

**THESE**

**pour le**

**DIPLÔME D'ETAT**

**DE DOCTEUR EN PHARMACIE**

**par**

**François-Xavier TAUVEL**

---

*Présentée et soutenue publiquement le 27 avril 2005*

LA BIÈRE : HISTOIRE, FABRICATION,  
PROPRIÉTÉS NUTRITIVES ET PHARMACOLOGIQUES  
**LA PREMIÈRE BOISSON DIÉTÉTIQUE ?**

**Président :** M. Yves-François POUCHUS, Professeur de Botanique et de Mycologie

**Membres du Jury :** M. Olivier GROVEL, Maître de Conférences en Pharmacognosie  
M. Xavier MASSIEUX, Docteur en Pharmacie

# TABLE DES MATIERES

---

<b>INTRODUCTION</b>	<b>7</b>
<b>PARTIE I : LES GRANDES EPOQUES DE LA BIERE</b>	<b>8</b>
<i>I- DES ORIGINES MYSTERIEUSES</i>	<i>8</i>
1. Les premiers brasseurs	8
2. Les Sumériens et les Babyloniens	9
3. Femmes et déesses	11
<i>II- LES BRASSEURS DE L'EGYPTE ANTIQUE</i>	<i>13</i>
1. La zythum des bâtisseurs de pyramides	13
2. Le pain des guerriers	14
3. Le médicament de l'Antiquité	14
4. D'un brassage divin...	14
5. ...à un brassage commercial et domestique	15
6. La fin d'une tradition	16
<i>III- LA SEPARATION NORD – SUD</i>	<i>17</i>
1. Les Gaulois	17
2. Les Vikings	18
<i>IV- LA SALIVE DES FEMMES</i>	<i>20</i>
<i>V- LE MOYEN AGE</i>	<i>22</i>
1. Le gruyt	22
2. La sainte alliance	23
a- Le brassage monastique	23
b- L'héritage des moines	25
c- L'utilisation du houblon	26
d- Les patrons	27
3. Les bières artisanales	29
4. Corporations et réglementation de la qualité	29
a- La naissance des corporations de brasseurs	29
b- Les Francs Brasseurs	31
5. L'internationalisation	32

<b>VI-</b>	<b>LA REVOLUTION INDUSTRIELLE</b>	<b>34</b>
1.	<b>La révolution de la distribution</b>	<b>34</b>
a-	Un essor limité	34
b-	La force de la vapeur	35
2.	<b>La mécanisation du brassage</b>	<b>35</b>
3.	<b>La bouteille de verre et l'essor de la fermentation basse</b>	<b>37</b>
4.	<b>Le froid sur commande</b>	<b>38</b>
5.	<b>La découverte de la levure</b>	<b>39</b>
<b>VII-</b>	<b>DES GEANTS SE FORMENT</b>	<b>41</b>
1.	<b>L'âge d'or de l'industrie brassicole américaine</b>	<b>41</b>
a-	Aux Etats-Unis : la naissance de la Budweiser	42
b-	Au Canada	43
2.	<b>Le tonneau brisé</b>	<b>43</b>
a-	La boisson du diable	44
b-	La prohibition aux Etats-Unis	45
3.	<b>La concentration de l'industrie</b>	<b>47</b>
<b>VIII-</b>	<b>LA REVOLTE DES CONSOMMATEURS</b>	<b>50</b>
1.	<b>Vers un produit universel</b>	<b>50</b>
2.	<b>La renaissance de la bière « de goût »</b>	<b>51</b>
a-	La riposte des consommateurs	51
b-	La bière de dégustation : un marché nouveau	54
<b>PARTIE II : L'ELABORATION D'UN NECTAR</b>		<b>56</b>
<b>I-</b>	<b>DEFINITIONS ET REGLEMENTATION</b>	<b>57</b>
1.	<b>Définition légale</b>	<b>57</b>
2.	<b>Catégories de bières</b>	<b>57</b>
a-	En fonction de leur densité	57
b-	En fonction de leur mode de fermentation	58
3.	<b>Législation concernant les additifs et les auxiliaires technologiques</b>	<b>59</b>
<b>II-</b>	<b>LES MATIERES PREMIERES</b>	<b>61</b>
1.	<b>L'eau : source de la bière</b>	<b>62</b>
a-	Quantités mises en œuvre	62
b-	Rôles et fonctions dans le goût de la bière	63
c-	Traitement et correction des eaux	66
2.	<b>Le malt et les matières fermentescibles</b>	<b>69</b>
a-	L'orge de brasserie	69
b-	Le malt de brasserie	79
c-	Les autres matières premières amylacées dites « auxiliaires »	85

<b>3. Le houblon</b>	<b>88</b>
a- Utilisation historique du houblon comme matière amérisante et aromatisante	88
b- Culture et botanique	89
c- Composition chimique	93
d- Les variétés de houblon	96
<b>III- LE MALTAGE</b>	<b>98</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>98</b>
<b>2. Les opérations du maltage</b>	<b>98</b>
a- Opérations préliminaires	99
b- Le trempage	102
c- La germination	102
d- Le touraillage	107
e- Influence des étapes du maltage	110
<b>IV- LE BRASSAGE</b>	<b>111</b>
<b>1. Le concassage</b>	<b>112</b>
<b>2. Le brassage</b>	<b>113</b>
a- Principes théoriques du brassage	113
b- Les techniques du brassage	119
<b>3. Filtration de la maïsche</b>	<b>125</b>
<b>4. Cuisson et houblonnage du moût</b>	<b>127</b>
<b>5. Le traitement du moût</b>	<b>130</b>
a- Elimination du trouble	130
b- Refroidissement du moût	131
c- Aération du moût	132
<b>V- LEVURES ET FERMENTATIONS</b>	<b>133</b>
<b>1. Les levures de bière</b>	<b>133</b>
a- Classification des levures	134
b- Morphologie et cytologie	135
c- Reproduction des levures	136
d- Principaux métabolismes	138
e- Améliorations génétiques de la levure	143
f- Flocculance de la levure	145
g- Métabolites fermentaires	146
h- Les levures de brasserie	149
<b>2. Technologies de la fermentation</b>	<b>152</b>
a- L'ensemencement	153
b- La fermentation principale ou fermentation primaire	153
c- La fermentation secondaire ou garde	159
d- Manipulations finales	162
 <b>PARTIE III : COMPOSITION ET VALEUR NUTRITIONNELLE</b>	 <b>168</b>
<b>I- UNE GRANDE VARIABILITE DES COMPOSITIONS</b>	<b>169</b>

<b>II-</b>	<b>L'EAU ET L'EXTRAIT SEC</b>	<b>172</b>
1.	<b>L'eau</b>	<b>172</b>
a-	L'eau de l'organisme humain	172
b-	Les causes de pertes d'eau	173
c-	Les apports en eau	174
2.	<b>L'extrait sec</b>	<b>175</b>
<b>III-</b>	<b>LES GLUCIDES</b>	<b>176</b>
1.	<b>Composition et apports énergétiques</b>	<b>176</b>
2.	<b>Métabolisme</b>	<b>176</b>
3.	<b>Bière et paramètres métaboliques</b>	<b>177</b>
a-	Evolution des paramètres glucidiques	178
b-	Evolution des paramètres lipidiques	180
<b>IV-</b>	<b>LES PROTEINES</b>	<b>182</b>
1.	<b>Leur rôle et les besoins</b>	<b>182</b>
2.	<b>Teneur des bières en protéines et en acides aminés</b>	<b>184</b>
<b>V-</b>	<b>SELS MINERAUX ET OLIGO-ELEMENTS</b>	<b>187</b>
1.	<b>Les sels minéraux</b>	<b>187</b>
a-	Le magnésium	187
b-	Le calcium	189
c-	Le potassium	190
d-	Le sodium	191
e-	Le soufre	191
f-	Le phosphore	191
g-	Le chlore	192
2.	<b>Les oligo-éléments</b>	<b>192</b>
a-	Le fer	193
b-	Le cuivre	194
c-	Le zinc	194
d-	Le manganèse	195
e-	Le fluor	196
f-	L'aluminium	196
<b>VI-</b>	<b>VITAMINES</b>	<b>197</b>
1.	<b>Vitamine B1 ou Thiamine</b>	<b>198</b>
2.	<b>Vitamine B2 ou Riboflavine</b>	<b>199</b>
3.	<b>Vitamine B3 ou PP ou Nicotinamide ou Niacine</b>	<b>200</b>
4.	<b>Vitamine B5 ou Acide Pantothénique</b>	<b>201</b>
5.	<b>Vitamine B6 ou Pyridoxine</b>	<b>202</b>
6.	<b>Vitamine B9 ou Acide Folique</b>	<b>203</b>
7.	<b>Vitamine B12 ou Cobalamine</b>	<b>204</b>
8.	<b>Vitamine H ou Biotine</b>	<b>205</b>
<b>VII-</b>	<b>L'ALCOOL</b>	<b>207</b>

<b>1. Teneur en alcool de la bière</b>	<b>207</b>
<b>2. Comparaison de la teneur en alcool de la bière et des vins et spiritueux</b>	<b>207</b>
<b>3. Métabolisme</b>	<b>208</b>
<b>4. Valeur énergétique</b>	<b>210</b>
a- Alcool = calorie = énergie ?	211
b- Rôle de la quantité d'alcool	211
c- Interaction alcool et autres nutriments	212
d- Alcool : stimulant de l'appétit	215
<b>5. Bière et poids : revue de la littérature spécifique</b>	<b>216</b>
a- Contribution de l'alcool à la masse corporelle	216
b- Etudes spécifiques sur la bière et paramètres morphologiques	218
c- Limite des études	220
d- Des études à faire	221
e- Conclusions	222
<b>6. Bière et alcoolémie</b>	<b>225</b>
a- Cinétique de l'alcoolémie	225
b- Alcoolémie comparée entre bière, vin et spiritueux	226
<b>7. Bière et diabète</b>	<b>231</b>
a- Effet de l'éthanol sur l'insulinorésistance	232
b- Effet cardio-protecteur de l'éthanol chez les diabétiques de type 2	232
c- Effet d'une faible quantité d'éthanol sur le risque de survenue d'un diabète de type 2	234

## **PARTIE IV : ROLES PHYSIOLOGIQUES ET PHARMACOLOGIQUES**

---

**234**

<b>I- LA BIÈRE ET SA FONCTION DIGESTIVE</b>	<b>237</b>
1. Action apéritive	237
2. Action digestive	238
3. Action sur la flore intestinale	239
<b>II- BIÈRE ET FONCTION RENALE</b>	<b>240</b>
1. Constat d'études	240
2. Causes et effets	241
<b>III- BIÈRE ET SYSTEME CARDIOVASCULAIRE</b>	<b>243</b>
1. Point sur les études épidémiologiques : une consommation modérée d'alcool est associée à une moindre mortalité coronarienne et totale	243
2. Pour être protectrice la consommation doit être modérée et régulière	246
3. La bière est aussi efficace que le vin	248
4. Mécanismes liant la consommation de bière en quantité modérée et son rôle dans la protection des maladies cardiovasculaires	251
a- Action sur les lipides	251
b- Action sur l'hémostase	253

c-	Bière et homocystéine _____	255
d-	Effet antioxydant _____	257
<b>5.</b>	<b>Impact de la consommation modérée d'alcool sur les autres sites vasculaires _</b>	<b>258</b>
a-	Sur les artères _____	258
b-	Sur la pression artérielle _____	259
<b>6.</b>	<b>Les effets d'une consommation modérée de bière chez le diabétique _____</b>	<b>259</b>
<b>7.</b>	<b>Les effets d'une consommation modérée d'alcool chez l'insuffisant cardiaque</b>	<b>260</b>
<b>IV-</b>	<b><i>AUTRES EFFETS PHYSIOLOGIQUES DE LA BIÈRE</i> _____</b>	<b>261</b>
<b>1.</b>	<b>Bière et ostéoporose _____</b>	<b>261</b>
<b>2.</b>	<b>Bière et effet lactogène _____</b>	<b>263</b>
<b>3.</b>	<b>Bière et mortalité globale _____</b>	<b>264</b>
a-	Les études _____	264
b-	Dernières données _____	269
<b>CONCLUSION</b>	<b>_____</b>	<b>270</b>

## LISTE DES FIGURES

---

- Figure 1 :** *Hordeum vulgare* L.
- Figure 2:** Epillets d'orge
- Figure 3:** Coupe transversale d'un grain d'orge
- Figure 4 :** Représentation de l' $\alpha$ -amylose
- Figure 5 :** Représentation de l'amylopectine
- Figure 6 :** *Humulus lupulus* L.
- Figure 7 :** Formule générale des acides  $\alpha$
- Figure 8 :** Formule générale des acides  $\beta$
- Figure 9 :** Schéma des opérations préliminaires au maltage de l'orge
- Figure 10 :** Schéma de la germination d'un grain d'orge
- Figure 11 :** Coupe simplifiée d'une touraille à un plateau
- Figure 12 :** Diagramme de brassage par infusion à paliers
- Figure 13 :** Diagramme de brassage par décoction à une trempe
- Figure 14 :** Diagramme de brassage par décoction à deux trempes
- Figure 15 :** Diagramme de brassage par décoction à trois trempes
- Figure 16 :** Structure cellulaire de *Saccharomyces cerevisiae*
- Figure 17 :** Bourgeonnement d'une cellule de levure
- Figure 18 :** Reproduction sexuée d'une cellule de levure
- Figure 19 :** Voie d'Embden-Meyerhof-Parnas
- Figure 20 :** Métabolisme des acides aminés chez une cellule de levure
- Figure 21 :** Voies biochimiques de formation d'alcools de fusel et leurs interactions
- Figure 22 :** Diagramme de fermentation principale pour une bière basse de type Pilsen
- Figure 23 :** Evolution des densités et des températures des fermentations haute et basse
- Figure 24 :** Evolution pondérale chez 13 hommes sains de poids normal et stable (BORYS, 1994)
- Figure 25 :** Courbe de WIDMARK
- Figure 26 :** Comparaison des alcoolémies provoquées par différentes boissons (TREMOLIERES, 1975)
- Figure 27 :** Evolution des alcoolémies après ingestion d'une même dose d'alcool sous forme de bière ou de whisky (HAGGARD)

**Figure 28 :** Evolution des alcoolémies après ingestion d'alcool de différents titres (LEREBOULLET, 1970)

**Figure 29 :** Comparaison des alcoolémies obtenues après ingestion de brandy ou de bières de différents titres (GOLDBERG, 1965)

**Figure 30 :** Evolution du volume urinaire moyen selon la boisson consommée (TREMOLIERES, 1975)

## LISTE DES TABLEAUX

---

<b><u>Tableau I :</u></b>	Composition globale des grains de diverses céréales. Valeurs moyennes et écarts-types courants exprimés en pourcentage du grain sec
<b><u>Tableau II :</u></b>	Températures d'empesage de différentes céréales
<b><u>Tableau III :</u></b>	Composition des principaux constituants de certaines bières
<b><u>Tableau IV :</u></b>	Besoins de l'adulte en acides aminés essentiels (en mg/kg/j)
<b><u>Tableau V :</u></b>	Quantités d'acides aminés apportés par un litre de différentes bières (en mg)
<b><u>Tableau VI :</u></b>	Taux de couverture des besoins en acides aminés essentiels apportés par la consommation d'un litre de différentes bières (%)
<b><u>Tableau VII :</u></b>	Taux d'alcool de diverses boissons alcoolisées (en g/L)
<b><u>Tableau VIII :</u></b>	Apport calorique de diverses boissons alcoolisées

# INTRODUCTION

---

*La bière, la boisson fermentée la plus ancienne du monde, réjouit l'âme de ceux qui savent l'apprécier. L'âme me direz-vous... Mais le corps n'y trouve-t-il pas aussi son compte ?*

Depuis la plus haute Antiquité, ses vertus furent reconnues, tant par Hippocrate que par Pasteur, et de nos jours encore par quantité de sommités médicales, de diététiciens, de nutritionnistes. Mais il arrive qu'elle soit décriée, en bute à certaines critiques. Ne la présente-t-on pas en première ligne comme responsable de la mortalité sur nos routes ? Et puis, la bière fait grossir... Que de clichés que nous nous efforcerons de faire disparaître. Que d'erreurs grossières que nous tenterons de corriger.

Après avoir retracé les origines de cette boisson, nous étudierons le développement de l'industrie du brassage jusqu'à nos jours. Puis nous aborderons les composants de la bière avant de détailler les opérations complexes du processus de fabrication qui permettent de transformer ces matières premières nobles en un délicieux breuvage.

Ensuite, nous mettrons en exergue la valeur nutritionnelle de la bière, en analysant ses composants avec plus de finesse et en précisant pour chacun d'eux leur influence sur les plans physiologique, pharmacologique et diététique. Les méthodes d'analyse ainsi que les nombreuses études épidémiologiques à notre disposition nous permettent en effet d'affirmer d'ores et déjà que les constituants de la bière lui confèrent d'autres propriétés que celle d'étancher la soif. Nous verrons ainsi que la bière consommée quotidiennement avec modération, comme le prouvent de récentes études internationales, peut fortement contribuer, grâce à ses composants, à une action bénéfique sur la santé.

# PARTIE I :

## LES GRANDES EPOQUES DE LA BIÈRE

---

D'après BEAUDAUX, 1994 ; CONAN, 1990 ; D'ERR, 1998 ; GLOVER, 1998.

