de malt pur.

Mais on constate également qu'il existe des influences sur le pH dues à la souche de levure utilisée et à la façon plus ou moins active dont se déroule la fermentation.

Des bières infectées peuvent donner un pH plus bas vu l'acidité produite par les bactéries. Il existe également des bières où le pH peut descendre jusqu'à 3 comme par exemple dans les Lambics.

2.5. TRANSFORMATIONS DIVERSES

- La coloration de la bière diminue pendant la fermentation.
La décoloration est due, en partie, à l'abaissement du pH. En effet, les mélanoidines et le polyphénols oxydés pâlisent lorsque diminue le pH.
De plus, des substances colorées sont d'une part absorbées par la levure et d'autre part entraînées par les bulles de CO₂ qui forment l'écume en surface.
- Les iso-humulones sont partiellement éliminées par la fermentation. Cette perte (10 %) est due à la multiplication de la levure et par entraînement dans l'écume avec le dégagement de CO₂.
- Les polyphénols sont aussi éliminés en partie par absorption à la levure et par la formation d'écumes.

3. CONDUITE DE LA FERMENTATION

Il existe différents types de fermentations brassicoles. Nous avons vu qu'il existe deux sortes de souches de levures différentes qui produisent deux catégories de bières : les bières de fermentation haute et de fermentation basse.

Les bières de fermentation haute sont fermentées à une température de 15 à 25°C avec les levures *Saccharomyces cerevisiae* qui montent à la surface pendant la fermentation.

Les bières de fermentation basse sont fermentées (à une température plus basse de 6 à 10°C) avec les levures *Saccharomyces uvarum* et qui se déposent au fond de la cuve.

3.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA CONDUITE DE LA FERMENTATION

Quelle que soit la méthode suivie, il y a certains principes généraux à observer dans la conduite de la fermentation.

3.1.1. CHOIX DE LA LEVURE

La levure a bien entendu des propriétés spécifiques à chaque souche. Elle est donc l'élément essentiel pour mener à bien la fermentation et conférer au produit fini les caractéristiques organoleptiques souhaitées.

L'étude des propriétés d'une souche de levure particulière ne commence qu'après la découverte de Emil Christian HANSEN en 1880. Il mit au point une méthode pour isoler des cellules uniques de levure par dilution successive d'une suspension de levure. Il était ainsi en mesure de séparer les différentes souches présentes dans une culture de levure et de les étudier chacune séparément après croissance sur, par exemple, du moût stérile.

De plus, par des cultures dans des volumes de plus en plus grands, une cellule unique peut ainsi donner un levain utilisable à l'échelle industrielle.

Ainsi, les découvertes de HANSEN ont permis de :

- sélectionner la souche de levure désirée ;
- maintenir cette souche indéfiniment pure ;
- réduire les risques d'infection des levains par des bactéries ou des levures sauvages.

La levure sera sélectionnée sur la base de l'arôme désiré pour la bière produite, le degré d'atténuation à atteindre, la quantité de levure en suspension et la croissance de la levure.

3.1.2. CULTURE PURE ET PROPAGATION DE LA LEVURE

Lorsque pour une raison ou l'autre la levure ne donne plus satisfaction, il y a lieu de la remplacer par un nouveau levain. Ceci se fait suivant la technique de culture pure mise au point par HANSEN.

La levure sélectionnée est mise en croissance d'abord à l'échelle du laboratoire puis, après dilutions successives, la culture sert d'inoculum pour une cuve industrielle. A chaque stade de culture, l'inoculum représente 5 à 10 % du volume total.

Le système de propagation de la levure doit être d'une grande qualité de façon à éviter tous les risques d'infection. Ainsi, toutes les cuves utilisées pour la propagation doivent être facilement nettoyables et stérilisables. De plus, ces cuves doivent posséder un système de régulation thermique afin de contrôler la température du milieu pendant la croissance de la levure.

Cependant, certaines brasseries utilisent des conditions similaires à la fermentation pour propager leur levure.

Dans ce cas, la croissance de la levure étant moindre, les volumes des cuves de propagation sont plus importants.

En brasserie, cette technique de propagation est utilisée pour remplacer régulièrement le levain après 8 à 10 générations, et également lorsque des problèmes de fermentation apparaissent.

Un contrôle simple consiste en une mesure de la viabilité des cellules.

Ceci se fait généralement par un examen microscopique d'une suspension de levure en présence de bleu de méthylène. Dans ces conditions, les levures vivantes sont incolores alors que les cellules mortes sont bleues.

3.2. LES FERMENTATIONS BRASSICOLES

La fermentation existe depuis une époque très lointaine, mais l'étude scientifique de celle-ci ne commença réellement qu'en 1876 avec la publication des "Études sur la bière" par Louis PASTEUR. Il montra surtout que les défauts de la bière provenaient de développements microbiens et il jeta les bases des techniques de stérilisation et de culture de micro-organismes.

Ces travaux ont été poursuivis par Emil Christian HANSEN qui développa la technique des cultures pures de levures.

Les améliorations des aspects microbiologiques de la fermentation ont été suivies d'une évolution des technologies. L'apparition des compresseurs et des techniques de refroidissement ont permis un contrôle de la température au cours du procédé de fermentation.

3.2.1. FACTEURS INFLUENÇANT LA FERMENTATION

Les principaux facteurs influençant la fermentation et la qualité de la bière sont les suivants :

- choix de la souche de levure ;
- état physiologique de la cellule lors de l'ensemencement ;
- quantité de levain ajouté au moût ;
- homogénéité de la suspension de levure au cours de la fermentation ;
- géométrie des cuves de fermentation ;
- aération du moût ;
- composition du moût et pH ;
- température et pression.

L'importance relative de ces différents paramètres varie d'une brasserie à l'autre en fonction du type de bière.

La quantité de levure ajoutée au moût lors de l'ensemencement influence fortement la vitesse de fermentation.

La distribution de la levure pendant la fermentation dépend de :

- l'aptitude de la levure à flocculer ;
- l'agitation due aux courants de convection et au dégagement de CO₂;
- la taille et la géométrie de la cuve de fermentation.

En effet, outre la levure, la géométrie des cuves influence beaucoup le bon déroulement de la fermentation. La dimension la plus importante à cet égard est la profondeur des cuves car celle-ci affecte :

- la sédimentation de la levure ;
- le dégagement de CO₂;
- la pression hydrostatique ;
- les courants de convection dans la cuve.

La composition du moût influence également la vitesse de fermentation, l'atténuation fin fermentation, la quantité de levure produite et la qualité de la bière obtenue.

Les constituants du moût qui jouent un rôle à ces niveaux sont :

- les sucres fermentescibles ;
- les matières azotées assimilables (les acides aminés) ;
- d'autres éléments nécessaires à la croissance de la levure (sels minéraux, vitamines).

Enfin la fermentation et surtout la qualité finale de la bière est influencée par le pH du moût.

3.2.2. CONDUITE DE LA FERMENTATION BASSE

Le moût arrive de la salle de brassage via les opérations de traitement du moût et en particulier le refroidissement à environ 7 à 10°C.