### I- DES ORIGINES MYSTERIEUSES

---

*La bière n'a jamais été inventée ! Lorsque nous fouillons la mémoire de nos ancêtres à la recherche de la bière originelle, nous ne la trouvons pas. Nous devinons plutôt comment elle s'est développée, issue d'une sorte de gruau composé de grains d'orge et d'eau. Elle émerge des habitudes de certains troglodytes de laisser vieillir leurs bouillons avant de s'y tremper l'âme. Dès ce moment, on assiste à la création des premières agglomérations.*

#### 1. Les premiers brasseurs

L'homme savait déjà brasser la bière avant les grandes civilisations primitives du Moyen-Orient. Même si, à l'époque, personne ne comprend le processus de fermentation, il n'est pas difficile à mettre en œuvre. En fait, les boissons alcoolisées fermentées se développent simultanément dans le monde entier, plus ou moins selon les productions locales de céréales et de fruits.

A la même époque que les Egyptiens, les Africains fabriquent leurs boissons alcoolisées avec du sorgho et du millet et les Chinois brassent une bière à base de millet et de riz mais selon des techniques plus élaborées. En Amérique latine, les Aztèques du Mexique ont leurs dieux de la bière et les Indiens du Brésil produisent une boisson au goût de fumée, composée de racines de manioc et de céréales grillées au feu de bois. Les Indiennes d'Amérique du Sud

mâchent du maïs, le crachent dans des pots, lui ajoutent de l'eau et le laissent fermenter pour obtenir du *chicha*. Ce procédé existe encore dans certaines régions. Pour tous ces premiers brasseurs, la bière obtenue est un don de dieu.

En quête de nourriture, les peuples précolombiens se déplacent considérablement, à partir du berceau africain, pour finalement conquérir la Terre. Les historiens s'entendent pour avancer que le développement de l'agriculture sédentarise ces nomades et qu'à cette époque la valeur alimentaire et culturelle de la bière est si grande que la récolte de céréales est consacrée à la fabrication de la bière et non à la nourriture. D'après les archéologues, le premier grain utilisé est l'orge. Pourquoi l'orge ? Par besoin de brasser ou parce qu'il s'agit de la céréale la plus facile à cultiver ?

En fait, l'homme ancien apprivoise l'orge comme céréale et la vénère comme un dieu. Le perfectionnement des techniques agricoles conduit naturellement à la production de surplus qu'il doit entreposer. Des difficultés se présentent, notamment celles de protéger les réserves. On doit se méfier de la vermine et des rongeurs. La nécessité étant la mère de l'invention, la femme invente une technique originale d'entreposage : maintenir les grains dans des récipients remplis d'eau. Voilà comment ou plutôt pourquoi les jarres sont inventées. Les conditions sont maintenant réunies pour que de la bière en émerge. Certaines semaines, l'orge a le temps de germer. En été, les enzymes produisent des sucres plus ou moins fermentescibles. Déjà riche en levure, cette soupe a souvent l'occasion de fermenter. La bière se dessine lentement. Voilà pourquoi plusieurs anthropologues croient que les vases et les pots de glaise ont été inventés pour la fermentation et l'entreposage de la bière. Lorsqu'il se nourrit de ce « gaspacho », le premier homme se sent ragaillardi et surtout plus heureux. Les durs labeurs de la vie sur terre lui apparaissent plus humains, du moins, il y voit une intervention divine.

## 2.

## Les Sumériens et les Babyloniens

La bière constituerait ainsi l'un des éléments déterminants de la transformation de la vie nomade en vie sédentaire et, par voie de conséquence, la bière est également à l'origine de la création des premiers villages. On pose la première pierre à Sumer. On y retrouve les plus anciens documents officiels traitant de la bière. Ces témoignages écrits datent de 4000 ans avant l'ère chrétienne. L'aliment est connu sous le nom de *sikaru*.

Le sikaru était du pain liquide. Les Sumériens mouillaient des graines de céréales (dont du blé rouge et de l'orge) pour les faire germer. Ils les écrasaient ensuite grossièrement et formaient des petits pains, cuits partiellement au four. Les pains, émiettés dans des grands pots en terre remplis d'eau sucrée par du jus de datte et du miel, étaient mis à fermenter quelques jours. Les convives assis autour d'une jarre, la boisson était bue en commun, à l'aide de roseaux qui évitaient d'avaler les débris flottant dans le liquide.

Cette fermentation primitive ne demandait ni bâtiment ni matériel spéciaux. Malterie, boulangerie et brasserie associées consistaient en une hutte de terre ou de roseau, munie d'un trou dans le sol en guise de four et de quelques récipients en terre. Deux pierres plates servaient de meule. La fabrication de la bière, tout comme la préparation des aliments, était une tâche domestique. Cette boisson sucrée demeurait cependant fade et neutre. Son effet sur l'esprit était désirable, mais on tentait déjà d'en relever la saveur avec des fruits et des épices. Les aromates les plus souvent utilisés chez l'ancien Egyptien étaient le gingembre et le miel, mais on retrouvait également la menthe, la marjolaine, le persil, le lupin et le safran bâtard..

Plus tard, le brassage se développe au même rythme que les civilisations du Moyen-Orient, pour répondre aux besoins de l'armée, des temples et des palais. Les fouilles d'Ur (aujourd'hui en Irak mais autrefois un territoire sumérien puis babylonien) mirent à jour une importante brasserie communale, datant de la première ère babylonienne, entre 2000 et 539 avant Jésus-Christ.

En 1989, Fritz Maytag, propriétaire de la brasserie Anchor aux Etats-Unis, décida de retrouver la saveur de la bière sumérienne existant 50 siècle auparavant. Il demanda à une boulangerie de fabriquer 5000 petits pains avec de la farine d'orge crue mélangée à du malt et un peu d'orge cuite. Les pains furent trempés dans l'eau à sa brasserie de San Francisco, pour former une pâte que l'on parfuma avec du miel et du sirop de dattes. Le liquide trouble, rouge orangé, baptisé Ninkasi, du nom de la déesse sumérienne de la bière, fut servi à un congrès de brasseurs. Les invités burent la bière avec un roseau dans de hauts récipients, comme le faisaient les Sumériens. « Si la bière n'était pas extraordinaire », admit Maytag, « elle était cependant intéressante ».

### **3. Femmes et déesses**

Les déesses ont fait le don de vie et d'abondance aux humains il y a 20 000 ans, et leur amour maternel a donné le talent de brasseurs aux femmes. Il fut une époque au cours de laquelle la bière se consommait exclusivement dans les temples, servie par des prêtresses. Elle avait alors une signification religieuse et seules des femmes pouvaient procéder à sa fabrication. Une fresque trouvée sur des tableaux d'argile de l'époque prédynastique de Sumer décrit l'offrande d'une bière à la déesse Nin-Harra. Il s'agit du « monument bleu », vieux de 8000 ans, qui a été retrouvé dans les sables fertiles situés entre le Tigre et l'Euphrate, aujourd'hui l'Irak. Les tablettes de l'époque sumérienne mentionnent également les maisons de la bière tenues par des femmes.

La fabrication de la sikaru était placée sous la protection de la déesse Nin-bi. Le brasseur de l'époque, la Pa-E-Bi, jouissait d'importants privilèges : elle brassait officiellement la boisson céleste en portant attention à l'effet de différents trempages sur les saveurs. Ceci a lancé une longue tradition d'études empiriques sur le brassage. Elle se servait de ses talents de brasseur pour maintenir un pouvoir et un statut particulier dans une société de plus en plus dominée par les hommes.

On retrouve à Sumer plusieurs types de bières : huit *kurunnu* à base d'épeautre, un ancien blé, huit sikaru à base d'orge et quatre mélanges différents de sikaru et de kurunnu. On demandait une bière ordinaire en disant *bi-du* et une bière adoucie au sucre de dattes par *niud*. Le salaire de base des ouvriers était calculé sur une quantité de bi-du : trois litres par jour.

La plus ancienne loi réglementant le brassage et la vente de la bière sur terre, le code du roi Hammourabi (1728 – 1686 av. J.-C.), traite de la bière de façon précise. Le code de Hammourabi est une stèle faite de diorite noirâtre. Le roi babylonien y a fait graver la liste de ses conquêtes, de ses principales décisions de justice, ainsi que sa réglementation et sa tarification des opérations médicales. Ce code régleme nte en outre la fabrication de la bière, condamnant à la mort toute prêtresse qui ouvre un débit de bière sans autorisation formelle. Les Babyloniens essayèrent de normaliser la qualité de la bière produite par les brasseries commerciales en stipulant que le brasseur fabricant de la mauvaise bière serait noyé dans sa propre production.

La bière devient un objet de culte dès les premières gorgées et est intégrée à plusieurs rites religieux. Elle constitue un baume de joie et de réconfort que les déesses offrent à l'espèce humaine. Comme la bière s'empare de l'esprit du buveur, il est évident qu'elle doit être elle-même l'esprit des dieux. Sa consommation offre un moyen de communication avec eux. Elle constitue alors la plus belle offrande aux déesses, les esprits féminins de la naissance et de la fertilité. Les premières divinités brassicoles semblent être la fille de Ninkasi (la dame de la bouche pleine) et Siris, déesse du moût.

## II- LES BRASSEURS DE L'EGYPTE ANTIQUE

---

L'ancienne Egypte attribue à Osiris, protecteur des morts, l'invention de la bière. Quelques siècles plus tard, nous devons à Sem, fils de Noé, la première bière post-diluvienne, la *Sekkar*.

### 1. La zythum des bâtisseurs de pyramides

Dès 3000 av. J.-C., les Egyptiens fabriquent une bière très forte parfumée de genièvre, de gingembre et d'herbes, appelée *heget* et *zythum*. Un papyrus donne les recettes de la zythum, d'une bière plus forte appelée *dizythum* et d'une bière familiale légère nommée *busa*. Pour donner aux ouvriers qui bâtissaient les pyramides et à la population sans cesse croissante la boisson réconfortante qu'ils attendaient, les Egyptiens perfectionnèrent l'art du brassage à grande échelle.

Les Egyptiens désignent donc ce produit du nom de zythum. Leurs voisins outre - Méditerranée, les Grecs, s'en inspirent pour nommer leur propre élixir *zythos*. Quelques millénaires plus tard, les scientifiques retiennent la racine grecque pour désigner les éléments de la fermentation : zymotechnie (1762 : technique des fermentations), zymotique (1855), zymase (1860 : enzyme de la levure responsable de la fermentation alcoolique du glucose).

La bière de l'époque est en fait un aliment que nous devinons plutôt sucré, épais et refermant un faible taux d'alcool. Nous ne pouvons donc pas comparer cette boisson avec ce que nous buvons de nos jours. En 1996, les brasseurs écossais et ceux de Newcastle en Grande-Bretagne brassèrent dans leur maison mère d'Edimbourg de l'ale Toutankhamon. En se servant des recherches du Dr Delwen Samuel du département Archéologie de l'université de Cambridge, sur des restes de bière séchée vieux de 3000 ans, provenant de Tell al-Amarna et Deir al-Medina, ils réussirent à brasser une boisson de blé rouge malté, parfumée de coriandre

et de genévrier. Ce blé dit amidonnier n'avait pas été semé en Egypte depuis plus de 2000 ans et dut être spécialement cultivé en Angleterre.

## **2. Le pain des guerriers**

Au moment où l'homme veut transporter avec lui son aliment préféré, il invente une façon pratique de le déshydrater afin de le dissimuler dans ses goussets. Ce pain de bière se nomme *Ouadjit*. Cette technique est particulièrement appréciée sur les chantiers de construction des pyramides, ainsi que sur les champs de bataille. Il suffit d'émietter la galette, de la faire tremper et puis de boire. Le pain, de la bière solide en somme, vient d'être inventé. Une fresque du tombeau de Kenamon, grand chambellan du pharaon Amenophis II (XV<sup>ème</sup> siècle av. J.-C.) décrit la fabrication de l'Ouadjit.

## **3. Le médicament de l'Antiquité**

Bière est synonyme de vie. Ses vertus médicinales amplifient l'importance de sa consommation : elle apaise le stress et les tensions associées aux conditions de vie primitives. Le Papyrus d'Ebers, datant d'entre 1550 et 1070 av. J.-C., est l'un des ouvrages les plus importants sur la médecine de l'Antiquité. Cette compilation de documents et de recettes orales remontant à 4000 ans av. J.-C. contient plus de 600 prescriptions et remèdes pour soulager toutes les souffrances de l'humanité. L'ingrédient principal d'un grand nombre de ces cures est la bière.

## **4. D'un brassage divin...**

Comme pour les Sumériens et les Babyloniens, la bière a une grande importance culturelle en Egypte Antique. Les anciens Egyptiens passent la majorité de leur vie à planifier leurs prochaines existences. Pour eux, bière et immortalité sont étroitement liées : ils en oignent les nouveaux – nés, ils la servent en offrande aux dieux et ils en apportent dans leur dernier voyage. Les plus riches font construire des brasseries miniatures dans leurs tombes.

Soulignons ce lien céleste dans l'utilisation des aromates, non seulement dans l'art brassicole mais aussi dans celui de l'embaumement.

La bière est fréquemment mentionnée sur les listes d'offrandes et sur d'autres documents. Le livre des Morts égyptien fait référence à une offrande de zythum sur l'autel. Osiris, l'un des plus importants dieux de l'Égypte Antique, était censé protéger les brasseurs.

## **5. ...à un brassage commercial et domestique**

Le palais des pharaons offre à la famille royale des bières royales. Ils reçoivent annuellement des milliers de vases de bière sous forme de taxes et de royautés en provenance des villes, des territoires et des provinces. Comme à Sumer, le salaire minimum est liquide : deux jarres de bière par jour. Cette boisson devient également rétribution pour les personnes au service de l'État : ouvriers, fonctionnaires, prêtres, soldats. Les écoles supérieures enseignent le brassage bien avant l'écriture et la lecture.

L'ancienne Égypte produit beaucoup de documents relatifs à la bière : fresques murales, papyrus, offrandes dans les tombeaux. On y stipule que la vente de bière en échange d'or ou d'argent est interdite. Le vendeur de bière doit vendre sa bière en échange d'orge ayant la même mesure que la quantité de bière reçue. Toute infraction voit le brasseur jeté à l'eau. Les témoignages des voyageurs de l'époque nous renseignent sur la bière de l'Égypte Antique. Ainsi, Hérodote (V<sup>ème</sup> siècle av. J.-C.) mentionne le « vin d'orge » des Égyptiens. Dioscoride (I<sup>er</sup> siècle après J.-C.) indique son nom, zythum, et Athenaus décrit sa fabrication.

Les Égyptiens développent aussi le maltage (cuisson partielle des graines germées), procédé découvert antérieurement en Mésopotamie. En 1990, un vaste complexe - cuisine fut mis à jour dans le temple du soleil de la reine Néfertiti, à Tell al-Amarna, la ville natale de Toutankhamon. L'examen des restes de brassage permit de découvrir que la bière était fabriquée à partir d'orge et d'une ancienne espèce de blé appelée amidonnier.

## **6. La fin d'une tradition**

Vers le VIII<sup>ème</sup> siècle de notre ère, l'Égypte ayant été envahie par les Musulmans dont le Coran interdisait la consommation de boissons alcoolisées, l'industrie égyptienne de la bière subit un déclin dont elle ne s'est jamais relevée. La bière est alors déjà connue partout dans le monde. Ainsi l'historien Hérodote, natif de la Grèce buveuse de vin et qui parcourut l'Égypte en 430 av. J.-C., écrivait : « Les Égyptiens boivent du vin obtenu à partir de l'orge parce que la vigne est inconnue dans leur pays ». La culture des céréales s'étant développée partout, de nombreux autres pays les utilisèrent pour produire de la bière.

### III- LA SEPARATION NORD – SUD

---

Le brassage de la bière arrive en Europe avec la culture des céréales. Le blé et l'orge prospèrent dans les régions froides peu propices à la culture de la vigne. Cette différence de climats crée une sorte de séparation Nord – Sud dans la consommation d'alcool.

#### 1. Les Gaulois

Les témoignages mentionnant l'existence de bières d'orge en Gaule et en Germanie sont particulièrement abondants dans les premiers siècles après Jésus-Christ. Au I<sup>er</sup> siècle de notre ère, Tacite affirme que la bière était la boisson habituelle des Allemands et des Gaulois. Pline l'Ancien note dans son *Histoire Naturelle* (77 apr. J.-C.) que les tribus d'Europe occidentale fabriquaient « une boisson alcoolisée avec du blé trempé dans l'eau ». A l'opposé, dans le sud de l'Europe, le vin règne en maître. Toujours dans son *Histoire naturelle*, Pline l'Ancien nous apprend que le mot *braces*, dont est issu le terme vieux – français du XII<sup>ème</sup> siècle *braye* signifiant malt, est un mot gaulois. Ce *braces* celte, latinisé en *bracium*, se retrouve dans les mots français *brassage* (1131), *brasserie* (1268) et *brasseur* (1250).

Les Gaulois améliorent trois aspects du brassage : ils réalisent la cuisson à l'aide de pierres chauffées ; ils inventent le tonneau qui est à l'origine des entreposages plus longs, jusqu'à huit mois ; ils développent une fameuse potion magique en mélangeant de la cervoise de froment à de l'hydromel. Ils l'aromatisent d'anis, d'absinthe et de fenouil. Les druides préparent également une infusion « magique » qui possède des vertus médicinales en incorporant un ingrédient secret : la sauge, plante aux multiples propriétés médicinales et longtemps considérée comme une panacée.

Sous le règne de Charlemagne (771 – 814), la bière est concoctée dans la plupart des foyers et dans les fermes. Ses ordonnances contribuent à transformer la brasserie familiale en une industrie artisanale organisée. L'empereur aimait la bière et ses capitulaires (recueils de lois

de Charlemagne) nous le prouvent : « Que chaque intendant, dans chacune de nos métairies, veille à la bonne préparation et même à l'excellente qualité des grains qui doivent servir à la préparation de la cervoise... ». Il confie à l'intendant de chaque métairie la responsabilité de surveiller la qualité des céréales qui entrent dans la composition de la cervoise et de s'assurer que les ouvriers brassicoles s'occupent du brassage de façon méticuleuse. Chaque Noël, les intendants doivent présenter un rapport portant sur les récoltes et sur les cervoises alors produites. Ils doivent également apporter des échantillons. Les maîtres brasseurs doivent souvent participer aux agapes en faisant la démonstration de leurs talents devant le grand empereur.

Jusqu'au Moyen - Age, les méthodes de brassage sont relativement simples. Le maltage est, à peu de choses près, semblable à ce qui se déroule toujours de nos jours : on humecte d'abord les grains pour ensuite les laisser germer. On les assèche ensuite pour finalement les écraser lors du brassage. Les brasseurs utilisent de nombreuses céréales (blé, seigle, avoine) avec une préférence croissante pour l'orge, cette dernière étant plus facile à transformer en malt et produisant davantage de sucre, donc d'alcool. Les procédures de brassage sont relativement simples : le malt est mélangé à de l'eau dans de grandes bassines en bois. On y jette des pierres chauffées au rouge afin d'élever graduellement la température de la maïsche. On y rajoute ensuite des herbes et des épices. On laisse le tout refroidir et reposer pendant quelques jours. La fermentation commence alors. Une semaine plus tard, la cervoise est livrée aux papilles des mortels.

## **2. Les Vikings**

Les Vikings brassent une *aaul* que les Danois appellent *öl* et les Anglais *ale*. On y ajoute souvent de l'ail afin de conjurer le mauvais sort. Leurs fêtes commémoratives sont copieusement arrosées de bière, bue dans des cornes réservées à cet usage et traditionnellement décorées de runes (caractères de l'ancienne langue germanique) visant à rendre inoffensif tout poison y ayant été placé par un ennemi. L'ale est tellement prisée que, selon la mythologie scandinave, les Vikings morts en héros se retrouvent au Walhalla qui évoque une brasserie céleste comptant 540 portes. A l'intérieur, les Vikings boivent l'ale à un

nombre illimité de sources jaillissant des mamelles d'une chèvre géante, Heidrun. Le service aux tables est assuré par les Walkyries, plus belles et plus blondes les unes que les autres. Le plus célèbre guerrier Viking, Thor, puise dans la bière une force divine qu'il décuple à l'aide de sa ceinture. Comme tous les dieux, il boit une öl, une *meade*, spécialement concoctée et aromatisée au miel.

Lors de leurs invasions, les Vikings transportent à bord de leurs drakkars tout le matériel nécessaire au brassage et à la consommation : moulins à grains, foyers, bassines, puisoirs, tonnelets, cornes à boire, etc. Lorsque les cornes ne suffisent pas, les terribles guerriers boivent dans le crâne de leurs ennemis. Ils ouvrent d'importants comptoirs commerciaux en Europe et notamment en Germanie (Dantzig, Stettin, Lübeck, Hambourg), à Bruges et à Londres et y répandent leur boisson. A l'instar des Croisés, ils rapportent de leurs voyages en Orient des épices et d'autres produits exotiques qu'ils s'empressent d'infuser dans leur öl, faisant ainsi évoluer la composition originale de l'ale.

## IV- LA SALIVE DES FEMMES

---

Dans de nombreuses civilisations de par le monde, les femmes découvrent que la bière qu'elles préparent fermente plus vite et plus facilement si elles mastiquent les grains avant de les utiliser dans le brassin. Les enzymes que l'on retrouve dans la salive transforment effectivement l'amidon en sucres fermentescibles. Les femmes brasseurs et les tavernières, les *Sabtiem*, deviennent les seuls commerçants à posséder leurs propres divinités qui les guident dans la fabrication de plusieurs bières. Leur savoir se transmet de mère en fille. Du côté occidental de l'Atlantique, Nunui, la Mère terre des Jivaros de l'Equateur, transmet aux femmes le savoir du *Nihamanchi*. Leur rituel est toujours pratiqué de nos jours : les femmes s'assoient en cercle et mâchent des graines de céréales. Crachant ensuite dans la marmite, elles répètent le plus ancien rituel de brassage connu sur terre. On croit que la meilleure bière est issue de la salive des jeunes femmes vierges. Plus au nord, dans les hautes terres, les descendants des Aztèques brassent toujours de nos jours une bière à base de maïs appelée *tesguino*.

La puissance mystique de la salive se retrouve dans celle d'Odin alors qu'il prête la sienne en guise de levure à Geihildir, l'une des femmes du roi Alrekr, afin qu'elle triomphe de Signy, sa rivale, l'autre femme du roi. Si les récits mythologiques n'indiquent pas comment la bière est brassée dans le Walhalla des germains, nous savons que ce sont les femmes, les célèbres Walkyries, messagères d'Odin, qui présentent la bière aux guerriers morts au combat. Le nectar buccal d'une jeune vierge est naturellement beaucoup plus alléchant que celui de récits mythologiques celtiques : pensons à Ceraint l'Ivrogne, fils de Berwyn, qui brasse la première bière avec la bave du sanglier ; Citons également le récit de Kalervo qui concocte la première **öl** en utilisant la bave bouillonnante de deux cochons...

L'emprise féminine sur le brassage se poursuit jusqu'au Haut Moyen Age. Jusqu'à cette époque, les lois germaniques décrètent que le matériel de brassage est la propriété exclusive de la ménagère. D'ailleurs, les outils de brassage font souvent partie de la dot apportée par la femme. En Grande-Bretagne, ce sont les fameuses Ale Wives qui préparent la noble boisson

et le métier du débit de la bière est largement dominé par les femmes. On développe à cette époque « l'Ale du gémissement » servie lors de la naissance d'un premier enfant. La belle-mère ou la brassouse du quartier prépare une ale à forte teneur en alcool. Pendant le travail, la mère en devenir et la sage-femme boivent à même le pot afin de se fortifier pour l'aboutissement de l'épreuve ultime.

## V- LE MOYEN AGE

---

A une époque où l'eau et le lait étaient souvent pollués et le thé et le café inconnus, la bière représentait, plus qu'un simple breuvage alcoolisé et réconfortant, une boisson saine. Le processus de fermentation nécessaire à la production d'alcool éliminait les principaux risques d'infection. Le résultat était très apprécié même si on ne parvenait pas à l'expliquer.

Hors des régions vinicoles, la boisson de table était une bière légère, les fêtes civiles et religieuses étant célébrées par des breuvages plus capiteux. Les brasseurs utilisaient de nombreuses céréales (blé, seigle, avoine) avec une préférence croissante pour l'orge, cette dernière étant plus facile à transformer en malt et produisant davantage de sucre, donc d'alcool. En période de disette cependant, les autorités exigeaient que toute la récolte d'orge soit transformée en pain.

### 1. Le gruyt

Les croisés contribuent à la promotion de l'utilisation des épices dans les cervoises. Ils rapportent de leurs expéditions orientales des épices plus raffinées les unes que les autres. Leur utilisation se répand comme une traînée de poudre dans les mets et les boissons. Ce pouvoir est renforcé par le fait qu'on attribue des vertus thérapeutiques à certains mélanges.

Ces ingrédients donnent naturellement une bière de qualité supérieure. Les mélanges d'aromates, habituellement désignés par le terme anglo-saxon *gruyt*, peuvent comporter une multitude d'épices : l'ambre, la framboise, le safran, la cannelle, la gentiane et le clou de girofle.

Plusieurs villes épiscopales possèdent ou établissent alors un droit de gruyt. Cette forme de taxation est déjà en vigueur en 974 à Liège alors que l'empereur Otton II accorde une licence

à Notger, prince-évêque. Le droit de gruyt représente naturellement un monopole. Le détenteur de la licence peut brasser librement, mais il est tenu d'en acheter une quantité proportionnelle aux céréales brassicoles. On évite ainsi toute dilution ou substitution.

La percée irrésistible du houblon comme principal aromate de la bière, qui s'amorce à compter du XIII<sup>ème</sup> siècle, relègue le gruyt aux livres d'histoire. A l'instar de tout changement, cette évolution connaît ses apôtres de la résistance, surtout ceux qui s'enrichissent du monopole qu'ils exercent. Dans le décret « Grutrecht », l'archevêque de Cologne rendait illégale l'utilisation du houblon. L'archiduc Vassili II de Russie fit la même chose. Ainsi, malgré la percée du houblon partout dans le monde, l'utilisation des épices ne s'évanouit pas complètement. Les brasseurs de Belgique contribuent au maintien de cette tradition, et nous constatons aujourd'hui que le retour des bières de dégustation s'accompagne également d'une utilisation accrue des épices.

## **2. La sainte alliance**

### **a- Le brassage monastique**

Au cours du Moyen Age, dans toute l'Europe, les moines perfectionnèrent l'art du brassage, leur malt étant particulièrement apprécié. Les communautés monastiques qui se développèrent en Europe à partir du Vème siècle abritaient de grandes brasseries, servant autant à leur propre consommation qu'à celle des voyageurs et pèlerins assoiffés.

Dès le VI<sup>ème</sup> siècle, la vie monastique prend un essor important : l'arrivée des moines brasseurs modifie considérablement le paysage brassicole. Déjà, en 770, à l'abbaye de Gorze, (Moselle), dans le *camba* (brasserie ou encore chambre à brasser), le *cambier* (brasseur) œuvre pour le bénéfice de ses confrères silencieux. On assiste alors à un perfectionnement significatif de la bière. Jusqu'au XII<sup>ème</sup> siècle, les moines détiennent virtuellement les connaissances exclusives concernant les techniques brassicoles.

Au haut Moyen Age, la pratique est de disposer de plusieurs brasseries pour produire autant de types de bières, suivant leurs destinations. La plus célèbre des abbayes-brasseries est sans aucun doute l'abbaye bénédictine de Saint-Gall en Suisse qui jouit alors d'une réputation très enviable, notamment grâce à sa malterie, son moulin et ses trois imposantes brasseries, chacune abritant un vaste chaudron de cuivre, un refroidisseur et un tonneau de fermentation. Elle utilise également des cuves en airain équipées de foyers qui chauffent directement les brassins. On constate plus tard qu'il est possible de ne construire qu'une seule brasserie pouvant produire plusieurs types de bières. Voilà comment la pratique de diviser les brassins en plusieurs moûts semble se développer dans les abbayes : après l'empâtage, on soutire un premier moût de la maïsche. Ce liquide comporte une grande quantité de sucres fermentescibles ainsi que des dextrines. Il donne une bière forte et moelleuse. Le malt utilisé renferme toutefois encore une proportion significative de sucre emprisonné. Pour le retirer, on ajoute de l'eau et on filtre une nouvelle fois. Ce deuxième brassin renferme une bière plus légère et plus mince : une bière de table. Le brasseur dispose déjà du choix d'une troisième bière en mélangeant ces deux moûts.

La bière de la première trempée se nomme *celia*, *cervisa* ou encore *prima melior*. Il s'agit naturellement de la meilleure, réservée aux pères et aux invités de marque. Cette pratique est plus tard nommée *premier métier* ou double bière par les brasseurs laïcs. La bière issue du ré-empâtage de la première maïsche est nommée *secunda*, *deuxième métier*, bière simple ou encore *bière de table* pour les frères convers et autres ouvriers. Beaucoup plus qu'un simple lieu de prières, l'abbaye est aussi un relais pour les voyageurs et les pèlerins. Ainsi, une troisième dilution pouvait être faite pour la préparation de la bière offerte aux mendiants et aux voyageurs de passage : la *tertia*.

Bien que son usage pour la communion fut plus tard interdit, l'Eglise considérait la bière comme un bienfait de Dieu. L'un des premiers noms de la levure fut « Dieu est bon » et son action était tenue pour un petit miracle.

On s'efforçait donc de brasser des bières de bonne qualité pour accueillir les voyageurs. Dans l'Allemagne médiévale, on compte plus de 500 brasseries monacales. Les moines de Bavière

apportèrent une innovation qui devait transformer l'industrie de la bière : la fermentation basse. Pendant la chaleur de l'été, la fermentation était difficile à contrôler, les bactéries risquant alors de gâcher la bière. En 1523 en Allemagne, le prince Maximilien I<sup>er</sup> décréta que quiconque voulait brasser entre le 23 avril et le 29 septembre devait obtenir une permission spéciale. Devant cette restriction, les monastères bavarois furent les premiers à entreposer la bière dans des caves fraîches pendant de longues périodes. Certaines levures furent affectées par cette méthode. A des températures basses, ces levures, au lieu de mousser en surface, retombaient dans le fond et fermentaient beaucoup plus lentement. Il apparut que la bière obtenue par ce procédé de fermentation basse du nom de *lagering* (qui signifie « conservation » en allemand) se conservait bien plus longtemps. Ce fut l'avènement de la *lager*.

#### b- L'héritage des moines

En Grande-Bretagne, les brasseries se développèrent rapidement après la bataille d'Hastings en 1066. L'ale y était alors considérée comme un aliment et son prix était rigoureusement réglementé. Les monastères avaient pris une telle importance dans l'industrie de la bière que celle-ci adopta plus tard la méthode des moines : des croix sur le tonneau pour indiquer la force de la bière.

Cette main-mise dura de nombreux siècles, jusqu'à ce qu'elle subisse naturellement les contrecoups de la mise au pilori de ces lieux de culte et de contemplation. Ainsi la Révolution française chasse les moines de leurs couvents, mettant fin au brassage monastique. Le coup de grâce est porté par Napoléon qui sécularise les monastères au début du XIX<sup>ème</sup> siècle. La majorité des abbayes cesse de brasser au début du XX<sup>ème</sup> siècle : les quelques mouvements de retour dans les abbayes qui surviennent ultérieurement ne sont pas toujours suivis de la mise en opération des outils de brassage, sauf en Belgique et en Hollande où quelques ordres de stricte obédience continuent de manier le fourquet. La renaissance des brasseries monastiques s'effectue à la faveur d'une faille dans le code Napoléon qui n'interdit pas spécifiquement le droit d'association dans les abbayes. Ainsi, plusieurs brasseries d'abbaye se recréent en Belgique, en France et en Hollande., la majorité cesse de brasser au début du XX<sup>ème</sup> siècle.

Certains monastères, comme l'abbaye Notre-Dame de Scourmont en Belgique qui vend dans le monde entier ses célèbres ales Chimay, produisent même à une grande échelle. En Angleterre, c'est le roi Henri VIII qui mit brusquement fin aux activités brassicoles dans les monastères lors de leur dissolution.

### c- L'utilisation du houblon

L'utilisation du houblon est très ancienne. Il est utilisé, à l'occasion, à titre d'épice ou encore mélangé au malt dans la maïsche. Les communautés religieuses d'Europe centrale ont été les premières à utiliser le houblon qui fut introduit plutôt pour ses propriétés de conservateur que pour son amertume, souvent peu appréciée. De plus, comme il n'est pas soumis au droit de gruyt, les brasseurs l'utilisaient beaucoup, ce qui généra un conflit à l'issue duquel l'Eglise perdit ce droit. Dès 736, il est fait mention des plantations de houblon des abbayes du district de Hallertau en Allemagne. Les registres de l'évêché de Freising en Bavière évoquent la culture du houblon au IX<sup>ème</sup> siècle. En 1079, une herboriste notoire, l'abbesse Hildegarde de Saint-Reprechtsberg, près de Bingen, constate dans *Le livre des subtilités des créatures divines*, que « ...grâce à son amertume, il arrête la putréfaction de certaines boissons auxquelles on l'ajoute, si bien qu'elles se conservent ainsi plus longtemps ».

La pratique rigoureuse de houblonner les moûts ne débute qu'au XIII<sup>ème</sup> siècle. Sa consécration à titre de matière première « essentielle » survient au XVI<sup>ème</sup> siècle. L'emploi du houblon se généralise d'abord en Bohême, ensuite dans toute l'Allemagne puis en Hollande, devenue la plaque tournante du commerce international. Déjà au XIV<sup>ème</sup> siècle, la majorité des brasseries de l'Europe continentale l'utilise régulièrement. Malgré l'introduction du houblon par les immigrants flamands en Angleterre en 1520, ce n'est qu'à la fin du XVII<sup>ème</sup> siècle que le même phénomène est accepté en Grande-Bretagne.

On a longtemps prétendu que le houblon, « cette herbe pernicieuse et ensorcelée », pouvait causer la mort. Mais sur le continent, d'autres chevaliers en font la promotion. Jean « Sans Peur » de Nevers fonde l'Ordre du Houblon afin de mettre en valeur sa culture dans les

Flandres. Des irréductibles maintiennent l'utilisation des épices dans plusieurs de leurs décoctions : surtout les Belges mais également certains brasseurs britanniques, notamment en Ecosse, ainsi qu'en Scandinavie.

La « Loi de la pureté de la bière en Bavière », la fameuse *Reinheitsgebot*, est souvent citée comme le déterminisme de la généralisation de l'utilisation du houblon. En fait, il s'agit d'abord d'une ordonnance de la maison des moines (Munich). Le 20 novembre 1487, le duc Albrecht IV de Bavière la relance lorsqu'il édicte une loi concernant les matières premières de la bière. En 1516, Guillaume IV s'en inspire en la nommant Bayerische Reinheitsgebot. Il ne s'agit alors que d'un décret temporaire valable pour l'année 1516, et seulement sur les terres de Bavière. Cette année-là, la récolte de blé est mauvaise. Guillaume de Bavière oblige alors les brasseurs à n'utiliser que de l'orge, interdisant ainsi le blé, réservé à la préparation du pain. En 1517, et les années suivantes, les brasseurs bavarois peuvent brasser avec toutes les céréales souhaitées. La finalité originelle du décret est d'interdire l'utilisation d'une céréale plutôt que de « purifier » la bière.