La levure est alors mélangée au moût qui entre dans la cuve de fermentation par le bas. On remplit la cuve jusqu'à 80 % de son volume total pour éviter que la mousse qui va se former par dégagement de CO₂ ne déborde.

La première manifestation apparente de la fermentation est une fine mousse blanche qui apparaît d'abord au-dessus des serpentins de refroidissement et le long des parois. A partir du deuxième jour de fermentation, des chapeaux de mousse apparaissent sur le moût : ce sont les KRAUSEN qui sont dus à l'intense métabolisme de la levure.

Celui-ci entraîne également une élévation de la température qu'il faut maîtriser afin qu'elle ne dépasse pas 10 à 12°C.

Le réglage de la température de la bière en fermentation est assez délicat ; il faut faire attention à ne pas faire baisser brusquement la température car dans ces conditions on freine trop la fermentation qui aura du mal à reprendre.

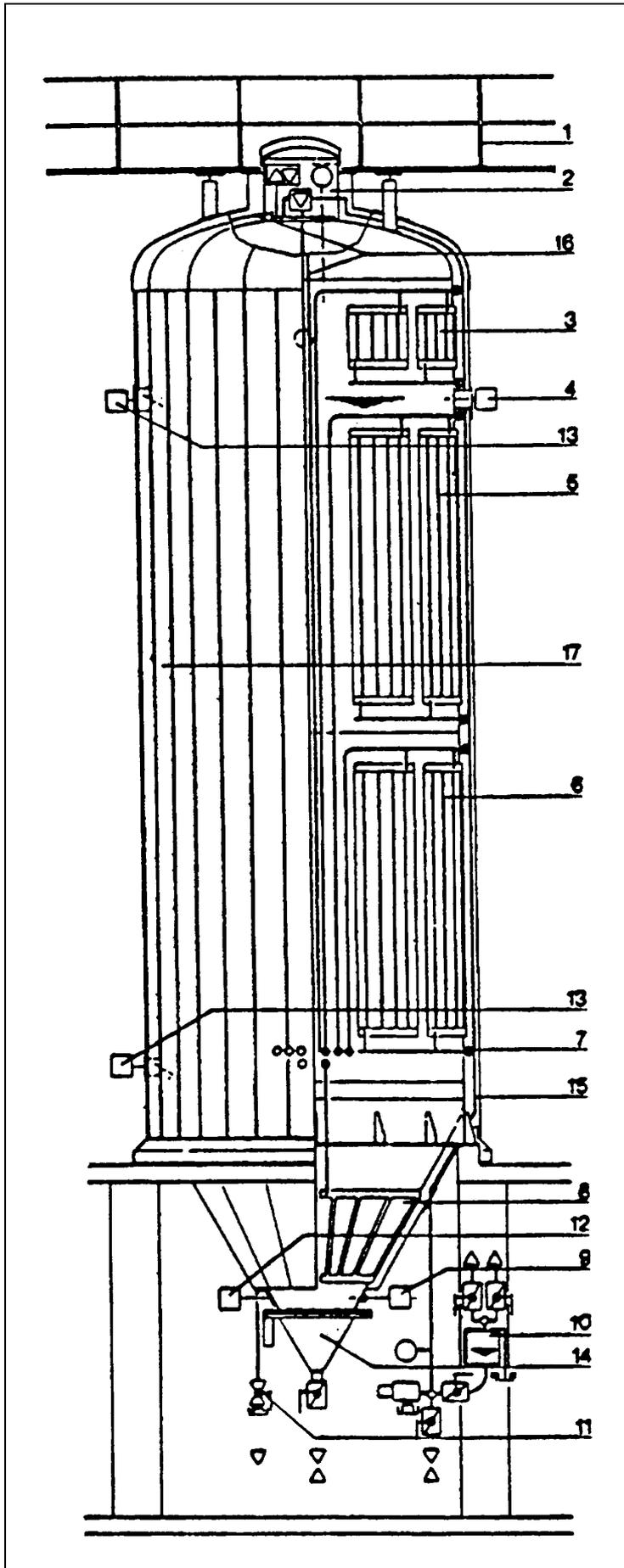
Il faut donc conduire la fermentation de telle sorte qu'elle soit régulière et active, terminée en 8 à 10 jours.

En fin de fermentation, la mousse présente sur la bière commence à brunir et la température tend à diminuer. Il faut alors surveiller de près l'atténuation de façon à garder 1 à 2 % de sucres fermentescibles pour la fermentation secondaire ou garde.

Afin de ralentir la fermentation et de séparer la levure de la bière, on réduit la température afin d'induire la floculation de la levure.

3.2.3. FERMENTATION EN CUVES CYLINDRO-CONIQUES

Une des premières modifications dans les cuves de fermentation fût sans conteste l'utilisation de cuves fermées. Ceci présente l'avantage de pouvoir réaliser la fermentation et la garde dans la même cuve, de mieux pouvoir contrôler la température et de récupérer rapidement le CO₂ dégagé.



- 1 - Passerelle de service
- 2 - Dôme supérieur comprenant la robinetterie
- 3 - Zone de refroidissement virole III (pour phase de garde)
- 4 - Sonde de niveaux maxi.
- 5 - Zone de refroidissement virole II
- 6 - Zone de refroidissement virole I
- 7 - Raccordement collecteurs NH_3
- 8 - Zone de refroidissement cône
- 9 - Sonde de niveaux mini.
- 10 - Robinetterie CO_2
- 11 - Prise d'échantillon
- 12 - Piquage pour sonde de niveau
- 13 - Piquage thermomètre
- 14 - Porte pivotante
- 15 - Collecteur air/ CO_2
- 16 - Gaine pour câble électrique
- 17 - Isolation

Cuve cylindro-conique

Ces cuves sont remplies en quelques heures par un mélange de différents brassins ce qui permet des coupages.

Les cuves de fermentation modernes les plus courantes sont actuellement les cuves cylindro-coniques d'une contenance de 100 à 5 000 Hl. L'angle du cône joue un rôle important lors de la floculation de la levure pour permettre sa récupération par le fond du cône. Cependant, certaines levures ne se prêtent pas bien à la floculation et une centrifugation peut s'avérer nécessaire pour la séparer de la bière.

Les avantages énoncés pour les cuves cylindro-coniques, sont :

- réduction des frais d'investissement et d'utilisation ;
- perte réduite de bière car bonne séparation de la levure ;
- augmentation de la vitesse et de la flexibilité des opérations ;
- qualité de la bière ;
- meilleure utilisation des cuves ;
- récupération facile du CO₂ ;
- nettoyage en place facile.

Les cuves modernes sont construites en acier inoxydable facile d'entretien. Elles sont isolées avec une couche de laine de verre ou de mousse isolante.

Ces cuves sont équipées de sondes de température et de doubles enveloppes permettant le refroidissement.

Dans ce type de cuve, les courants de convection et les mouvements du liquide sont d'une grande importance.

Pendant la fermentation, le CO₂ se dégage à partir du bas de la cuve, et en remontant vers la surface, crée un mouvement de la bière vers le haut au centre de la cuve.

La bière redescend ensuite le long des parois.

Lorsque cette circulation ralentit, des variations de température apparaissent en fonction de la hauteur dans la cuve. Pour contrôler ce phénomène, il faut disposer de sondes de température à différentes hauteurs dans la cuve.

Au cours de la fermentation principale, la vitesse d'atténuation dépend :

- de la composition du moût et en particulier les concentrations en sucres fermentescibles et en acides aminés ;
- de la teneur en oxygène dissous ;
- de la température ;
- de la pression
- de la concentration en levure.

3.2.4. RÉCUPÉRATION DU CO₂

La récupération de l'acide carbonique et sa bonne épuration prennent de plus en plus d'importance : on exige des durées de conservation de plus en plus longues de la bière, ce qui impose le soutirage sous contre-pression de CO₂.

Certaines impuretés sont à éliminer du CO₂:

- l'air qui provient du CO₂ récupéré au début lorsque tout l'air n'est pas encore évacué. En effet, l'air contenu dans le CO₂ pourrait oxyder la bière ;
- l'eau qui provient surtout des appareils de lavage du gaz. On élimine l'eau pour éviter qu'elle ne se congèle dans les détendeurs lors de la détente du gaz à l'emploi ;
- les matières volatiles qui sont plus ou moins abondantes suivant la composition du moût, la souche de levure et la température de fermentation.

Le CO₂ récupéré passe par un premier épurateur où il est lavé par une pluie d'eau en très fines gouttelettes.

Ensuite, le CO₂ est comprimé dans des tanks refroidis où l'eau se congèle. De là, il passe sur des sécheurs puis il est liquéfié par refroidissement et stocké. On purifie finalement le CO₂ après détente dans des filtres charbon actif avant utilisation.

CHAPITRE 7: LA GARDE

1. LES OBJECTIFS DE LA GARDE

Les objectifs poursuivis au cours de la garde sont les suivants :

- dépôt de la levure ;
- précipitation des complexes tanno-protéiques ;
- saturation de la bière par le CO₂;
- élimination de composés néfastes à l'arôme de la bière (composés soufrés et carbonylés) ;
- donner à la bière une rondeur et un équilibre organoleptique qui se traduit généralement par le moelleux.

Afin d'atteindre ces différents objectifs, il y a lieu de d'abord examiner en quoi consiste chacune de ces transformations et ensuite de définir au mieux la conduite de la garde.

2. LES TRANSFORMATIONS PENDANT LA GARDE

2.1. LE DÉPÔT DE LA LEVURE

Lors du passage de la fermentation à la garde, le traversage, il faut déterminer la concentration cellulaire.

Au cours de la garde, on souhaite que la levure décante de façon à pouvoir en récupérer une partie par une purge.

Cependant, le dépôt de la levure peut s'avérer difficile dans le cas d'une levure poussiéreuse. Celle-ci devra alors être éliminée par centrifugation ou filtration.

2.2. PRÉCIPITATION DES COMPLEXES TANNO-PROTÉIQUES

Le trouble se forme au froid et il faut donc systématiquement refroidir la bière jusqu'à - 1°C durant une partie de la garde pour éliminer ce trouble.

Il existe également d'autres techniques pour améliorer la stabilité colloïdale de la bière telle que la filtration sur pvpp (polyvinylpyrrolidone) qui sera décrite dans le chapitre 8 consacré à la filtration de la bière.

2.3. SATURATION PAR LE CO₂

La saturation par le CO₂ permettra à la bière de mousser, le CO₂ donne à celle-ci un goût rafraîchissant et pétillant.

La saturation en CO₂ peut être réalisée par une fermentation secondaire ou par injection d'acide carbonique. La quantité de CO₂ dissous dans la bière doit être constante pour ne pas modifier les qualités du produit fini. Les teneurs varient entre 4 et 6,5 g de CO₂/litre.

2.4. ÉLIMINATION DES COMPOSÉS NÉFASTES À L'ARÔME DE LA BIÈRE

Par lavage au CO₂, il y a élimination de certains composés néfastes à l'arôme de la bière. De plus, d'autres réactions chimiques interviennent pour modifier le profil organoleptique de la bière ; celles-ci peuvent être accélérées par une augmentation de la température.

2.5. LE MOELLEUX

Il faut conférer à la bière une rondeur et un équilibre organoleptique qui se traduit généralement par le moelleux. Certains peptides et acides aminés relâchés par la levure au cours de la garde participeraient au moelleux de la bière.

3. LA CONDUITE DE LA GARDE

Afin de permettre aux différentes transformations développées ci-dessus de se réaliser, il faut établir un profil de température au cours de la garde.

L'élimination de composés néfastes se fera d'autant mieux que la température est élevée car les réactions chimiques seront plus rapides et la fermentation secondaire plus active.

Mais, la température devra également être maintenue pendant un temps suffisants à 0 - 1°C pour favoriser la précipitation du trouble au froid et faciliter la saturation en CO₂.

Dans les cuves cylindro-coniques, il n'est plus nécessaire de transvaser la bière entre la fermentation et la garde. Les circuits de refroidissement placés sur le cône et le cylindre permettent de modifier facilement la température de la bière contenue dans la cuve. Dans ce procédé, la garde se termine par un refroidissement à -1°C pendant 3 jours avant le soutirage.

4. CONTRÔLE DE LA GARDE

Ce contrôle comporte principalement la vérification de la teneur en CO₂, la clarification, le contrôle microbiologique et l'évolution du goût.

CHAPITRE 8: LA FILTRATION DE LA BIÈRE

1. BUTS DE LA FILTRATION

La filtration dans toutes les industries est souvent la dernière opération de la fabrication, avant le conditionnement du produit et sa mise en vente. Cette opération est donc très importante et les personnes chargées de sa bonne exécution se doivent d'en être conscientes car : une bonne filtration = un produit fini de qualité.

La filtration est une technique de séparation de deux phases, l'une solide et l'autre liquide. Par passage à travers une paroi poreuse, la phase solide est retenue et la phase liquide est clarifiée.

Le but de la filtration de la bière est double : rendre la bière plus brillante et plus stable. Le filtre va retenir les colloïdes instables tels que les complexes tanno-protéiques qui formeraient un trouble colloïdal dans la bière. La filtration doit également arrêter les bactéries et une majorité de la levure encore présentes dans la bière.

La filtration a donc comme objectifs de clarifier, par deux actions tout à fait différentes : le tamisage qui consiste à arrêter les particules trop grosses pour traverser les pores du filtre et l'absorption qui arrête les substances, même moléculaires dissoutes, parce qu'elles ont une affinité pour la matière filtrante.

2. CONDUITE DE LA FILTRATION

2.1. LES ADJUVANTS DE FILTRATION

Nous nous intéresserons uniquement aux filtres amenant l'utilisation d'adjuvants de filtration. Les adjuvants de filtration sont des "aides" à la filtration. Dans l'industrie brassicole, on utilise principalement deux types d'adjuvants de filtration : les diatomées et les perlites.