#### d- Les patrons

La période médiévale donne à la bière et aux brasseurs deux de leurs figures légendaires : Saint Arnould, protecteur des brasseurs et Gambrinus, Roi de la bière, homologue de Bacchus ou de Dionysos. De tous les patrons de la bière, Saint Arnould et Gambrinus sont les plus populaires. Saint Arnould est même devenu le patron officiel de la Confédération des brasseries de Belgique. Mais c'est plutôt l'homonyme de ce dernier qui nous offre le premier miracle de la bière : Arnould de Metz.

Né en 580, il devient évêque de Metz en 612. A sa mort, il est inhumé au monastère de Saint-Mont. En 641, les habitants de Metz réquisitionnent le corps afin qu'il repose éternellement dans l'église des Saints Apôtres de Metz. Pendant le voyage, les porteurs et les personnes formant le cortège durent s'arrêter à cause de leur grande fatigue à Champigneulle. Malheureusement, il n'y avait qu'une chope pour éteindre la soif de tous ces gens. Elle ne

s'est jamais asséchée, permettant à tous de se ragailhardir. Arnould est alors vénéré dans toute la France, au Luxembourg et en Wallonie. Ce miracle de la multiplication des chopes de bières va faciliter l'arrivée du culte d'un deuxième patron un peu plus au nord.

Fils de brasseur, Arnould le Fort naît à Tidinghem, aujourd'hui Tieghem, en Belgique, en 1040. Il affectionne la cavalerie et brille dans ses combats. Il remporte le tournoi des joutes d'Utrecht avec un tel panache qu'on le surnomme Arnould le Fort. Il entre comme novice à l'abbaye bénédictine de Saint-Médard de Soissons. En 1072, il est fait abbé. Neuf années plus tard, il est nommé évêque de Soissons par le Concile de Meaux. En 1084, il fonde l'abbaye de saint-Pierre à Oudenbourg. La construction de l'abbaye amène plusieurs ouvriers dans la ville. La production locale de bière ne suffit plus pour étancher la soif des ouvriers qui doivent alors boire de l'eau. Des épidémies se déclarent. Au même moment, la brasserie de l'abbaye devient opérationnelle. Alors que la première bière fermente, un incendie se déclare dans le couvent. Dans un geste de sa crosse dorée, Arnould bénit le brassin et la bière est sauvée. Elle peut maintenant à son tour sauver des vies. Son miracle est donc double : avoir guéri les ouvriers et avoir récupéré le moût. Arnould meurt au mois d'août 1087 et est canonisé en 1120.

Gambrinus porte le titre de roi de la bière. Il s'agit d'un personnage jovial un peu loufoque. Il est le patron laïc des brasseurs en Allemagne, en République tchèque, en France et en Belgique. Sa popularité explose au XIX<sup>ème</sup> siècle, mais son origine est moins évidente. Il semble y avoir plusieurs personnages réels ou fictifs qui expliquent qui est Gambrinus. Le plus important est sans aucun doute Jean I<sup>er</sup> devenu duc de Brabant à l'issue d'une importante victoire militaire. Mais il est surtout le grand protecteur des cervoisiers de son duché et leur apporte des privilèges importants. D'autres pensent qu'il s'agit de Jean Sans Peur, le duc de Bourgogne fondateur de l'Ordre du Houblon. Les Allemands, quant à eux, pensent qu'il s'agit d'un roi mythique, Gambrivius, ayant vécu au XVI<sup>ème</sup> siècle.

### 3. Les bières artisanales

En dehors des monastères, la bière était surtout fabriquée artisanalement. Tâche domestique, comme la cuisine et le ménage, la fabrication de la bière était réservée aux femmes. C'était le cas dans l'Angleterre médiévale. Dans certaines parties d'Allemagne du Nord, jusqu'au XVI<sup>ème</sup> siècle, les ustensiles de brassage faisaient partie de la dot des jeunes filles.

En Angleterre, le salon des brasseuses (nommées *ale-wife*, signifiant littéralement « l'épouse de la bière ») les plus réputées s'ouvre aux voisins. Lorsqu'une bière est prête, la femme ou son mari doit annoncer, en vertu de la législation de Richard II promulguée en 1393, la disponibilité de la bière en accrochant au-dessus de la porte de leur maison une branche ou un bâton. On assiste ainsi à la naissance des maisons de la bière, les *Ales Houses*. Ces maisons deviennent des *Public Houses* et, plus tard, sont désignées par la simple abréviation *Pub*.

Le passage de la brasserie domestique à la brasserie industrielle se déroule graduellement du X<sup>ème</sup> au XIII<sup>ème</sup> siècle, d'abord dans les villes, puis quelques siècles plus tard dans les campagnes.

### 4. Corporations et réglementation de la qualité

#### a- La naissance des corporations de brasseurs

Suite à l'effondrement de l'empire romain, les systèmes politiques du Moyen Age se basent sur la féodalité. L'Europe est alors divisée en royaumes et duchés. Le flux du pouvoir politique se transporte vers la papauté, les rois, les princes, les ducs, les villes libres et l'héritier de l'empire romain : l'empereur germanique.

Lorsqu'un organisme politique devient trop puissant, les autres associations se liguent afin de diminuer, d'une façon ou d'une autre, la menace que représente alors cette concentration de

pouvoir. Les villes libres en profitent. Elles renforcent leurs statuts en offrant soutien et contributions aux belligérants en fonction de leurs propres intérêts. Les villes libres de l'ancien empire romain deviennent des grands centres. Une puissante organisation se forme pour défendre la route de commerce de ses membres : la Hanse, la plus puissante organisation de commerce et de navigation des temps médiévaux. L'une des principales forces économiques de ce regroupement est naturellement la bière. On rencontre d'importants centres brassicoles à Brême, à Lübeck et à Hambourg. Cette dernière joue un rôle déterminant. Les premières bières qui y sont brassées d'abord de couleur rougeâtre, sont de type Gruyt. Vers 1233, l'utilisation du blé leur donne une robe laiteuse blanchâtre. Puis, vers 1374, elle devient blonde – cuivrée. En 1376, on compte déjà à Hambourg, 457 brasseurs.

On distingue deux types de brasseurs : les brasseurs de mer, c'est-à-dire ceux qui exportent leurs décoctions et les brasseurs de terre, ceux qui répondent au marché local. Les brasseries de la Hanse font connaître deux importants styles de bières : les bières fermentées à froid et la bière de Lübeck. Cette dernière deviendra la célèbre **bock**. Einbeck jouit déjà au XIV<sup>ème</sup> siècle d'une réputation internationale prestigieuse pour ses bières.

La liberté de brasser ou de vendre de la bière constitue un privilège contrôlé par les Eglises et les nobles. Naturellement, ils s'octroient le premier droit de brassage et de commerce. Lorsqu'ils ne sont pas en mesure de suffire à la demande, ils cèdent des droits à l'entreprise privée, en échange de taxes perçues. Habituellement, les droits accordés sont suivis de la création d'une guilde qui, à son tour, réglemente le brassage. La corporation contrôle notamment les matières premières autorisées, les quantités et les types de bières pouvant être brassées par chaque brasserie. En d'autres mots, n'est pas libre de brasser qui veut, ni ce qu'il veut.

Vers la fin du Moyen Age, de puissantes corporations se sont formées. Il faut montrer patte blanche avant d'être autorisé à devenir brasseur. Il ne faut pas être un enfant illégitime et n'avoir jamais été trouvé coupable d'adultère. Les brasseurs qui ne respectent pas les recettes de base, notamment ceux qui diluent leurs produits avec de l'eau, risquent la peine de mort.

On reconnaît donc quatre types de brasseries : communales et conventuelles (ou monacales), domestiques et seigneuriales. La majorité des foyers, riches ou pauvres, brassent toujours. En Belgique, on trouve également des brasseries publiques. Moyennant une redevance au prince ou au seigneur, on peut y brasser les jours désignés. Il existe déjà des brasseries commerciales plus ou moins importantes, mais la bière ne possède pas encore une grande valeur marchande. En règle générale, il s'agit d'une boisson prosaïque qui se consomme jeune, près de la brasserie.

#### b- Les Francs Brasseurs

Le métier de cervoisier est très ancien. On attribue toutefois sa reconnaissance officielle à Etienne Boileau, prévôt de Paris, lorsqu'il rédige le *Premier Livre des Métiers*. Il reprend alors l'ensemble des règlements de corporations existant depuis longtemps à l'époque. Il érige en 1268, sous le règne de Louis IX (Saint Louis), le droit de faire de la cervoise comme privilège royal. Les dispositions comportent des règlements rigoureux et un contrôle sévère de la production et de la vente de la cervoise. Le Registre des Métiers de Paris indique que pour obtenir le titre de cervoisier, l'apprenti doit étudier le métier pendant cinq ans. Un seul apprenti est autorisé par maître brasseur. Il est interdit de vendre la bière ailleurs que là où elle est fabriquée.

Les corporations de brasseurs se forment ici et là en Europe. Elles contrôlent les types de bières qu'un brasseur est autorisé à brasser ainsi que les prix. Dans les villes où elles existent, les corporations se liguent rapidement contre la venue des bières de l'extérieur en créant des taxes à l'importation. Notons que malgré leur prix supérieur, les bières houblonnées en provenance d'Allemagne connaissent généralement un succès immédiat partout où elles sont introduites.

A la fin du XII<sup>ème</sup> siècle en Angleterre, sous le règne de Richard Cœur de Lion, naît la corporation des brasseurs. Elle se nomme d'abord *Guild of our Lady and St Thomas of Becket*. Il simplifie plus tard ce nom en faveur de *Le Mystère des Francs Brasseurs*. Chaque ville

possède ses contrôleurs de qualité et chaque brasseur doit faire appel à leurs services pour la certification de chaque brassin. Jusqu'au XIX<sup>ème</sup> siècle, le brasseur détient des droits exclusifs de fabrication et de vente.

## **5. L'internationalisation**

A l'aube de la révolution industrielle, trois grandes écoles brassicoles se dessinent. On retrouve l'influence germanique, l'influence britannique et, entre ces deux pôles, subsistent les brasseurs belges et du Nord de la France qui s'en inspirent ou qui rejettent ces deux influences dans le développement ou le maintien de techniques brassicoles qui leur sont propres.

L'influence allemande conquiert naturellement l'Allemagne et les pays limitrophes, notamment la Bohême. On y développe et raffine une bière blonde, dont la saccharification est l'aboutissement d'un processus de décoction, qui fermente à froid et qui nécessite une période d'entreposage plus longue. Le produit final se caractérise par une grande douceur et une faible amertume. Alors que cette bière conquiert les papilles des peuples germaniques, ce sont les vagues d'immigrants allemands qui apportent cette technologie dans leurs bagages lorsqu'ils traversent les mers pour s'installer aux Etats-Unis ou en Australie au XIX<sup>ème</sup> siècle.

Pendant ce temps, jouissant d'une force navale supérieure et d'un accès colonial à un empire de richesses communes, le Common Wealth, les brasseurs britanniques deviennent les premiers exportateurs de bière. Les particularités du brassage anglais sont également uniques et considérablement plus simples : saccharification par infusion à un seul palier et fermentation à la température ambiante. Les contingences liées à l'exportation, notamment en Inde, favorisent le développement d'une bière pouvant résister aux risques liés au transport de l'ale. On la développe alors plus houblonnée (de houblons fécondés) et renfermant un degré supérieur d'alcool.

On retrouve dans cette polarisation l'origine des noms désignant les deux grandes familles de bière : « lager » pour désigner les fermentations basses, et « ale » pour désigner les fermentations hautes.

Pendant ce temps en Belgique, les moines trappistes renouent avec leurs traditions brassicoles. Des brasseurs de la région de Bruxelles refusent d'abandonner leur héritage à l'autel de la pasteurisation et plusieurs fermes brassicoles poursuivent leurs rythmes au fil des saisons. Les irréductibles de la région de Bruxelles portent bien le flambeau du brassage ancestral et sont à l'origine du maintien de cette troisième grande famille de bières : le « lambic ».

## VI- LA REVOLUTION INDUSTRIELLE

---

Déjà avant les grands chambardements industriels, deux inventions contribuent à mieux maîtriser le brassage : le thermomètre, inventé par Fahrenheit en 1714, et l'hydromètre, inventé par Marin en 1768. Ces instruments sont à l'origine des premiers cahiers de brassage. Ils permettent de consigner une information cruciale sur chacune des étapes.

### 1. La révolution de la distribution

#### a- Un essor limité

Au XVI<sup>ème</sup> siècle, le brassage reste artisanal et est encore essentiellement réalisé par les femmes, dans le cadre d'un usage domestique ou de vente aux voisins. Les brasseries qui vendent de la bière en tonneaux subviennent surtout à leur propre boutique et aux besoins locaux, peu d'entre elles cherchant plus loin. A une époque où les meilleures routes sont creusées d'ornières, et où le cheval et la charrette constituent le seul vrai moyen de se déplacer, transporter de lourds tonneaux de bière paraît absurde.

La bière étant un produit encombrant et de valeur marchande assez faible, les brasseurs trouvent beaucoup plus facile et moins onéreux de la fabriquer là où elle est consommée. Les brasseries n'atteignent une taille importante que dans les grandes villes, où le marché de proximité est plus important. En fait, les ingrédients de la bière sont plus légers et faciles à manipuler à sec. En conséquence, le houblon, l'orge et le malt sont convoyés sur de longues distances et le maltage (cuisson de l'orge et d'autres grains partiellement germés) devient une industrie à part entière. Le malt est relativement précieux et suffisamment léger pour que son transport vers des destinations lointaines soit rentable. Les taxes concernent généralement le malt et non la bière, ce qui prouve l'importance de l'industrie du maltage.

Les brasseries importantes ne peuvent s'étendre que grâce aux moyens de transport. Nombre d'entre elles s'établissent près des rivières, non pour se fournir en eau mais pour permettre aux bateaux de transporter la bière. Au XVI<sup>ème</sup> siècle, les grandes brasseries londoniennes fournissent ainsi le marché sans cesse croissant des Pays-Bas et de l'Allemagne du Nord. Il faut cependant attendre le développement du transport par canaux au XVIII<sup>ème</sup> siècle, puis celui du chemin de fer au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, pour que les gros tonneaux soient transportés beaucoup plus facilement. L'industrie de la bière est alors enfin capable de prendre son essor.

#### b- La force de la vapeur

Le brassage a peu changé au cours des siècles. Une ménagère de 1400 reconnaîtrait sans difficulté le matériel et les techniques de base utilisés en 1750. Seule l'importance prise par le houblon en tant qu'ingrédient la surprendrait. L'énergie est fournie par les muscles des hommes, la seule vapeur étant celle qui s'élève du chaudron bouillonnant.

Cependant, en 1774, l'Écossais James Watt brevète un moteur à vapeur que les grandes brasseries londoniennes adoptent rapidement. En 1875, Whitbread installe une machine à vapeur Boulton et Watt dans sa brasserie de Chiswell Street à Londres pour moulinier le malt et pomper l'eau. Cette machine remplace 24 chevaux et représente une telle prouesse technique que le roi Georges III vient la voir en personne.

## **2. La mécanisation du brassage**

Les révolutions industrielles et scientifiques s'amorcent en Europe au XIX<sup>ème</sup> siècle. Elles bouleversent irrémédiablement le monde du brassage. Toutes les techniques brassicoles qui gouvernent le brassage contemporain sont mises au point pendant cette période de grande effervescence. Deux dimensions transforment la conception du brassage : d'une part sa mécanisation qui permet d'augmenter les volumes produits et d'autre part, la possibilité de contrôler rigoureusement chaque étape de la production de façon scientifique.

Daniel Wheeler fait breveter une machine à rôtir le malt en 1817. Le nouveau malt est alors nommé *Patent black malt*. Ce malt est rapidement adopté par les brasseurs. Ni les malts pâles, ni les malts foncés n'existent avant cette invention. La production d'un malt pâle tel que nous le connaissons de nos jours nécessite l'utilisation d'un feu indirect pendant le touraillage, tandis que la production d'un malt noir requiert une température élevée, impossible à atteindre dans les tourailles en bois. Le développement du malt pâle, celui qui donne les bières blondes, n'est rendu possible sur une base industrielle qu'avec le développement du coke comme combustible pour les fours. Il est alors possible de produire une chaleur moins élevée empêchant le malt de brunir lors de son touraillage. Le malt le plus utilisé, et donc le moins coûteux, est le brunâtre.

L'utilisation de l'hydromètre dans le brassage permet de déterminer qu'en utilisant des malts plus pâles, on obtient un rendement plus élevé lors de la saccharification. Si, un peu partout dans le monde, cette découverte contribue à l'abandon graduel des bières de couleur brunâtre, en Grande-Bretagne, conservatisme oblige, les brasseurs optent pour l'utilisation de malts colorés ou encore de sucres caramélisés afin de continuer de brasser des bières rousses. Mais si cette nouvelle pale ale est la plus pâle des bières, elle offre néanmoins une robe rouquine aux yeux des continentaux qui découvrent les bières blondes.

Jean-Louis Baudelot invente le refroidisseur à moût par ruissellement en 1856. Cet appareil est muni de tubes de cuivre à l'intérieur desquels circule de l'eau de source pendant que l'on fait couler du moût bouillant à l'extérieur. On récupère le liquide refroidi et on passe directement à la fermentation.

Les grandes brasseries ne sont pas longues à adopter d'autres innovations scientifiques, tels les thermomètres, les hydromètres régulateurs de température et les retourneurs mécaniques. Plusieurs entreprises importantes de l'industrie britannique et irlandaise sont nées dans la seconde moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle : par exemple William Younger à Edimbourg (1749), Arthur Guinness à Dublin (1759) ou William Bass à Burton (1777). En 1796, la brasserie Whitbread à Londres devient la première du monde avec 200 000 tonneaux par an.