Les diatomées sont des algues microscopiques. Après la mort de la diatomée et la destruction de la matière organique, il reste une carapace de silice qui par accumulation et fossilisation donne une roche blanche, légère et très poreuse.

Le kieselguhr extrait des gisements est broyé puis chauffé dans des fours à une température de 900-1 000°C.

A la suite de nouveaux broyages et de tamisages, on élimine les particules trop fines et on produit différentes qualités caractérisées par leur granulométrie et leur perméabilité.

2.2. LES FILTRES

Le filtre à kieselguhr doit comporter deux parties essentielles : le support de la couche filtrante et l'injecteur de kieselguhr frais, qu'on nomme alluvionneur.

Les modèles sont très variés, le support pouvant être une toile métallique, un carton, une plaque poreuse ou un empilement d'anneaux.

Nous développerons ici les principes de fonctionnement du filtre clos à bougies à titre d'exemple.

Dans une cuve verticale, les éléments filtrants (bougies) sont fixés verticalement sur une plaque support délimitant les zones du produit filtré et non filtré.

La surface filtrante de ce type de filtre peut aller jusqu'à 200 m² avec un débit de l'ordre de 5 hl/h et m².

Les éléments filtrants peuvent être constitués de différentes manières :

- tuyau perforé en acier inoxydable entouré d'un fil ;
- *bougie filtrante en acier inoxydable avec des ouvertures sous forme de fentes ;*
- bougie constituée par un assemblage d'anneaux plats.

L'avantage de ce type de filtre, outre son grand débit et un faible encombrement est l'augmentation de la surface filtrante au fur et à mesure de l'alluvionnage.

Lors de la filtration, la bière pénètre dans le filtre par sa partie inférieure, passe au travers du kieselguhr et de l'élément filtrant dont la partie intérieure est creuse et communique avec la partie supérieure.

2.3. CONDUITE DE LA FILTRATION SUR KIESELGUHR

Avant toute opération de filtration, le filtre doit être stérilisé à l'eau bouillante. Ensuite, il convient de pré-remplir le filtre et l'ensemble des conduites avec de l'eau pour éviter la désaturation en CO₂. La première bière qui s'écoule du filtre doit chasser l'eau qui s'y trouve. On ouvre donc d'abord le robinet de sortie du filtre prudemment pour maintenir une contre-pression, jusqu'à ce que l'eau soit écoulée. Ensuite, on raccorde le filtre au tank de bière filtrée ou à la soutireuse.

Au début de la filtration, il s'écoule donc toujours un mélange de bière et d'eau qui s'appelle le "Vorlauf".

La bière doit continuellement être maintenue sous contre-pression de CO₂ pour éviter la désaturation. Le tank où la bière est envoyée devra donc être maintenu sous une pression de 0,5 à 1 kg.

A la fin de la filtration, on chasse la bière du filtre par de l'eau. Il se produit de nouveau un mélange, appelé le "Nachlauf".

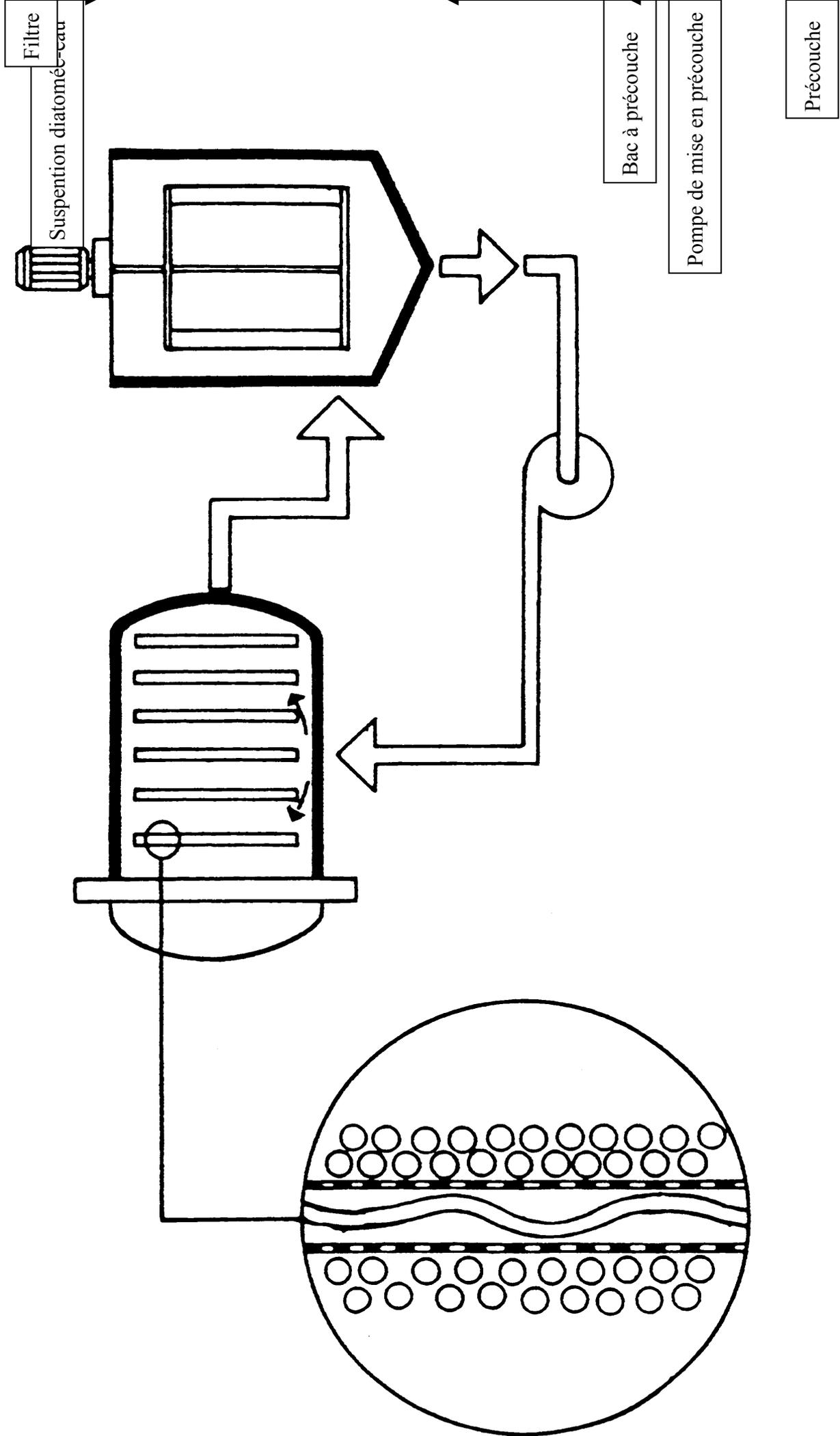
2.3.1. APPLICATION DE LA PRÉCOUCHE

Grâce à leurs propriétés décrites ci-avant, les diatomés travaillent de deux manières :

- par tamisage : les diatomées forment un pontage qui retient les grosses particules.
- par absorption : les fines particules sont retenues à l'intérieur des canaux.

La précouche tout d'abord et l'alluvionnage ensuite forment ce que l'on appelle un gâteau de filtration. Celui-ci se dépose sur les éléments filtrants en premier lieu durant la mise en précouche, et en second lieu, durant la filtration de la bière.

Schémas de la mise en précouche



L'épaisseur de la précouche sera de 1,5 à 3 mm et elle s'effectue de la manière suivante

- première précouche : former à l'aide d'un adjuvant de filtration moyen, un premier pontage sur l'élément filtrant.
- deuxième précouche : épaissir la première précouche et assurer au départ la filtration de la bière.

La suspension eau/kieselguhr est préparée dans le bac à précouche (1,2 à 1,5 kg/m²) et maintenue sous agitation. La pompe est mise en marche, celle-ci faisant circuler la suspension en circuit fermé. Durant ce cycle, le kieselguhr se dépose pour former la précouche.

Cette opération est très importante, car elle conditionne la bonne marche du filtre :

- durée des cycles ;
- qualité de la bière filtrée.

2.3.2. ALLUVIONNAGE

Le but est de permettre des cycles de filtration d'une durée aussi longue que possible en allégeant le gâteau de filtration.

Durant la filtration, une pompe doseuse envoie régulièrement une quantité donnée de kieselguhr dans la conduite d'amenée de bière. Ainsi, le gâteau de filtration voit son volume augmenter, les impuretés ne sont plus en contact direct avec la précouche et la filtration s'effectue dans de bonnes conditions.

Le réglage de l'alluvionnage se fera en fonction de la perte de charge dans le filtre, c'est-à-dire la différence de pression entre l'entrée et la sortie du filtre.

Comme la couche de kieselguhr s'épaissit, la pression monte toujours, mais elle doit rester dans des limites raisonnables (2 atmosphères).

L'alluvionnage augmente dans de grandes proportions la durée des cycles : 5 à 8 heures minimum selon que les bières sont plus ou moins chargées en impuretés.

Un bon alluvionnage s'effectue à raison de 80 à 150 g/hl de bière à filtrer.

3. TRAITEMENT DE STABILISATION

Il s'agit d'éliminer un maximum de composés à l'origine de la formation de troubles colloïdaux dans la bière.

Si nous considérons l'équilibre

$P(\text{rotéines}) + T(\text{annins}) = \text{complexe tanno-protéique}$,

nous pouvons modifier l'équilibre en diminuant la concentration en protéines ou en tannins ou en éliminant le complexe formé.

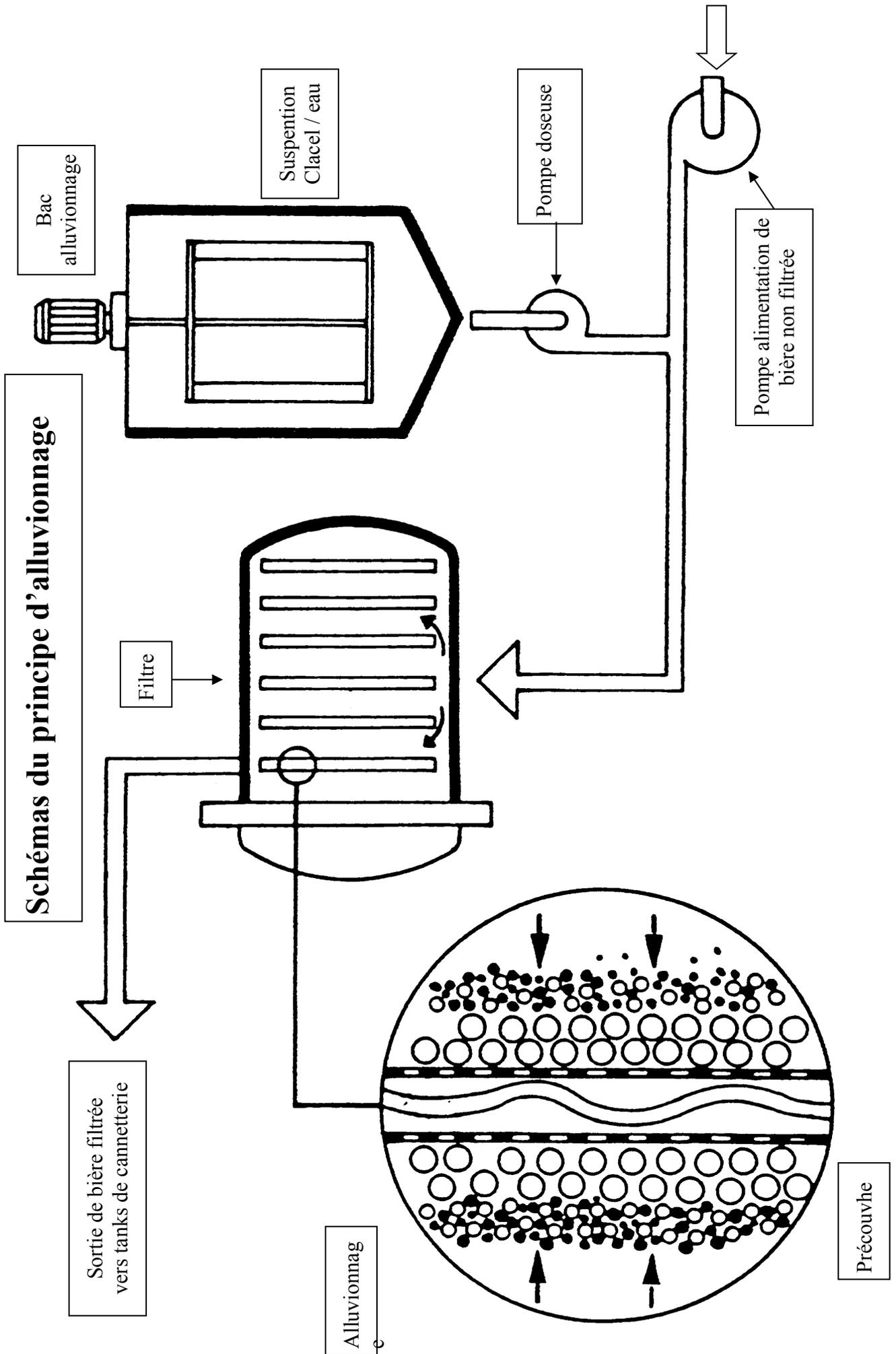
L'élimination du complexe tanno-protéique se fait lors de la filtration à froid de la bière.

Afin d'assurer une stabilité colloïdale totale à la bière, on peut éliminer une partie des tannins dissouts dans celle-ci par utilisation d'absorbants: le plus couramment utilisé est le PVPP (polyvinylpolypyrolidone).