### **3. La bouteille de verre et l'essor de la fermentation basse**

La fermentation basse, grande innovation des moines, s'est répandue partout en Europe. Le brasseur du XIX<sup>ème</sup> siècle a cependant encore du mal à contrôler la force et la température de la bière au cours du brassage. En 1836, Gabriel Sedlmayr prend la direction de la brasserie Spaten à Munich et met au point l'art de produire des bières plus stables à fermentation basse, en les gardant au frais. Malgré cette nouvelle méthode de brassage, les bières lager gardent jusqu'en 1842 la même couleur que les autres types de bière, brun foncé ou rouge ambré. La métamorphose en un liquide limpide et doré vient d'une autre partie de l'empire austro-hongrois.

En 1838, après avoir une fois de plus jeté de la bière devenue aigre et imbuvable, les habitants de la ville de Plzen en Bohême (aujourd'hui République Tchèque) décident de construire une nouvelle brasserie. Ils la confient à un brasseur bavarois nommé Josef Groll, avec pour mission d'employer la méthode de fermentation basse, plus sûre. Le 5 octobre 1842, Josef Groll brasse son premier moût à plzen, donnant le jour à la première lager blonde. Sa couleur claire n'est probablement due qu'au hasard. L'orge récoltée dans la région est pauvre en protéines ce qui favorise la limpidité. De plus, le calcaire, qui a tendance à faire passer la couleur du malt dans la bière, est de faible quantité dans l'eau du quartier de Bubenc à Plzen où se trouve la brasserie. La lager reste donc blonde et limpide.

A une époque et en un lieu différent, personne peut-être n'aurait remarqué la bière blonde et pétillante de Josef Groll. Mais il se trouve qu'une autre industrie célèbre de la Bohême est le travail du verre. Jusqu'alors, la bière est servie dans des pots en bois, en terre, en faïence, en métal, voire en cuir. Sa limpidité et sa couleur n'ont guère d'importance du moment que son parfum et sa saveur sont satisfaisants. Mais grâce au développement de la production de verres en série, la lager dorée et pétillante de Plzen révèle toutes ses qualités et devient extrêmement populaire.

Bien que l'on puisse retrouver des spécimens millénaires de bouteilles, ce n'est qu'au XVIII<sup>ème</sup> siècle que l'on assiste à l'essor d'une véritable industrie du verre. Le consommateur peut maintenant admirer le scintillement de son nectar doré ! Le développement de la bouteille à bière n'apparaît qu'aux environs de 1880-1885 alors que la verrerie mécanique est inventée. Cette innovation coïncide justement avec l'essor de la fermentation basse.

A cette époque, la ville de Plzen est plus connue sous son nom allemand de Pilsen. Le type *pilsner* est bientôt copié dans toute l'Allemagne, en Europe et à travers le monde entier, la bière s'appelant souvent pils d'après le nom de sa ville d'origine. Bien que d'autres contrées produisent d'excellentes pilsner, la plupart des lagers se contentent d'être une pâle imitation de ce type particulier. Les pays qui ont peu ou pas de tradition brassicole ont adopté depuis cette bière blonde universellement populaire et les lagers de type pilsner sont certainement les plus courantes.

#### **4. Le froid sur commande**

D'efficaces moyens de transports et une mécanisation peu coûteuse ont considérablement réduit les travaux pénibles du brassage. Grâce à la technique plus sûre de fermentation basse, le risque est moins fréquent de voir la bière aigrir et la levure fermenter de façon aléatoire. Cependant, la température de la bière prend de plus en plus d'importance, au bar comme à la brasserie. Les brasseurs veulent pouvoir brasser toute l'année sans que l'été gâche la production et les buveurs de bières réclament avec insistance une boisson rafraîchissante voire très froide.

Au début du XIX<sup>ème</sup> siècle, l'amélioration des transports permet d'utiliser en plus grande quantité la glace des lacs et des montagnes. Grâce à d'énormes blocs de glace, on peut garder la bière au frais pendant l'été. A Strasbourg en 1867, il existe 46 entrepôts de glace. Aux Etats-Unis en 1875, les brasseries utilisent environ 30 millions de tonnes de glace.

Mais l'avancée technologique qui libère les brasseurs, en leur permettant de produire la bière et en n'importe quel lieu, est l'avènement de la réfrigération mécanique. L'un de ses pionniers, l'Australien James Harrison, inventa vers 1850 une machine à compression qui est utilisée pour conserver de nombreux produits périssables.

La machine à glace artificielle est inventée en 1859, par Carré. Elle permet ainsi aux brasseries souhaitant offrir des bières de fermentation basse de s'installer ailleurs que près des grottes ! Cette invention exerce un impact significatif sur le brassage : non seulement au niveau du refroidissement du moût, mais également pour plusieurs autres opérations dont la fermentation basse et le brassage à longueur d'année. Jusqu'alors, le refroidissement se fait à l'étage supérieur de la brasserie, la nuit, l'air étant plus frais, plus pur et plus propre. On utilise des bacs refroidisseurs peu profonds, semblables à ceux que l'on retrouve de nos jours dans les brasseries de lambic en Belgique.

Les grands brasseurs comprennent rapidement l'avantage de ces inventions. En 1870, Guinness de Dublin installe quatre ensembles réfrigérants dans sa brasserie de St James. En 1873, la brasserie Spaten de Munich ouvre une usine de réfrigération. Vers 1870 en Amérique du Nord, Anheuser - Busch lance les premiers wagons réfrigérés pour transporter ses produits d'est en ouest. Vers 1908, la compagnie de réfrigération Linde livre 2600 machines, dont plus de la moitié aux brasseurs. Le concept de la lager pâle et glacée est rentré dans les mœurs.

## **5. La découverte de la levure**

Leuwenhoeck identifie la levure à bière en 1680, mais n'est pas en mesure d'en expliquer la nature, ni le mode de fonctionnement. La première explication du travail de la levure n'est proposée qu'en 1839 par Cagniard - Latour. Il indique que la fermentation implique une cellule de levure. Naturellement, la théorie de ce dernier se base sur une cellule invisible. Son point de vue est sérieusement contesté par les scientifiques de l'époque. L'année suivante, Anton Dreher et Gabriel Sedlmayr identifient la levure comme « l'ingrédient secret » qui fait la gloire des bières bavaroises. Cette levure est exportée en Bohême, à Plzen, en 1842. Elle

donne l'occasion à la brasserie Pilsner Urquell de lancer cette bière blonde qui bouleverse le monde de la bière.

Les travaux de Pasteur sur la fermentation en 1876 ouvrent la route menant à la compréhension du rôle de la levure et de ses cousines les bactéries. Ses *Etudes sur la bière* démontrent la nature vivante de la levure et identifient les bactéries responsables du trouble et des mauvais goûts. Les résultats de ses recherches poussent les brasseries à s'équiper d'un laboratoire. En 1883, Emil Hansen, de la brasserie Carlsberg au Danemark, développe la technique d'isolation d'une seule cellule de levure afin d'en faire la propagation pour fins d'utilisation dans le brassage. Cette découverte permet finalement aux brasseurs d'exercer un contrôle total sur les bières qu'ils brassent.

L'œuf à levure aussi connu sous le nom d'œuf des brasseurs est alors inventé. Il s'agit d'un appareil de forme ovoïde, qui résiste aux pressions de la fermentation. Sa fonction essentielle est d'injecter la levure dans le moût.

## VII- DES GEANTS SE FORMENT

---

La brasserie devient une entreprise industrielle qui doit composer avec la concurrence de plus en plus féroce. Elle doit alors améliorer sa productivité tout en maintenant des prix très bas. L'évolution des moyens de communication favorise le transport des bières. Les conditions sont réunies pour que des géants brassicoles se développent, d'abord au Etats-Unis puis partout dans le monde.

### 1. L'âge d'or de l'industrie brassicole américaine

Le développement de l'industrie brassicole en Amérique du Nord est plutôt lent et irrégulier. Au temps de la colonisation, l'industrie est caractérisée par le développement de petites brasseries d'influence britannique. Malgré les boycotts des Pères de la révolution américaine, ales et porters sont les styles les plus populaires aux Etats-Unis. Ce sont les immigrants allemands qui influencent de façon déterminante l'adoption des techniques de fermentation basse pour le brassage de bières plus douces. Ces derniers immigreront en formant des zones ethniques contribuant ainsi au développement d'un important marché.

Cette influence exerce un impact sur le marché américain à compter des années 1840. La plupart des nouveaux brasseurs américains sont d'origine allemande. Ils sont à la source de ces empires brassicoles qui sont devenus les Anheuser - Busch, Miller, Weinhard, Coors, etc. Les bières de fermentation basse connaissent un succès immédiat et supplantent rapidement les porters et ales. Leurs cousins canadiens, John Molson puis John Labatt, d'origine britannique, n'ont, quant à eux, amorcé le virage vers la douceur qu'au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle avec la production de plus en plus importante de bières de fermentation basse.

#### a- Aux Etats-Unis : la naissance de la Budweiser

Le tandem Anheuser - Busch imprègne l'histoire de la bière d'un sceau marquant. En 1850, une obscure brasserie de Saint Louis du nom de Schneider, est rachetée par la compagnie Hammer & Urban qui l'exploite jusqu'à sa faillite en 1857. Le principal créancier, un marchand de savon prospère du nom d'Eberhard Anheuser, en prend possession et la nomme E. Anheuser & Co. Son gendre, Adolphus Busch, investit dans la compagnie en 1865 et en prend la direction opérationnelle. En compagnie d'un ami, Carl Conrad, il lance à l'occasion du centième anniversaire des Etats-Unis, en 1876, une bière dont la formule s'inspire d'un type très en vogue en Bohême, la Budweiser, du nom de la ville de Ceske Budejovice (Budvar en français, Budweis en allemand) en République Tchèque.

Au moment de son développement, il s'agit d'un produit haut de gamme requérant des investissements supérieurs : du malt à deux rangs, du houblon frais, une procédure de vieillissement impliquant une krausenisation (processus de conditionnement qui consiste en l'ajout de moût frais à une bière finie de manière à produire le pétillage et à la saturer en gaz carbonique) ainsi que l'utilisation de copeaux de hêtre pour clarifier la bière et en absorber l'amertume.

Saint Louis est une ville honnête, mais ne possédant pas le même potentiel que les grandes villes de la Nouvelle-Angleterre comme Philadelphie, New York ou Boston. Busch établit alors un réseau de « maisons de glace » sur les parcours des voies ferrées afin d'entreposer les envois de bière. En 1877, il innove en utilisant des wagons réfrigérés. Busch devient président en 1880 à la mort de son beau-père et modifie le nom pour celui d'Anheuser – Busch en 1883. Dès lors, la brasserie entreprend une croissance rapide en réinvestissant tous les profits. Déjà au début du siècle, elle brasse un million de barils. De nos jours, elle est la plus importante brasserie au monde.

## b- Au Canada

L'industrie de la bière canadienne se développe parallèlement à celle des Etats-Unis, bien que le Canada ait souvent montré la voie en matière de technologie. La première brasserie commerciale (la plus ancienne d'Amérique du Nord) est installée à Montréal en 1786 par un immigrant anglais, John Molson. Deux autres suivent, Thomas Carling, à London, Ontario, en 1840 et John Labatt, dans la même ville, sept ans plus tard.

Canada et alcool n'ont jamais fait bon ménage et, après le vote de la Scott Local opinion Law en 1878, une véritable toile d'araignée d'interdiction englua la production et la vente de bière. Après la période sèche de la prohibition nationale de 1918 à 1932, chaque province établit son propre carcan de lois strictes dont beaucoup existent encore. Dans l'Ontario par exemple, le Liquor Control Board est l'un des plus grands acheteurs d'alcool du monde et possède un monopole sur la vente de bière dans 585 magasins. Les taxes canadiennes sur l'alcool sont également les plus élevées du monde. En conséquence, la bière est relativement chère au Canada.

Les lois locales exigeant que la bière soit brassée dans la région où elle est vendue, les trois grands groupes qui dominent l'industrie brassicole canadienne, Molson, Labatt et Carling, possèdent des brasseries éparpillées dans les provinces et produisent leurs bières sous d'innombrables étiquettes locales. La bière est d'abord du type ale à fermentation haute, reflétant les origines anglaises des brasseurs fondateurs, mais elle fait bientôt place à des lagers à fermentation basse.

## **2. Le tonneau brisé**

Les travailleurs industriels toujours plus nombreux et qui, malgré d'effrayantes conditions de travail dans les usines, sont cependant mieux lotis que leurs cousins campagnards, noient leurs soucis dans une bière forte et bon marché. Les bars publics se multiplient dans les villes et l'alcoolisme devient un fléau. Au début du XIX<sup>ème</sup> siècle on trouve enfin, avec le thé et le

café, des boissons « saines » à opposer à la bière, l'un et l'autre devenant tout aussi populaires en Europe et en Amérique du Nord. Pour la première fois depuis son apparition, la bière n'est plus un élément vital du quotidien.

#### a- La boisson du diable

Les autorités religieuses sont consternées par le fléau social de l'alcoolisme. Les apôtres de la tempérance, qui fulminent contre les méfaits de l'alcool, trouvent un public toujours plus nombreux. A travers l'Europe, les ligues anti-alcooliques organisent des réunions et exigent une législation restrictive. L'Eglise insiste pour bannir l'alcool le dimanche. L'Ecosse calviniste, malgré une industrie de la bière florissante à Edimbourg, Glasgow et Alloa, impose le *Forbes–Mackenzie Act* en 1853, obligeant les pubs à fermer le dimanche. Les Irlandais suivent en 1878 et, en 1881, le Pays de Galles a son propre *Sunday Closing Act*. Les brasseurs sont furieux de la perte commerciale mais ils craignent surtout le développement d'une prohibition à grande échelle.

Pendant la Première Guerre Mondiale, le *Defence of the Realm Act* réduit le nombre d'heures d'ouverture des pubs anglais. L'Etat rachète certaines brasseries dans des zones sensibles, comme la ville de Carlisle où l'on fabrique des munitions, et il en ferme d'autres. Seule la peur d'une révolte des travailleurs empêche le gouvernement de guerre de bannir totalement la vente et la consommation d'alcool. Quand David Lloyd George devient Premier Ministre en 1916, il va jusqu'à dire : « L'alcool cause plus de dommages à la nation que tous les sous-marins allemands réunis ».

Certains pays n'hésitent pas à bannir totalement les boissons alcoolisées. Au Canada par exemple, la province du New Brunswick a interdit la vente d'alcool dès 1855. Plus tard, des lois locales permettent à de nombreuses communes de faire de même. En 1898, 603 des 933 municipalités du Québec décident d'interdire l'alcool. Enfin, le Canada établit la prohibition nationale en 1918. La Nouvelle-Zélande et l'Australie, de même que les pays scandinaves (Danemark, Norvège et Suède) sont prêts à en faire autant. La Finlande applique la

prohibition dès le début de la guerre, bien que sa loi ne prenne effet qu'en 1919. L'Islande interdit le commerce d'alcool en 1915. De nombreuses nations, sans prohiber totalement l'alcool, en réduisent la vente. C'est le cas de la Belgique.

#### b- La prohibition aux Etats-Unis

On trouve déjà les prémices d'un futur conflit de l'alcool chez les premiers colons débarquant en Nouvelle-Angleterre. Quand les Anglais arrivent en Amérique du Nord, ils apportent avec eux le goût de la bière. Au début du XVII<sup>ème</sup> siècle, arrivent de nouveaux colons, en grande partie des Puritains. Quand les Pères Fondateurs débarquent au Massachusetts en 1620, ils y créent des communautés basées sur des principes moraux très stricts, dont l'interdiction de l'alcool pour certaines.

Dans un premier temps, la tension disparaît grâce à la caution apportée par les chefs respectés de la nouvelle nation. George Washington insiste pour que l'on distribue de la bière à ses troupes pendant la guerre de l'Indépendance et Thomas Jefferson possède une brasserie sur son domaine en Virginie. Dans les environs de New York, les immigrants anglais, irlandais et hollandais brassent leur bière comme ils le faisaient en Europe. Cette pratique se renforce à partir de 1840 avec l'arrivée d'immigrants allemands qui apportent leurs propres types de bière et fondent la plupart des grandes brasseries commerciales des Etats-Unis.

Cependant, le flux des immigrants de toutes nations, généralement extrêmement pauvres, engendre de nombreux problèmes de société. Certains noient dans l'alcool leurs rêves déçus de terre promise. L'alcoolisme devient un problème crucial et les sociétés de tempérance font de nombreux adeptes. Le pasteur presbytérien Lyman Beecher fonde en 1826 l'Union américaine de tempérance, qui s'oppose tout d'abord aux liqueurs fortes, avant de bannir toute boisson alcoolisée 10 ans plus tard. Cette société place des filiales dans chaque Etat pour faire voter des lois interdisant la production et la vente d'alcool.

En 1833, la Cour Suprême décrète que les Etats sont libres de réglementer le commerce de l'alcool dans leur territoire. En 1851, le Maine vote la première loi de prohibition. « La glorieuse loi du Maine est un grand coup porté entre les cornes du diable » exulte Lyman Beecher. Inspirés par l'exemple du Maine, treize autres Etats votent la prohibition avant le début de la guerre civile. L'Union de Tempérance, fondée en 1874, se fait largement entendre et a beaucoup d'influence : entre 1912 et 1919, 27 Etats ont adopté la prohibition locale.

En 1917, le 65<sup>ème</sup> Congrès des Etats-Unis est consacré à l'effort de guerre contre l'Allemagne. Les partisans de la prohibition profitent d'une proposition visant à contrôler la production alimentaire pour ajouter une clause déclarant illégale la transformation des céréales en alcool. D'autres lois bannissent totalement la vente d'alcool en temps de guerre. Les rumeurs qui prétendent que les brasseurs américains, pour la plupart d'origine allemande, tentent de déstabiliser l'effort de guerre de la nation à l'aide de bière forte, étouffent toute idée de liberté. Le 18<sup>ème</sup> amendement est rapidement adopté par la Chambre des Représentants.