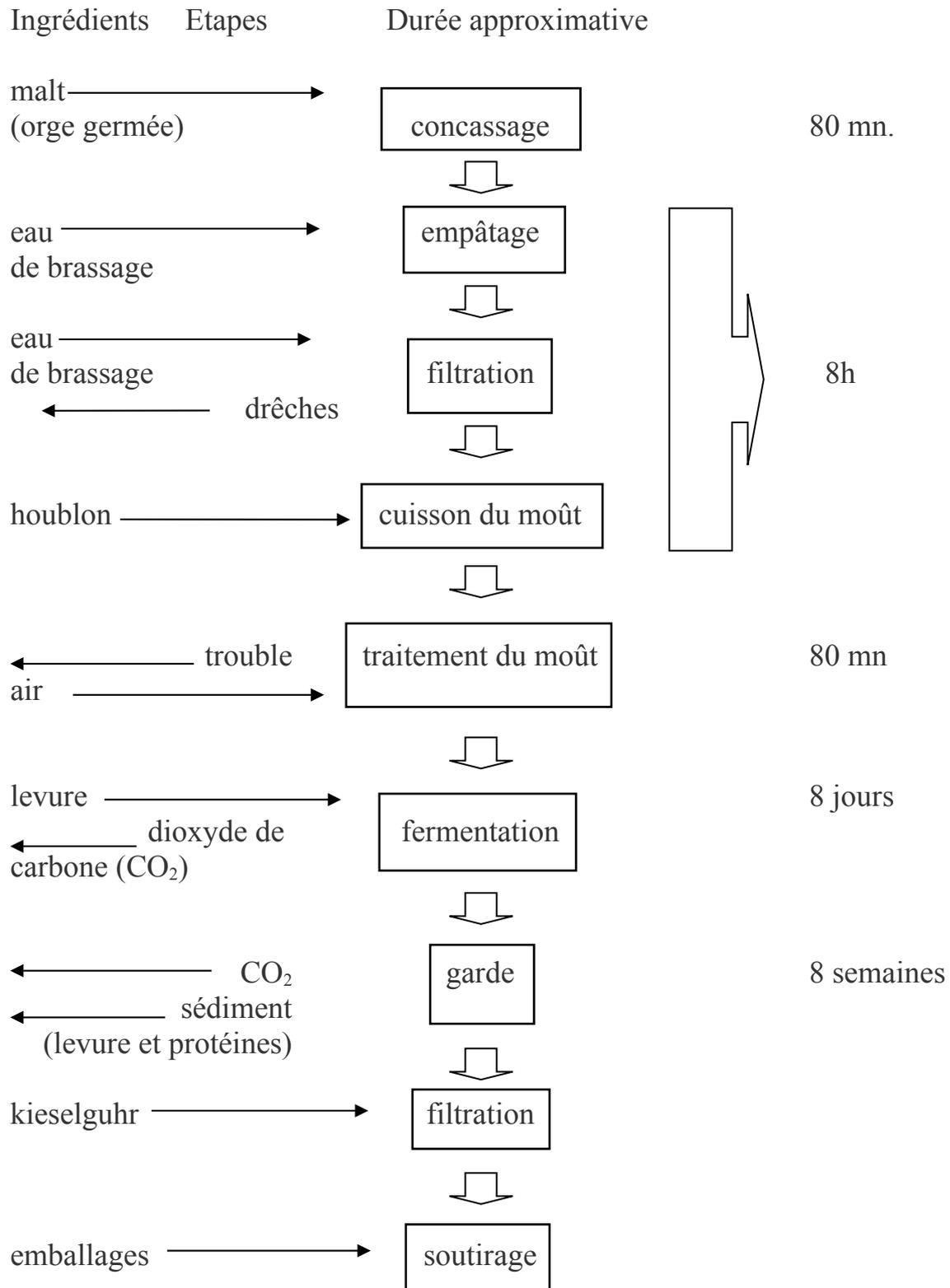
Il se forme des liaisons hydrogènes entre le PVPP et les polyphénols.

Le PVPP a un grand pouvoir d'absorption et les doses utilisées sont d'environ 50g/hl.

Après l'addition de PVPP, il faut évidemment un élément de filtration pour retenir l'ensemble des particules.



Récapitulatif de la fabrication de la bière



CHAPITRE 9: CONTRÔLE MICROBIOLOGIQUE EN BRASSERIE

1. INTRODUCTION

A côté de la régularité du produit, la qualité microbiologique de la bière est d'une importance capitale. En effet, un développement de micro-organismes dans la bière peut avoir des effets dommageables sur la qualité du produit :

- apparition d'un trouble ;
- modification du goût ;
- modification de l'arôme ;
- instabilité lors du débit (trop de mousse) ;
- altération de la couleur.

Mais, la bière par comparaison avec d'autres denrées alimentaires est bien protégée contre les infections microbiologiques. La teneur en alcool (5 à 7 %), le pH relativement bas, la concentration en CO₂ et l'effet bactériostatique de certains composants du houblon sont autant d'éléments qui réduisent considérablement le risque d'infection dans la bière.

Il en va évidemment tout autrement durant la fabrication de la bière. Le moût est en effet un très bon milieu de croissance pour de nombreux micro-organismes. Ceux-ci sont bien sûr tués ou éliminés au cours de la fabrication, mais les produits de leur métabolisme pourraient modifier les qualités organoleptiques de la bière.

2. LES PRINCIPAUX RISQUES D'INFECTION AU COURS DE LA FABRICATION

Le moût refroidi avant ensemencement par la levure

Le moût est un milieu très riche qui convient bien au développement de nombreux micro-organismes et principalement les coliformes et les lactobacilles.

Le moût en fermentation

La levure utilisée en fermentation est bien adaptée au milieu et un démarrage rapide de celle-ci est une bonne protection contre le développement d'autres micro-organismes, d'autant plus que les températures sont relativement basses.

Les seuls micro-organismes capables de se développer sont les *Pediococcus*, les *Lactobacillus* et les levures sauvages.

La filtration et le soutirage

La filtration permet de retenir la majorité des micro-organismes. Il convient cependant d'éviter l'apport d'autres infections via le kieselguhr, les filtres.

Après filtration et une éventuelle pasteurisation, il faut que les fûts et les bouteilles soient également stérilisés au préalable.

3. LES PRINCIPAUX MICRO-ORGANISMES CONTAMINANTS EN BRASSERIE

Les micro-organismes contaminants en brasserie sont principalement les levures sauvages et certaines bactéries.

On entend par levures sauvages, les levures qui ne sont pas celles mises en culture pour l'ensemencement du moût.

Parmi les bactéries, on retrouve le plus généralement les espèces suivantes :

- *Enterobacteriaceae* : viennent de l'eau et de l'air ;
- les bactéries lactiques : produisent de l'acide lactique et un trouble dans la bière ;
- les acétobacters : produisent de l'acide acétique ;
- les *Zymomonas* : produisent de l'H₂S.

4. NETTOYAGE ET STÉRILISATION EN BRASSERIE

Les installations d'une brasserie sont complexes et comportent de nombreuses zones où les micro-organismes pourraient se développer telles que les joints, les pompes, les cavités. C'est pourquoi un nettoyage et une stérilisation régulière sont indispensables.

Cependant, on ne stérilise pas une unité de production industrielle comme on stérilise un milieu de culture au laboratoire. Il s'agit donc de réduire au maximum les infections aux endroits les plus exposés. La stérilisation étant d'autant plus complète que le nombre de micro-organismes à détruire est faible, il convient de toujours rincer directement les zones à risque.

Avant de stériliser il faudra de toute façon laver le matériel pour permettre à l'agent de stérilisation d'être le plus efficace possible.

Une séquence typique de nettoyage et stérilisation comporte les étapes suivantes :

- rinçage à l'eau froide ;
- nettoyage avec un détergent chaud ou froid ;
- rinçage à l'eau ;
- stérilisation ;
- rinçage.

4.1. LE NETTOYAGE

Il s'agit dans un premier temps d'éliminer les impuretés. La nature des détergents utilisés dépendra bien entendu du type de souillures présentes dans le matériel.

La soude caustique permet de dissoudre la plupart des impuretés présentes dans les cuves et matériel de brasserie.

Cependant, on y ajoute souvent divers détergents qui améliorent son action pour le nettoyage.

Un mélange de nettoyage va donc contenir :

- un alcali de base chargé de dissoudre les impuretés, principalement la soude caustique ;
- un agent mouillant pour renforcer le pouvoir détachant de la soude et maintenir les souillures en suspension ;
- un séquestrant et antidéposant afin d'éviter les dépôts sur les parois.

4.2. LA STÉRILISATION

Après le nettoyage, on peut donc procéder à la stérilisation. Celle-ci peut se faire par des agents physiques (la chaleur) ou par des agents chimiques.

La chaleur est le moyen de stérilisation le plus employé. La chaleur humide est plus efficace que la chaleur sèche ; ainsi la vapeur ou l'eau bouillante sont utilisées de préférence pour stériliser les appareils. La vitesse de stérilisation est fonction de la température et de la durée de chauffage.

Certains antiseptiques peuvent également être utilisés mais ils doivent alors répondre aux exigences suivantes :

- ne pas altérer le matériel ;
- avoir un pouvoir antiseptique important ;
- avoir un pouvoir pénétrant pour stériliser les fissures ;
- ne pas être trop coûteux.

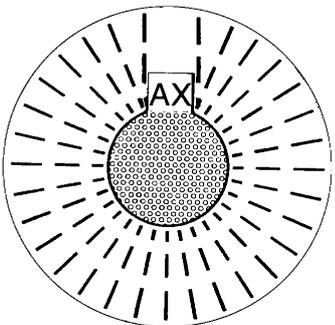
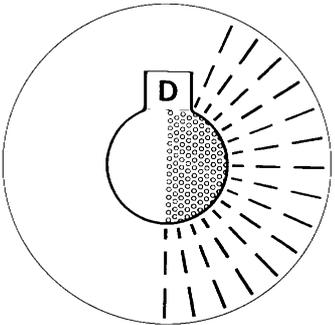
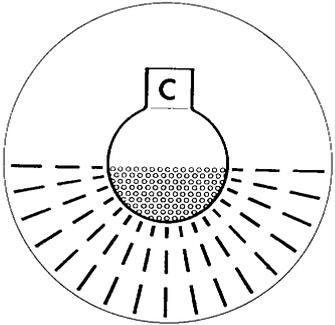
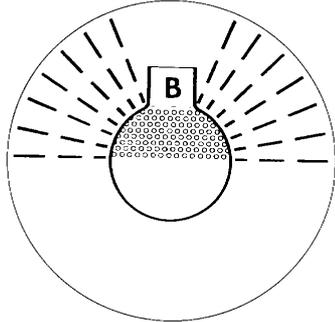
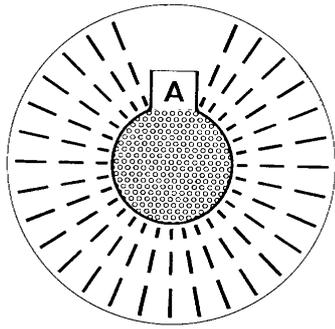
Le chlore peut être utilisé pour stériliser le matériel. On l'emploie alors en solution sous forme d'hypochlorite de sodium (eau de Javel).

5. *MOYENS MÉCANIQUES DE NETTOYAGE*

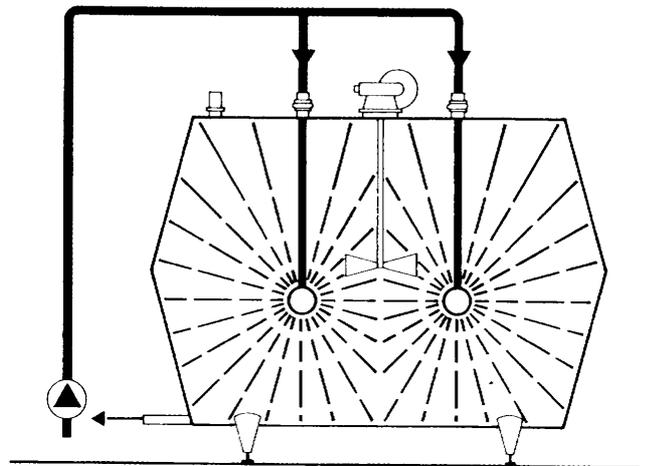
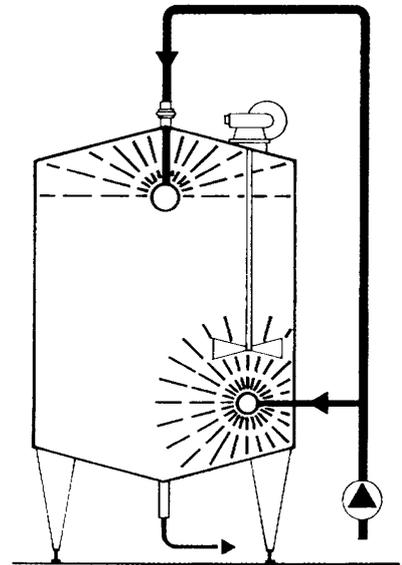
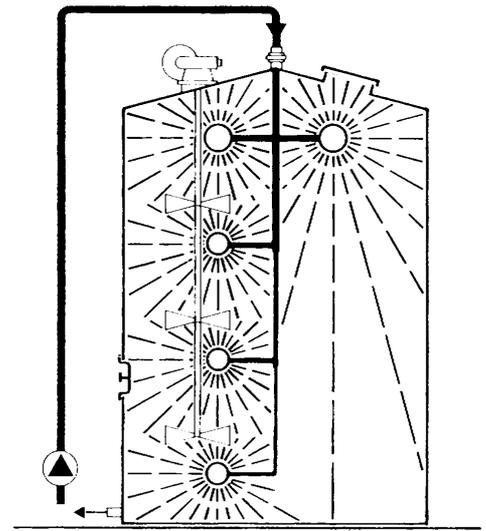
Actuellement, les installations de brasserie sont souvent équipées de circuits de nettoyage automatique (CIP).

Ceux-ci sont munis d'un gicleur qui asperge avec les différentes solutions de nettoyage et de rinçage l'ensemble des surfaces des cuves.

Ces systèmes de nettoyage et de stérilisation sont automatisés et évitent ainsi toute erreur de manipulation tel qu'un oubli de rinçage après stérilisation.