La fin de la guerre n'apporte aucun répit. Le 16 janvier 1919 est adoptée la prohibition nationale de la vente et de la fabrication d'alcool. Pour renforcer l'amendement, le député Andrew Volstead du Minnesota propose le *National Prohibition Act*. La production de toute boisson alcoolisée (contenant plus de 0,5% d'alcool) est interdite, et les magasins, bars, hôtels et restaurants qui en vendraient seraient fermés. Le *Volstead Act* est adopté par les deux Chambres en un temps record et prend effet le 17 janvier 1920.

Bien des gens s'attendent à ce que la prohibition se répande comme une traînée de poudre. Il reste cependant un problème. Les lois ne sont pas respectées et, pire encore, la prohibition amène une nouvelle forme de criminalité : la contrebande d'alcool et de bière, tacitement encouragée par une bonne partie de la population. La fabrication illicite de boissons alcoolisées est florissante. New York, qui offrait 15 000 bars avant la prohibition, compte désormais 32 000 débits de boissons illicites appelés *speakeasies* (« l'aisance à parler »). Les Etats-Unis apparaissent comme un pays dirigé par des gangsters et des mitraillettes. L'Américain le plus célèbre est le contrebandier Al Capone, et le massacre de la saint Valentin à Chicago en 1929, devient l'un des événements notoires de la décennie. Ce sanglant

règlement de comptes entre trafiquants d'alcools marque le commencement de la fin de l'ère de la prohibition.

La prohibition ayant entraîné la faillite de la loi et de l'ordre établi, l'opinion publique se retourne contre elle. En 1932, Franklin D. Roosevelt plaide pour l'abolition du 18<sup>ème</sup> amendement et est élu président. Le 21<sup>ème</sup> amendement, ratifié le 5 décembre 1933, autorise les Etats à établir leurs propres lois sur l'alcool. La bière peut à nouveau couler librement. Au cours des 10 années qui suivent l'abolition de la prohibition, quelques marques et une poignée de compagnies géantes dominent l'industrie de la bière américaine ressuscitée.

### **3. La concentration de l'industrie**

Les techniques brassicoles couramment utilisées au XX<sup>ème</sup> siècle reposent essentiellement sur les découvertes du XIX<sup>ème</sup>. Bien sûr, on a singulièrement amélioré chacun des aspects du brassage et développé différentes méthodes très perfectionnées. Le XX<sup>ème</sup> siècle est surtout caractérisé par le développement des brasseries industrielles géantes et la rationalisation qui s'en suit irrémédiablement : des usines déversant un fleuve quotidien de bière de plus en plus douce. Outre l'industrialisation, plusieurs facteurs contribuent au développement effréné de ces géants : le taylorisme, la prohibition en Amérique du Nord, les deux grandes guerres et le développement des moyens de communication.

A la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, on compte plus de 3000 brasseries en Belgique, plus de 2000 aux Etats-Unis. Moins d'une centaine d'années plus tard, le compte tombe à un peu plus d'une centaine en Belgique et quelques douzaines aux Etats-Unis. Des 3543 brasseries que compte la France en 1905, il n'en reste plus que 20, 90 ans plus tard. En Grande-Bretagne, les heures très strictes d'ouverture des pubs imposées pendant la Première Guerre et les taxes écrasantes sur la bière obligent de nombreuses brasseries à fermer. Des 6477 brasseries de 1900, toutes tailles confondues, il n'en reste que 600 en 1939.

Les grandes brasseries anglaises cherchent à augmenter leurs ventes en rachetant les établissements franchisés des petites brasseries. Le temps est venu de créer des marques internationales. Le Canadien Eddie Taylor introduit avec succès la lager Carling's Black Label en Angleterre, en formant les Northern United Breweries à partir des 12 brasseries qu'il achète en 10 mois. Les compagnies de taille moyenne s'empressent de se développer pour ne pas être absorbées et les grandes marques s'associent entre elles. Les représentants des trois premières brasseries régionales d'Angleterre, Tetley – Walker de Leeds, Ind Coop de Burton - on – Trent et Ansells de Birmingham signent leur alliance en 1961. Après une frénésie de reprises dans les années 60, six grands groupes contrôlent l'ensemble de l'industrie de la bière en Grande-Bretagne. En 1977, il n'en reste que trois, 15% du marché allant aux quelques 50 brasseries régionales survivantes.

La concentration de l'industrie de la bière est un phénomène international. Ainsi, deux groupes géants, dirigés par BSN (Kronenbourg) et Heineken, contrôlent les trois-quarts du marché français de la bière, la proportion étant la même pour Carlsberg au Danemark. Hors d'Europe, le phénomène est encore plus marqué. En Australie, deux géants Foster's et Lion Nathan, représentent 90% du marché. Au Canada, Molson et Labatt contrôlent 92% du marché.

Cependant, certains pays ne se sont pas engagés aussi rapidement sur cette voie de plus en plus étroite. En Allemagne par exemple, un nombre important de petites brasseries a réussi à survivre, encouragées par l'attachement du buveur allemand à sa bière locale. Les marques nationales s'efforcent de trouver une place dans ce marché – patchwork complexe, souvent aidé par les lois régionales et qui présente une grande diversité de bières. Ainsi la bière blonde de Cologne, la Kölsch, ne peut être fabriquée que dans ses environs immédiats et Düsseldorf reste fidèle à son alt cuivrée. Mais Allemagne et Belgique sont en partie des exceptions. Dans la plupart des pays, les sociétés se regroupent. Toutefois, même en Allemagne, la baisse de la demande oblige les petites brasseries à disparaître.

L'industrie de la bière, de nationale, est devenue internationale. Certaines brasseries vendent hors frontières depuis des décennies et même des siècles, comme le géant Guinness basé à

Dublin ou les brasseries allemandes, Beck's, St Pauli Girl de Brême et Löwenbräu de Munich. D'autres accordent des licences de fabrication de leurs bières aux brasseries locales des pays étrangers ou installent parfois des usines, en s'associant souvent avec les compagnies locales.

Les grandes marques de bières sont aujourd'hui connues dans le monde entier et pendant ce mouvement de concentration de l'industrie brassicole, la bière quitte le chapitre des aliments pour s'inscrire dans celui des boissons.

## VIII- LA REVOLTE DES CONSOMMATEURS

---

Les compagnies internationales qui dominent le marché mondial recherchent avant tout des bières universelles, satisfaisant tout le monde et ne déplaisant à personne. Les pilsner de Carlsberg et Heineken, légères et peu houblonnées, en sont un exemple. On privilégie le consensus général, peut-être au détriment de la particularité. Les bières locales spécifiques disparaissent.

### 1. Vers un produit universel

Suite à la révolution industrielle, les géants grossissent à coup de technique de gestion et de marketing. Se fiant aux statistiques de progression de leurs ventes et de celles de leurs concurrents, ils développent une boisson qui s'amincit au fil des nombreuses « améliorations » qu'ils apportent au produit. Ils ne décident pas d'offrir une bière plus désinvolte à leurs clients, ces derniers imposent cette logique aux brasseurs. Si les consommateurs avaient plutôt préféré des bières foncées et amères, c'est de la stout que nous retrouverions aujourd'hui dans la bouteille de Budweiser. Même si les grandes brasseries appliquent une logique totalement dénuée d'émotions gustatives, elles font tout simplement ce qu'elles doivent faire pour progresser. Une logique qui a permis en Belgique d'offrir une Stella Artois « au goût américain », c'est-à-dire très légère, pendant qu'au Canada, la même étiquette était mise sur le marché « au goût européen » c'est-à-dire plus moelleuse et houblonnée.

Les investissements étant de plus en plus importants, la nécessité de croissance devient alors cruciale pour assurer les bénéfices de l'entreprise. L'une des stratégies qui est utilisée est l'achat des compétiteurs ou la fusion de brasseries. Le taylorisme offre un modèle de gestion permettant à ces compagnies de diviser le travail afin d'assurer leur croissance. Les moyens de communication permettent d'abord aux bières de voyager de plus en plus loin, mais favorisent surtout ensuite le développement du marketing de masse. La mise sur le marché de la bière exerce également une influence sur les habitudes de consommation des buveurs. Les

études de marché démontrent que moins la bière est amère, plus elle se vend. Ainsi par exemple, si le résultat « 75% des répondants à une étude de préférence indiquent une répulsion pour les bières amères » incite une brasserie à diminuer l'amertume dans toutes ses bières, elle décide alors de ne pas tenir compte de 25% de ses clients. Si dans le geste suivant elle affirme dans ses campagnes de publicité que sa bière est meilleure parce qu'elle est dépourvue d'amertume, elle contribue à offrir une information partielle et partielle à la population qui risque alors d'associer l'amertume à un défaut.

A partir de 1960, les géants de la bière adoptent la pasteurisation, pour en normaliser le goût et lui assurer une plus longue conservation. Les tireuses à main et les bières en tonneau rangés dans la cave font place à des fontaines en plastique brillant d'où coule la nouvelle bière transformée et pressurisée, douceâtre et mousseuse, pâle substitut des bitters originales. Nous assistons ensuite à l'affadissement des bières et à l'appauvrissement des aptitudes sensorielles de la population. Le phénomène trouve son apogée en Amérique du Nord au début des années 1960 avec la disparition de la majorité des bières spéciales.

## **2. La renaissance de la bière « de goût »**

Malgré l'intention non coupable des grandes brasseries, le résultat est néanmoins l'appauvrissement du spectre gustatif en matière de bière. Mais cette régression a ses limites.

### **a- La riposte des consommateurs**

Depuis le début des années 1980, nous assistons à une véritable renaissance de la bière « de goût ». Ce phénomène ne possède aucun équivalent passé. Avant l'industrialisation, on ne parlait pas véritablement d'une culture de la bière. La valeur et l'intérêt portés à la qualité des différents styles de bière est tout à fait unique. Il est impossible d'identifier un déterminisme expliquant la naissance de ces bières spéciales. La publication d'ouvrages sur la dégustation des bières est nouvelle, la gastronomie à la bière est nouvelle, les pubs spécialisés sont

nouveaux, les premiers musées de la bière n'ont pas vingt ans. Il s'agit d'un phénomène très récent dans l'histoire de la bière.

Les éléments qui expliquent cet engouement sont nombreux : le tourisme, l'intérêt des amateurs, le positionnement de petites et moyennes brasseries, la formation de groupes d'intérêts et la philosophie du *small is beautiful* en sont les plus importants.

En Grande-Bretagne par exemple, un groupe très puissant s'est formé pour lutter contre la disparition des bières conditionnées en fût traditionnel : la ***Campaign for Real Ale (CAMRA)***, créée par quatre journalistes dont Michael Hardman et Graham Lees en 1971. L'organisation compte aujourd'hui 50 000 membres. Elle essaie de promouvoir les intérêts de tous les buveurs de bière et le maintien d'un vaste choix de bières savoureuses et de bon pubs. Elle publie aussi un bulletin régulier, organise des festivals et des campagnes d'information sur divers sujets de la bonne capacité des pintes aux heures d'ouverture raisonnable des pubs. Ce mouvement a fait des petits qui ont traversé l'Atlantique.

La révolte des consommateurs s'est également propagée dans les autres pays d'Europe. La ***European Beer Consumer Union (EBCU)*** est une organisation qui coordonne les activités de groupements de consommateurs. Ses membres et ses membres associés comprennent l'Union estonienne des clubs de bière, l'Association suisse des buveurs d'orge, l'association FINNLIBS en Finlande, la NORØL norvégienne, la SÖ suédoise, la OBP belge, les Amis de la bière en France, PINT en Hollande et CAMRA en Grande-Bretagne. La EBCU veut préserver la culture européenne de la bière. Elle s'est engagée en particulier à soutenir les brasseries qui fabriquent encore des bières de bonne qualité selon des méthodes traditionnelles. La EBCU s'engage aussi contre les actions qui risquent de mener à de nouvelles concentrations dans l'industrie européenne de la bière.

L'existence séculaire du brassage maison en Grande-Bretagne qui se répand en Amérique du Nord dans les années 1970 contribue directement à la formation d'un grand nombre de petites brasseries. On les distingue à la minuscule production qu'elles offrent aux consommateurs

comparativement aux grandes brasseries industrielles. De l'autre côté de l'Atlantique, malgré la forte diminution du nombre de petites brasseries, l'anéantissement n'a pas eu lieu. Ces entreprises, généralement familiales, utilisent des équipements anciens dits « artisanaux ». On les nomme naturellement « brasseries artisanales ». Lorsque des cafés optent pour offrir à leurs clients une bière préparée sur place, on les nomme en Europe « micro-brasseries », puisqu'elles brassent beaucoup moins que les brasseries artisanales. En Amérique, on baptise ce type d'établissement « Brew Pub » (pub brasserie, traduit au Canada par le mot bistro – brasserie).

Certains brasseurs, notamment en Belgique et en France, ont réagi à la marche des géants en développant des bières originales se basant sur des recettes à caractère ancestral. Le positionnement de brasseries intermédiaires, comme par exemple Moortgat en Belgique, Duyck et Pêcheur en France, offre autant de modèles aux rêveurs qui souhaitent devenir brasseurs. Ainsi, chaque pays possède un personnage devenu mythique par l'influence qu'il exerce directement ou indirectement sur la réhabilitation d'anciens styles de bière : Fritz Maytag à San Francisco (steam beer), Pierre Celis en Belgique (blanche), Jean-Pierre Van Roy en Belgique (gueuzes traditionnelles), Raymond Duyck en France (de garde), Peter Maxwell Stuart en Ecosse (scotch ale) ou Jean-Pierre Eloir de l'Abbaye des Rocs, en Belgique, qui a fondé la première micro-brasserie de cette révolution en 1979, en ne brassant que 87 bouteilles par brassin.

Ce mouvement général des consommateurs ne donne aucun signe de ralentissement. De nouvelles brasseries apparaissent dans presque chaque pays : la Hongrie, la Roumanie, l'Italie, la France, la Scandinavie et les Pays-Bas. Même l'Allemagne, où de nombreuses petites brasseries ont survécu, semble également intéressée. Le désir de vraies bières traditionnelles s'est répandu dans le monde entier, du Canada à la Nouvelle-Zélande. Les petites brasseries suivent les conseils des brasseurs spécialistes. Les brasseurs anglais ont même aidé des brasseries communautaires à s'installer en Chine. Aux Etats-Unis, où les consommateurs ont un grand pouvoir, le renouveau de petites brasseries et d'une gamme variée de plusieurs types de bières est encore plus évident. Vers 1970, il n'y avait que 40 brasseries dans tout le pays, mais aujourd'hui on en compte plus de 1000 nouvelles. La bière de qualité a pris une place bien méritée dans la culture alimentaire des américains.

## b- La bière de dégustation : un marché nouveau

Devant la popularité croissante des nouvelles bières, certaines grandes brasseries décident de se lancer elles-mêmes dans l'achat de petites rivales en Grande-Bretagne, en Belgique, en France, puis récemment aux Etats-Unis. Contrairement aux réflexes passés de fermer la petite unité de production, on souhaite maintenant poursuivre la mission de la bière de dégustation. Le chef de file en la matière est sans aucun doute le puissant groupe brassicole belge : Interbrew. Il n'y a qu'au Canada que les grandes brasseries ont attendu longtemps avant de prendre au sérieux cette tendance.

La récente histoire des petites brasseries n'offre pas seulement des exemples de réussites. Un certain nombre de micro-brasseries ont échoué dans leurs tentatives d'inscrire une bière dans ce nouveau marché. Trois variables sous-tendent la fermeture de ces brasseries : l'incapacité de brasser selon les règles de l'art, le fait d'avoir choisi de brasser des bières peu goûteuses ou encore tout simplement la compétition qui, dans ce secteur, est devenue particulièrement féroce. Le marché des grandes brasseries étant occupé par des géants, il sera toujours difficile pour des petites d'être vraiment compétitives. De plus, il devient de plus en plus dur pour les nouvelles micro-brasseries de percer le marché de la bière de dégustation puisqu'il ne s'agit déjà plus d'un marché nouveau. Les premières générations de petites brasseries ont déjà une bonne longueur d'avance quant à la pénétration du marché et quant à la fidélisation des amateurs. De plus, elles possèdent déjà une meilleure expérience de la compétition dans ce secteur spécifique de l'économie. Enfin, la venue des brasseries industrielles dans ce marché contribue au rétrécissement de l'espace disponible aux rayons des détaillants. En France et en Belgique notamment, les grandes brasseries exercent un pouvoir incontournable sur le marché de la distribution.

Le seul point commun entre les anciennes brasseries artisanales et les micro-brasseries actuelles porte sur le faible volume produit. Toutes les autres caractéristiques les séparent. Les micro-brasseries actuelles jouissent de connaissances supérieures, d'équipement plus sophistiqués, de l'accès à des connaissances scientifiques, en bref, elles disposent de tout ce qui est nécessaire afin de brasser dans les règles de l'art.

Pour la première fois dans l'histoire de la bière, les bières artisanales voyagent d'un bout à l'autre de cette planète. Elles s'accompagnent également d'une dimension touristique : plusieurs bières sont mieux connues à l'extérieur que dans leur propre pays, contribuant ainsi au développement de routes touristiques sur le thème de la bière. Les lois et règlements de la plupart des pays occidentaux facilitent maintenant l'importation des bières. Mais il subsiste quelques dinosaures. Au Canada par exemple, il est toujours plus facile d'importer une bière d'un pays étranger que d'en faire circuler une d'une province à l'autre.