Modèles de boules



Exemples d'applications

Il ne faut pas oublier l'ensemble des conduites et des organes de transport du moût et de la bière.

Ainsi, la stérilisation des réfrigérants fermés, des pompes et conduites à moût ou à bières, des centrifugeuses, des filtres et des soutireuses se fait par circulation d'eau bouillante en circuit fermé.

CHAPITRE 10: CONTRÔLES DE QUALITÉ

1. ANALYSE DU MALT

Le malt est à la fois produit fini en malterie et matière première en brasserie. Sa valeur commerciale se mesure en tout premier lieu par la quantité de substances solubilisables qu'il contient. La détermination de son extrait constitue donc le premier élément d'appréciation, mais ce n'est naturellement pas le seul critère valable.

Durant l'extraction, il faut solubiliser l'amidon et une partie des protéines, convertir l'amidon en sucres fermentescibles et les protéines en composés plus petits qui participeront au moelleux de la bière et à la stabilité de la mousse. Le malt contient les enzymes nécessaires à ces transformations, mais il convient de respecter un profil de températures favorable aux hydrolyses enzymatiques.

On effectue ainsi un brassin conventionnel appliqué par les stations d'analyses officielles d'Europe.

Le moût obtenu est refroidi, ramené à un poids déterminé puis filtré. Le filtrat contient les substances solubilisées à partir de la farine de malt ; il est dès lors possible de mesurer l'extrait dans le moût par détermination de sa densité.

1.1. BRASSIN CONVENTIONNEL - DURÉE DE SACCHARIFICATION

L'eau du bain de brassage est chauffée à 45°C. Prélever 50 g de fine mouture et réaliser l'empâtage par addition de 200 ml d'eau distillée.

Le schéma de brassage adopté conventionnellement est très simple : 30' à 45°C, puis montée à 70 °C à raison de 1°C par minute.

On ajoute à ce moment 100 ml d'eau distillée à 70°C et on stationne une heure à 70°C.

On vérifie durant ce palier la saccharification par le test à l'iode.

La méthode exposée ne fournit pas le rendement maximum car aucune correction du pH n'est effectuée. Ceci rend également difficile les comparaisons entre différents malts.

Le contenu du godet est porté à 450 g par addition d'eau distillée puis filtré sur filtre en papier. Après homogénéisation du filtrat, on peut mesurer la densité du moût ainsi que son pH et sa coloration.

1.2. MATIÈRES AZOTES DANS LE MALT

Cette détermination se fait par minéralisation de 2 g de fine mouture de malt par l'acide sulfurique concentré.

De même, les matières azotées solubles dans le moût sont également déterminées.

2. ANALYSE DU HOUBLON

Pour chaque type de bière, l'amertume doit être régulière d'une production à l'autre. Malgré les pertes subies lors de leur solubilisation, durant la fermentation et la garde, il s'agit de bien définir l'amertume potentielle du houblon, c'est-à-dire sa teneur en humulones.

Pour doser les acides alpha, on peut utiliser différentes méthodes :

- précipitation à l'acétate de plomb ;
- spectrophotométrie U.V.

Pour toutes ces méthodes, il faut préalablement extraire les acides alpha en se basant sur leur solubilité dans différents solvants.

3. ANALYSE DE LA BIÈRE

Une analyse idéale de la bière devrait permettre d'en définir objectivement toutes les caractéristiques et en particulier les qualités organoleptiques.

Les analyses effectuées sur la bière permettent surtout de déterminer :

- l'extrait primitif ;
- la concentration en alcool ;
- l'atténuation réelle et apparente ;
- l'amertume (isohumulones) ;
- le pH ;
- la teneur en CO₂ et en oxygène ;
- la stabilité de mousse
- la composition en alcools supérieurs et esters.

Configuration nutritionnelle moyenne pour 1 litre de bière à 4 % d'alcool

Calories	440
Alcool (g/l)	40
Glucides (g/l)	35
Protides (g/l)	4
Sels minéraux (g/l)	1,6
Tannins (g/l)	1,2
CO₂ (g/l)	4,5
Glycérol (g/l)	1,6
Alcools supérieurs (g/l)	0,1
Acides organiques (g/l)	0,7

3.1. DÉTERMINATION DE L'EXTRAIT PRIMITIF

Comme pour la mesure de l'extrait d'un moût, on utilise principalement les techniques de mesure de la densité.

Or, l'éthanol formé au cours de la fermentation tend à diminuer la densité de la bière. Au long de la fermentation, la densité du brassin diminue, puisque les sucres sont transformés en alcool.

Dans la bière dégazée l'on mesure donc la densité apparente et par là l'extrait apparent. Par contre, après distillation de la bière pour en éliminer l'éthanol, on peut mesurer l'extrait réel subsistant dans la bière.

3.2. ATTÉNUATION APPARENTE ET ATTÉNUATION RÉELLE

En brasserie, on nomme atténuation la diminution de la densité de la bière durant la fermentation de son extrait.

En fabrication, on ne considère que l'atténuation apparente car elle s'obtient directement par une simple mesure de la densité de la bière. Cette atténuation s'exprime par rapport à l'extrait de départ de la fermentation, donc en % de l'extrait primitif.

L'évolution de l'atténuation pendant la fermentation et sa valeur finale permettent de contrôler l'état physiologique de la levure, son pouvoir fermentaire.

3.3. DOSAGE DES ISOHUMULONES

Ce dosage permet non seulement de contrôler la constance, mais aussi de déterminer le rendement d'utilisation des acides alpha du houblon.

Le dosage ne peut se faire directement dans la bière et il faut une extraction préalable des isohumulones à l'iso-octane.

Ensuite l'extrait peut être soit dosé par spectrophotométrie, soit par conductimétrie.

BIBLIOGRAPHIE

Moll, M.

Bières & Coolers,

Editions TEC & DOC – LAVOISIER (1991)

Briggs, D.E. , Hough, J.S. , Stevens, R. and Young, T.W

Malting and Brewing Science, vol. 1 & 2

Chamenaud Hell Edts . (1982)

DE CLERCK J.

Cours de Brasserie, vol. 1 & 2

Université Catholique de Louvain . (1962)

Annie PERRIER-ROBERT et Charles FONTAINE

La Belgique par la bière, La Bière par la Belgique

Editions Scortgen (1996)

PASTEUR J.

Étude sur la bière

Editions Gauthier –Villard (1876)

AUTRES LIVRES DANS LA MÊME COLLECTION

FAITES VOTRE BIÈRE

62 pages format de poche par J.-A. Chandon

CRÉER VOTRE PICO OU VOTRE MICRO BRASSERIE

92 pages A4 par J.-A. Camille

LA BIÈRE PAIN LIQUIDE UNIVERSEL

62 pages A4 par Robert HEROUARD

LA CULTURE DU HOUBLON

par J.-A. Camille

Autre livres sur Internet: <http://www.bieresdumonde.net>

Dépôt légal : Troisième trimestre 1998

Edition et distribution
Bières du Monde
Port Fluvial, 2e Avenue
59000 Lille
03-66-72-92-41
contact@bieresdumonde.fr
www.bieresdumonde.fr