Pour la première fois aussi, la bière représente un objet d'études et de mise en valeur par des dégustations, des publications, des recettes, etc. Peu coûteuse, elle est une boisson démocratique. Mais surtout, la bière est conviviale. Elle soulève la passion de ceux qui s'y intéressent : plusieurs musées de la bière voient le jour, des festivals gastronomiques sont organisés en son honneur. Symbole ultime de sa valeur gustative, elle est maintenant associée aux mets les plus raffinés, à titre d'ingrédient dans la préparation des plats et aussi comme boisson d'accompagnement.

## PARTIE II :

### L'ELABORATION D'UN NECTAR

---

D'après BEAUDAUX, 1994 ; CONAN, 1990 ; COISNE-WALLART, 1995 ; D'ERR, 1998 ; DE BLAUWE, 2002 ; GLOVER, 1998 ; RICCALDI, 1988.

*Le brassage de la bière évoque les grands esprits de l'alchimie, des sciences et de l'art culinaire. Le développement d'une bière requiert un soupçon d'inspiration, quelques tâtonnements et le respect de règles biologiques et scientifiques d'une grande précision.*

Le goût et les apparences de la bière résultent d'une combinaison de cinq variables :

- les matières premières
- la méthode de brassage
- la méthode de fermentation
- le mode de conditionnement
- les conditions d'entreposage et de transport

Le brasseur, dans l'atteinte de ses objectifs, doit tenir compte de la manière dont ces variables interagissent entre elles. En règle générale, le développement d'une bière industrielle est le résultat de techniques scientifiques mises au point par le service responsable de la mise sur le marché. La majorité des brasseries recherche un goût semblable, celui qui fera vendre le plus grand nombre d'hectolitres. Du côté artisanal, on cherche plutôt à se distinguer de la masse en offrant une saveur originale et particulière qui plaira. Toutefois, dans les deux cas, il faut tenir compte du cadre réglementaire de la mise sur le marché qui demeure une variable déterminante et incontournable pour le brasseur.

# I- DEFINITIONS ET REGLEMENTATION

---

## 1. Définition légale

En France, la bière est définie comme *une boisson obtenue par fermentation alcoolique d'un moût fabriqué avec de l'eau, du malt d'orge pur ou associé à 30 % au plus de son poids de malt de matières amylacées (maïs ou riz) et/ou de succédanés (glucose, saccharose) et aromatisé avec du houblon* (Décret du 28 juillet 1908 modifié par la circulaire du 5 juin 1950 et le décret du 30 avril 1985). C'est la définition froide du législateur mais cependant plus précise que cette autre souvent entendue : *La bière : de l'eau et des frais généraux.*

## 2. Catégories de bières

### a- En fonction de leur densité

Selon la réglementation française, on définit :

- Les bières de table : 2,0 à 2,2° Régie ou 5,0 à 5,5 % Plato
- Les bières Bock : 3,0 à 3,9° Régie ou 8,5 à 10,0 % Plato
- Les bières de Luxe : 4,4 à 5,0° Régie ou 11,0 à 13,5 % Plato
- Les bières Spéciales : > à 5,5° Régie ou > à 13,5 % Plato

Pour exprimer la **densité Régie**, on se réfère à la densité légale du moût avant fermentation (directement proportionnelle à sa concentration en substances dissoutes) et on transforme cette valeur en n'utilisant que les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> chiffres après la virgule. Ainsi, un moût avec une densité de 1,045 possède une densité Régie de 4,5°. On peut aussi la définir selon la formule suivante :

$$^{\circ} \text{Régie} = \frac{\text{Poids d'un certain volume de moût à } 15^{\circ} \text{C}}{\text{Poids d'un même volume d'eau à } 4^{\circ} \text{C}}$$

La définition du ° Régie n'est cependant plus reprise par le décret du 30 avril 1985. Afin de standardiser les mesures de densité dans les brasseries européennes, le comité des analyses de l'*European Brewery Convention* (E.B.C.) a publié un document exprimant la densité primitive en % Plato :

$$\% \text{ Plato} = \text{poids d'extrait contenu dans 100 g de moût.}$$

Quant à la teneur en alcool d'une bière, elle est exprimée en % d'alcool en volume. Elle dépend de l'extrait primitif (densité du moût avant fermentation) et de son atténuation (quantité d'extrait fermenté).

b- En fonction de leur mode de fermentation

- *Bières de fermentation haute* : Dès leur origine et dans toutes les régions tropicales, les bières ont été produites à l'évidence en fermentation haute. Leur principale caractéristique réside, au stade de la fermentation, par l'utilisation d'une souche de levure qui fermente à 15/20°C et monte à la surface du moût fermenté en fin de processus. L'Angleterre est le pays d'origine de cette catégorie de bières.
- *Bières de fermentation basse* : pour ce type de bières, les levures utilisées fermentent à basse température (6 à 10°C) et tombent au fond du fermenteur en fin de processus. Ce type de bière, comme nous l'avons vu en première partie, est originaire de Pilsen en Tchéquie (1842) puis de Dortmund (1843) et de Munich (1845) en Allemagne. La bière de fermentation basse, la *Pils*, représente plus de 75 % de la totalité de la production mondiale.
- *Bières de fermentation spontanée* : ce sont des bières très particulières, tant sur le plan des matières premières utilisées (outre le malt, le froment, l'avoine, le blé tendre) que sur le plan de la fermentation qui est spontanée et due à une certaine variété de micro-organismes. Ce sont en général des bières typiquement belges : *Lambic*, *Gueuze*, *Kriek*...

- *Bières sans alcool* : ce sont des bières qui, selon la législation française, doivent contenir moins de 1 degré alcoolique ou 1 % d'alcool en volume. Elles peuvent être obtenues par l'utilisation de levures ne fermentant que le glucose, le fructose ou le saccharose et n'assimilant ni le maltose, ni le maltotriose (*Saccharomyces ludwigii*). L'utilisation de la distillation (procédé Bremer, 1990) a pour inconvénient de distiller, outre l'alcool, les alcools supérieurs, les esters et autres saveurs utiles sur le plan organoleptique. On peut toutefois préserver les composés aromatiques par une évaporation sous vide. Le procédé par osmose inverse est également appliqué. La première bière française sans alcool fut mise au point dès 1964 à la brasserie de Champigneulle, sous l'appellation *Tourtel*.

### **3. Législation concernant les additifs et les auxiliaires technologiques**

Les consommateurs sont, de nos jours, de plus en plus axés sur des produits purs, labellisés, comportant toutes sortes de garanties et le moins possible d'additifs, afin de préserver l'hygiène et la qualité des aliments. Spécifions les additifs autorisés en Brasserie par le Ministère de la Santé (Direction de la Qualité et de la Répression des fraudes) :

- L'anhydride sulfureux ( $H_2S$ ) pur et les bisulfites purs sont autorisés aux conditions suivantes :
  - 100 mg/L de  $SO_2$  libre maximum dans la bière finie,
  - 4 g maximum de bisulfites par hectolitre de bière.
- Coloration au moyen de caramels ou d'extraits obtenus par torréfaction des céréales ou de substances autorisées dans la fabrication de la bière.
- L'addition d'acide ascorbique à la bière, comme antioxydant, est autorisée à condition que
  - L'acide ascorbique soit pur à 99 % et exempt de toute impureté nocive,
  - Que sa teneur ne soit pas supérieure à 300 mg/kg.
- L'utilisation pour la clarification de la bière, de diastases amylolytiques et protéolytiques est autorisée si elles sont pures, exemptes de tout produit toxique ou antiseptique, de tout germe pathogène et additionnées de substances propres à l'alimentation, tels que les

sucres et le chlorure de sodium. Le fabricant ou l'importateur de ces substances doit faire une déclaration auprès du Service de la Répression des Fraudes, spécifiant la dénomination de vente, la composition et l'origine du produit.

- Les tanins sont autorisés pour effectuer le collage
- L'emploi de la polyvinylpyrrolidone (PVPP) est autorisé comme agent de clarification de la bière, sous réserve que la quantité utilisée ne dépasse pas 50 g/HL de bière.

Notons également que l'utilisation des ultrasons pour favoriser la dissolution des résines de la fleur de houblon et la pasteurisation sont des traitements autorisés en France.

## II- LES MATIERES PREMIERES

---

Quatre ingrédients de base sont nécessaires au brassage : l'eau, le malt, le houblon et la levure. Compte tenu des innombrables variations qui existent selon la nature de chacun, il est déjà possible de brasser plusieurs milliers de bières différentes en n'utilisant strictement que ces quatre ingrédients. Chacun possède l'empreinte de son terroir : la composition du sol influence l'eau, le houblon et l'orge tandis que l'ensoleillement influence l'orge et le houblon. Plusieurs autres éléments peuvent également être utilisés, en particulier les épices. Toutefois, à elles seules, les matières premières ne constituent pas l'unique origine des saveurs de la bière. Les techniques utilisées exercent une influence tout aussi importante et là encore, les possibilités sont telles que de nombreuses combinaisons ne verront jamais le jour.

La bière est habituellement constituée de plus de 90 % d'eau. Il n'est donc pas étonnant que les brasseurs apportent grand soin au choix et au traitement de leurs eaux. L'eau est présente à toutes les étapes de la préparation d'une bière : dans le champ pour y faire pousser l'orge et le houblon, à la malterie pour transformer l'orge en malt, dans la brasserie comme matière première et pour nettoyer les équipements. Le malt et les matières fermentescibles représentent la majorité de la contribution restante : de 1 à 10 % du contenu de la bière. Ces matières premières subissent toutefois d'importantes transformations : elles deviennent alcool et résidus non fermentescibles qui contribuent à donner une saveur sucrée à la bière ou une rondeur en bouche. Le houblon et la levure constituent quant à eux moins de 1 % de la bière. Ce sont pourtant ces deux ingrédients qui, en règle générale, influent le plus sur le goût de la bière.

Toutes les nuances des différentes bières se retrouvent dans ce dernier « pour-cent ». Une simple variation dans une recette, un écart de température dans l'entreposage influencent directement le développement des saveurs. C'est donc la stabilité qui ferait la force des bières industrielles.

## **1. L'eau : source de la bière**

Non seulement l'eau représente une matière première mais elle offre surtout le milieu dans lequel toutes les transformations chimiques se déroulent. Elle offre le milieu de vie dans lequel les enzymes et la levure transforment les autres matières premières. Il n'existe pas d'eau idéale pour le brassage. On retrouve plutôt plusieurs caractéristiques que le brasseur souhaite diminuer ou mettre en avant selon le type de bière qu'il veut produire. Ainsi, les sels minéraux exercent une influence capitale sur les saveurs. Les principales généralisations que nous pouvons établir en matière d'eau de brassage sont les suivantes : une eau douce, sans minéraux, convient parfaitement pour les bières de fermentation basse et pour les bières de blé, tandis qu'une eau dure et minéralisée convient parfaitement bien pour les bières de fermentation haute, notamment les ales. Ainsi, plusieurs types de bières doivent leur origine et leur réputation à la spécificité de l'eau utilisée pour leur fabrication. C'est le cas de la *Pale ale* (Burton-on-Trent, Angleterre) dont l'eau coule sur des lits de gypse, de la *Brune des Flandres* (Oudenaarde, Belgique), de la *Dortmunder* (Dortmund, Allemagne) et de la *Pilsner* (Plentz, Tchéquie) dont l'eau très douce prend naissance dans les sols granitiques des plateaux de Bohême. L'eau est donc une matière première essentielle dans la fabrication de la bière, tant par les quantités mises en œuvres que par ses qualités intrinsèques.

### a- Quantités mises en œuvre

La brasserie est un des secteurs agro-alimentaires qui consomme le plus d'eau. La fabrication de la bière nécessite environ 8 hectolitres d'eau pour 1 hectolitre de bière produite. On distingue l'eau de brassage, qui sert à l'empâtage, au lavage des drêches et au coupage, l'eau de nettoyage, l'eau de stérilisation des installations et l'eau de service (eau des chaudières, des réfrigérants, des pasteurisateurs). Il est donc indispensable de bien surveiller ses sources d'approvisionnement. Une brasserie moderne comme celle d'Obernai en Alsace utilise annuellement 5 600 000 m<sup>3</sup> d'eau.

## b- Rôles et fonctions dans le goût de la bière

Etant donné son rôle capital dans la fabrication, l'eau utilisée ne doit pas seulement être potable, c'est-à-dire incolore, inodore et sans saveur particulière, mais elle doit aussi être bactériologiquement pure (absence d'organismes pathogènes) et posséder une composition minérale adaptée (absence d'indices chimiques de pollution, de substances toxiques ou de métaux lourds). Les qualités considérées dans l'eau de brassage sont généralement regroupées selon les critères suivants :

- Acidité
- Dureté/douceur
- Teneur en minéraux

### *α) L'acidité*

Le pH d'une solution indique la concentration en ions hydrogène  $H^+$  dans la solution. La mesure stricte de l'acidité varie d'un pH=0 à un pH=7. Il est important de noter que toutes les enzymes qui exercent une action capitale ne sont actives qu'en milieu acide. En outre, le degré d'acidité de l'eau de brassage influence la qualité et la vitesse des réactions biochimiques qui se déroulent pendant le brassage. Un pH alcalin gêne la saccharification par les amylases ce qui diminue le rendement de brassage. De plus, une eau trop alcaline favorise la solubilisation des substances âcres du houblon, principalement les polyphénols.

### *β) La dureté*

La dureté totale comprend à la fois la dureté temporaire et la dureté permanente. La dureté temporaire, ou alcalinité, peut être éliminée par ébullition de l'eau. Elle est due à la présence de bicarbonates de calcium ou de magnésium.

La dureté permanente est due aux sulfates de calcium (gypse) et de magnésium (sels d'Epsom). Elle ne peut pas être éliminée par ébullition. Le sulfate de calcium contribue à l'acidification du moût, favorisant ainsi l'activité enzymatique au cours du brassage. Il facilite

sa clarification, la multiplication de la levure et contribue à la flaveur de la bière en lui conférant sécheresse et amertume. Le sulfate de magnésium a les mêmes propriétés mais il est beaucoup plus amérisant même à faible concentration.

La dureté permanente des eaux de Burton-on-Trent, riches en sulfate de calcium, a permis aux brasseurs de cette ville de maintenir les caractéristiques de leur eau à chaque étape du brassage, exerçant ainsi un meilleur contrôle. Ils sont ainsi en mesure de faire bouillir les moûts pendant de longues périodes sans que la composition de l'eau ne soit modifiée. Une dureté temporaire aurait affecté l'eau et par voie de conséquence les caractéristiques de la bière.

### *χ) Les minéraux*

La teneur en sels minéraux est la principale variable considérée par le brasseur. Il doit connaître les composantes minérales de son eau car les ions de chaque sel ont le pouvoir de se combiner avec ceux des matières premières ou encore de favoriser l'action de certaines enzymes lors des différentes étapes de la procédure de brassage. En règle générale, une eau minéralisée favorise le développement des principes amers du houblon. La *Pilsner Urquell* par exemple est très houblonnée dans une eau très douce. La même proportion de houblon dans une eau minéralisée donnerait une amertume astringente et désagréable. Lorsqu'un brasseur ne dispose que d'une eau douce et qu'il souhaite ajouter des sels minéraux afin de favoriser une action enzymatique particulière, il ajoute des sels naturels. Ce procédé se nomme **la burtonisation**.

L'eau contient des sels minéraux dont les uns sont actifs et les autres inactifs sur les composants du malt et du moût. Nous résumons ci-après quelques réactions majeures :

- Les sels qui augmentent ou diminuent l'acidité :

Les sulfates de calcium et de magnésium, combinés aux phosphates secondaires alcalins du malt, donnent des phosphates primaires acides.

Les bicarbonates de calcium et de magnésium, combinés aux phosphates primaires acides du malt, donnent des phosphates tertiaires insolubles et des phosphates secondaires alcalins (+ H<sub>2</sub>O + CO<sub>2</sub>).

- L'ion Calcium  $\text{Ca}^{++}$  :  
Il stabilise les amylases et augmente le taux d'acides  $\alpha$ -aminés. Au-dessus de 200 mg/L, il provoque la précipitation des ions oxalates et par voie de conséquence peut être à l'origine de mousse sauvage.
- L'ion Magnésium  $\text{Mg}^{++}$  :  
Au-dessus de 30 mg/L, il peut provoquer des faux goûts en fermentation, par décarboxylation des pyruvates.
- L'ion Sodium  $\text{Na}^+$  :  
Au-dessus de 10 mg/L, il provoque une amertume désagréable.
- L'ion Potassium  $\text{K}^+$  :  
Il confère un goût salé à la bière
- Les ions Fer  $\text{Fe}^{++}$  et  $\text{Fe}^{+++}$  :  
Ils favorisent la mousse mais, en excès, lui donnent une teinte grise ou brunâtre. Comme les ions Cuivre  $\text{Cu}^{++}$ , ils sont toxiques pour la levure. Ils doivent être éliminés.
- L'ion Zinc  $\text{Zn}^{++}$  :  
Au taux de 0,1 à 0,2 mg/L, il stimule la levure mais au-dessus de 0,4 mg/L, il l'inhibe et est toxique pour celle-ci.
- L'ion Bicarbonate  $\text{HCO}_3^-$  :  
Il influence sensiblement le pH en l'augmentant. Si celui-ci est supérieur à 6, il provoque l'extraction de tanins au brassage et induit de l'âcreté.
- L'ion Sulfate  $\text{SO}_4^{--}$  :  
Il provoque une amertume dure.
- L'ion Chlorure  $\text{Cl}^-$  :  
Les chlorures de sodium ou de calcium apportent moelleux et rondeur à la bière. Le chlorure de sodium a également un effet positif sur la tenue de la mousse.

- L'ion Nitrate  $\text{NO}_3^-$  :

Il est toxique pour la levure à un taux supérieur à 60 mg/L. De plus, ils se transforment en nitrosamines cancérigènes. Ils ne doivent pas dépasser une concentration de 30 mg/L dans les eaux de brassage, car ils peuvent être réduits en nitrites par certaines levures et générer des faux goûts (phénols).

#### c- Traitement et correction des eaux

Les premières brasseries recherchaient impérativement une bonne eau de source. Parmi les grandes villes bâties sur l'industrie de la bière, beaucoup se sont développées autour d'un point d'eau propice. Nous avons déjà vu que l'eau de Plzen par exemple était très douce et parfaite pour les lagers de type pilsner. Burton-on Trent doit la renommée de sa pale-ale à son eau chargée de sels minéraux. D'ailleurs, cette eau de bonne qualité provient de puits creusés en profondeur dans la couche de gypse située sous la ville. Purifiée par le lent processus naturel de filtration, elle contient beaucoup d'oligo-éléments de gypse (sulfate de calcium) qui donnent des bitters limpides et brillantes. Aujourd'hui, partout dans le monde, les brasseries qui veulent fabriquer de la pale-ale burtonisent leur eau au préalable en lui ajoutant des sels de gypse.

A l'exception des eaux puisées dans les nappes phréatiques, les caractéristiques de l'eau ne sont pas constantes. Elles varient considérablement d'une saison à l'autre ainsi qu'en fonction des conditions météorologiques : après une pluie importante qui lave les rues d'une ville, la rivière connaît un accroissement relatif de sa pollution. La mission d'une ville n'est pas de reconstituer l'eau selon un modèle constant mais elle est plutôt d'offrir à la population une eau ayant le même profil gustatif et qui soit exempte de bactéries nuisibles. Cette intervention humaine doit être réajustée par le brasseur, car pour lui, la constance est déterminante. Certains se font livrer des eaux de source par citerne. C'est le cas de la brasserie Upper Canada en Ontario. D'autres se munissent de puissants équipements de filtration et traitent leur eau (ou ne la traitent pas) selon qu'il s'agisse d'une eau puisée de l'aqueduc, d'une eau de surface (source, lac, rivière) ou d'une eau artésienne.

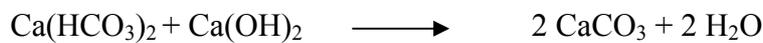
La technique la plus simple et la plus ancienne pour diminuer l'alcalinité est l'addition de sulfate de calcium ( $\text{CaSO}_4$ ) : c'est la technique de **burtonisation** : 250 g de sulfate de calcium pour 100 kg de malt permettent de diminuer le pH de 0,1 unité lors du brassage. La correction la plus fréquente consiste à éliminer la dureté temporaire. Différentes techniques sont utilisables :

- La décarbonatation permet d'éliminer les bicarbonates par précipitation :

- soit par ébullition selon la formule suivante :



- soit par addition de chaux (chaulage) :



- La neutralisation par des acides permet de réduire ou d'enlever l'alcalinité :

- soit par addition d'acide sulfurique ; l'eau calcaire est alors transformée en eau gypseuse :



- soit par addition d'acide chlorhydrique ; ce procédé convient pour les eaux pauvres en chlorures :



- L'acide lactique et l'acide phosphorique peuvent également être utilisés. L'acide phosphorique présente l'avantage d'être un activateur de la fermentation.

Outre la décarbonatation et l'acidification qui sont des techniques simples à mettre en œuvre et peu coûteuses, le brasseur dispose aujourd'hui de techniques plus sophistiquées permettant d'ajuster de manière très précise la composition de leurs eaux. Ces techniques sont, de par leur coût, souvent réservées aux brasseries à dimension industrielle pour lesquelles chaque composant et chaque étape de fabrication doivent être très exactement normalisés. Ces techniques sont les suivantes :

- déminéralisation par l'utilisation de permutites (résines échangeuses d'ions spécifiques),

- adsorption des impuretés sur charbon actif, alumine ou résines organiques,
- filtration sur membranes. Ce sont des techniques d'ultrafiltration, d'osmose inverse et d'électrodialyse.

Toutes ces techniques permettent d'éliminer des composants indésirables tels que les acides minéraux (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>), les matières organiques, le fer (bicarbonate ferreux ou sulfate de fer), la silice, les nitrates, le chlore, les métaux lourds, etc.

Le brasseur dispose également de nombreux moyens de stérilisation de l'eau, parmi lesquels la chloration, l'ozonisation et les rayonnements ultraviolets sont les plus fréquemment utilisés.

Nous avons vu l'importance de l'eau captée et de son traitement, mais l'eau rejetée doit également être traitée. En effet, à la sortie de l'usine, l'eau est chargée de matières polluantes pour la nature : des levures industrielles, des congglomérats protéiques, des résidus de kieselguhr<sup>1</sup> provenant des filtres, de la soude et des produits détergents alcalins ou acides provenant des stations de nettoyage. Tous ces produits doivent être neutralisés, pour répondre aux normes de *Demande Chimique en Oxygène* (DCO)<sup>2</sup> et de *Demande Biologique en Oxygène* (DBO)<sup>3</sup> des Agences de Bassin. Les stations de traitement des eaux des brasseries se sont équipées : bacs de décantation, traitement des boues activées, tour de traitement par lit bactérien, filtration finale. Ces équipements permettent de restituer à la rivière une eau pure, souvent beaucoup plus pure que l'eau de la rivière elle-même. Ces stations de traitement des eaux usées sont très importantes en termes de coût d'installation et d'exploitation. Ce sont de véritables usines dans l'usine et pour une brasserie comme celle d'Obernai en Alsace, cette installation représente l'équivalent d'une station de traitement des eaux d'une ville de la taille de Bordeaux !

---

<sup>1</sup> Kieselguhr: limon siliceux en allemand. Cette terre filtrante provient de diatomées, c'est à dire de sédiments d'algues marines unicellulaires à carapaces siliceuses.

<sup>2</sup> DCO ou Demande Chimique en Oxygène : elle représente la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation par voie chimique de la totalité de la matière organique présente dans un échantillon d'eau. Elle donne une idée globale de sa pollution.

<sup>3</sup> DBO ou Demande Biologique en Oxygène : elle représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour la dégradation de l'ensemble de la matière organique présente dans un échantillon d'eau. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées.

## **2. Le malt et les matières fermentescibles**

Le malt est à la bière ce que le raisin est au vin, c'est-à-dire la principale source de matières fermentescibles. Le malt constitue également la principale source de matières non fermentescibles procurant corps et consistance à la bière. Il offre plusieurs autres caractéristiques gustatives telles que des composés aromatiques et amérisants et représente la principale contribution à la coloration de la bière. Tous les essais de fabrication de bière à partir d'autres céréales que l'orge ont donné des boissons très différentes de la bière telle que nous la connaissons aujourd'hui. Toutefois, dans de nombreux pays, sont utilisées des céréales indigènes : riz en Asie, maïs en Amérique du Sud, sorgho en Afrique, etc.

### a- L'orge de brasserie

L'orge destinée à la brasserie doit satisfaire des normes précises de qualité. Des organismes contrôlent et déterminent, pour chaque pays producteur, les qualités des orges de brasserie. Les normes sont naturellement déterminées en fonction des besoins spécifiques des brasseurs. Les habitudes des consommateurs et le positionnement du marché des principales brasseries d'un pays influencent les caractéristiques recherchées. On retrouve plusieurs variations d'un pays à l'autre. Une orge qui ne satisfait pas aux normes sévères de l'industrie brassicole d'un pays est habituellement recyclée dans l'alimentation du bétail.

**Figure 1 : *Hordeum vulgare* L.**

*α)*

## Botanique

L'orge, du genre *Hordeum* (*Hordeum vulgare* L.), appartient à la famille des *Poaceae* (anciennement Graminées), ordre des Poales, classe des Monocotylédones.

L'orge est une plante herbacée annuelle, vivace par un rhizome (Figure 1). Sa tige est ronde et creuse (chaume), ses feuilles sont opposées et ont un limbe rubané, parallèlnerve et une gaine fendue en avant. Les inflorescences sont des épillets sessiles. Ces épillets s'insèrent en épi sur un axe commun (ou rachis). Chez l'orge, il existe en principe trois épillets par dent de l'axe, chaque épillet étant pourvu de deux glumes très étroites. Chaque fleur est enveloppée dans deux glumelles prolongées par une arête très développée et comprend deux glumellules, trois étamines et trois carpelles formant un ovaire uniovulé surmonté de deux stigmates plumeux. Le fruit est un caryopse. La graine renferme un embryon extraire et un albumen amylicé à assise externe protéique (assise à gluten). La pollinisation est entomophile.

Chez certaines variétés, comme les dents alternent régulièrement de part et d'autre du rachis et comme chacune porte trois épillets, on les appelle « orges à 6 rangs ». Chez d'autres variétés, on assiste au niveau de chaque dent à l'avortement des deux épillets latéraux : l'épi ne présente plus que deux files longitudinales d'épillets et l'orge est dite « orge à 2 rangs » (Figure 2).

**Figure 2 : Epillets d'orge**

L'orge de brasserie est représentée par deux espèces principales, proches de l'orge à 4 rangs (*Hordeum vulgare*) dont la richesse protéique convient peu à la brasserie :

- l'orge d'été (*Hordeum distichum*), car semée en mars –avril, est appelée orge chevalier ou orge à 2 rangs. Cette variété ne porte que deux rangées de grains sur l'épi : seules les deux rangées de fleurs opposées ont été fécondées. L'orge à deux rangs est couramment utilisée par les brasseurs en raison de son bon rendement en extrait supérieur aux escourgeons. En effet, l'orge à deux rangs offre des grains de grosseur plus uniforme, comportant une proportion plus élevée d'amidon mais moins de protéines et d'enveloppe.
- l'orge d'hiver (*Hordeum hexastichum*), car semée en novembre, est appelée escourgeon ou orge à 6 rangs. Cette variété porte six rangées de grains sur l'épi mais les grains sont généralement moins développés et leur enveloppe pailleuse plus épaisse. Cette variété, de bon rendement agricole, est moins intéressante en brasserie et est donc surtout cultivée comme orge fourragère pour l'alimentation du bétail. Elle renferme cependant un nombre plus important d'enzymes favorisant la saccharification à une étape ultérieure du brassage.

### *β) Structure et composition du grain d'orge (Figure 3)*

Le grain d'orge est ovale, renflé et présente un sillon médian sur sa face ventrale. Son poids moyen est de l'ordre de 35 mg. Il comporte quatre parties : l'embryon (ou germe), l'albumen, l'aleurone et l'enveloppe.

- L'embryon comporte tous les organes d'une jeune plante : plumule, tigelle et radicule. Il est formé d'un unique cotylédon et du scutellum, sorte de bouclier nourricier en contact avec l'albumen.
- L'albumen, encore appelé endosperme ou amande farineuse, contient les réserves amylicées (sous formes de grains d'amidons) ainsi qu'un réseau protéique contenant des  $\beta$ -amylases préformées.

**Figure 3 : Coupe transversale d'un grain d'orge**

- L'albumen est entouré d'une couche de cellules à aleurone qui contiennent de nombreuses enzymes ainsi que des réserves protéiques.
- L'enveloppe du grain est composée de trois couches : les glumelles, le péricarpe et, au contact de l'amande, une membrane semi-perméable appelée testa.

Les hydrates de carbone représentent de 60 à 75 % du poids sec du grain. L'amidon en est le constituant le plus important car il représente à lui seul 55 à 65 % du poids du grain. Il est composé de 20 à 25 % d' $\alpha$ -amylose (Figure 4), macromolécule composée de 2000 à 3000 unités glucose reliées par des liaisons  $\alpha$ -1,4 formant des chaînes non ramifiées et de 75 à 80 % d'amylopectine (Figure 5) comportant une chaîne principale de 24 à 30 unités glucose reliées par des liaisons  $\alpha$ -1,4 et portant des chaînes latérales reliées par des liaisons  $\alpha$ -1,6. Les autres substances glucidiques sont des hémicelluloses (8 à 10 %), de la cellulose (4 à 5 %), des gommes et des pectines.

**Figure 4 : Représentation de l'amylose**

**Figure 5 : Représentation de l'amylopectine**

Les matières azotées représentent quant à elles 9 à 14 % du poids sec du grain. Les principales protéines rencontrées dans le grain d'orge sont l'hordéine (ou prolamine, 4 % environ), l'édestine (ou globuline, 2 % environ) et la leucosine (ou albumine, 0,3 % environ). Ces trois protéines constituent le gluten de la farine d'orge. Les autres substances azotées sont représentées par des enzymes dont les principales sont les amylases. On retrouve également des produits de dégradation des protéines : polypeptides, peptides et acides aminés.

Les substances lipidiques ne représentent que 2 à 3 % du poids sec du grain.

Les tanins qui proviennent de l'enveloppe du grain sont également présents, sous forme de polyphénols, en faible quantité mais peuvent être responsables de faux goûts. Comme les matières grasses, ils sont éliminés avec les drêches en fin de brassage.

Les matières minérales sont essentiellement composées de phosphates de potassium, substances tampons pour le brassage.

### *χ) Pourquoi préférer l'orge ?*

Il existe de nombreuses raisons pour lesquelles, de toutes les céréales, l'orge est celle qui se prête le mieux à la fabrication de la bière.

La première raison de ce choix est liée à la structure même du grain d'orge. En effet, nous avons vu que les enveloppes du grain sont très développées et adhérentes (on dit d'ailleurs que le grain est vêtu) ce qui permet de protéger l'orge des contaminations et l'embryon lors du maltage. Par ailleurs, ces enveloppes présentent l'avantage de ne pas laisser passer les sels minéraux au moment du trempage du grain. Enfin, elles joueront un rôle primordial au cours des opérations de filtration qui suivent le brassage.

La composition de l'orge représente un juste équilibre entre les teneurs en hydrates de carbone et en matières azotées. En effet, une forte teneur en amidon est recherchée alors qu'une teneur élevée en protéines nuira à la stabilité de la bière. Cependant, un bon équilibre des matières premières azotées (protéines, polypeptides, acides aminés) est nécessaire au bon

développement des levures lors de la fermentation (Tableau 1). Par ailleurs, c'est l'orge qui produit le plus de diastases lors du maltage (on parle de pouvoir diastasique élevé).

**Tableau 1 : composition globale des grains de diverses céréales**  
Valeurs moyennes et écarts-types courants exprimés en pourcentage du grain sec

Céréales	Amidon Petits glucides	Protéines	Lipides	Cellulose Hémicelluloses Pentosanes	Minéraux
Avoine	61 ± 8	13,5 ± 3	6,0 ± 2	16,0 ± 2	3,5 ± 0,5
Blé	75,6 ± 5	14,5 ± 4	2,0 ± 1	5,7 ± 1	2,2 ± 0,3
Maïs	69,8 ± 6	11,6 ± 3	5,8 ± 2	11,6 ± 1	1,2 ± 0,1
Orge	70,6 ± 5	11,8 ± 3	2,6 ± 1	12,0 ± 1	3,0 ± 0,2
Seigle	74,2 ± 4	13,5 ± 4	2,0 ± 0,5	8,0 ± 1	2,3 ± 0,2
Triticale	74,4 ± 5	14,5 ± 4	2,0 ± 0,5	6,8 ± 1	2,3 ± 0,2

La température d'empesage de l'amidon de l'orge présente l'avantage d'être moins élevée que celle d'autres céréales (52 à 59 °C). En outre, elle est inférieure à la température d'inactivation de ses amylases (68 à 70 °C pour la  $\beta$ -amylase et 75 à 80 °C pour l' $\alpha$ -amylase).

Les grains d'orge se prêtent bien au maltage : leur germination induite est facile et son pouvoir germinatif est élevé.

Enfin, l'usage de l'orge en brasserie est traditionnel car elle est très largement cultivée dans les pays nordiques et de forte culture brassicole. Sa culture est facile et permise par des sols et des climats variés. L'orge est donc très répandue. Les grandes régions de culture en France sont la Beauce, le Gâtinais, la Champagne et l'Indre. La France est l'un des plus grands producteurs d'orge au monde. Elle exporte plus de 60 % de sa production. Sur les 10,6 mégatonnes d'orge récoltées en France en 1999, plus d'un tiers concerne les orges de brasserie. Douze pour-cent des bières brassées dans le monde le sont à partir d'orges et de malts français.

### *δ) Qualités de l'orge de brasserie*

La qualité d'une orge de brasserie est jugée selon les critères suivants :

- Pureté variétale :

Les différentes variétés d'orge ne germent pas à la même vitesse. La pureté variétale assure une uniformité de germination. La pureté variétale doit être supérieure à 93 %.

- Différence fine - grosse mouture :

La taille uniforme des grains assure un maltage aisé et régulier. Plus le grain est volumineux, plus il renferme de l'amidon et plus il se travaille facilement dans les opérations de brassage. Les grains sont triés sur tamis.

- Taux d'humidité :

Au moment de la récolte, le taux optimal d'humidité, témoin de maturité, est de 14 %. Un taux élevé d'humidité favorise les maladies cryptogamiques et augmente l'activité de l'embryon. L'orge doit être conservée avec un taux d'humidité inférieur à 10 %.

- Pouvoir germinatif :

Il s'agit du pourcentage de semences germées à la fin du maltage. Il doit être supérieur à 95 %, c'est-à-dire que 95 % des grains doivent avoir germé pendant cette période. La germination doit être rapide et uniforme afin d'assurer une production efficace.

- Mesure du taux de protéines :

Il doit être compris entre 9,5 et 11,5 %. Les protéines sont essentielles à la production de la bière car elles renferment les acides aminés favorisant le travail de la levure. Cependant, une trop importante proportion de protéines exerce un impact négatif sur les caractéristiques organoleptiques de la bière : elles voilent la bière lorsque celle-ci est refroidie. Par ailleurs, un excès de protéines nuit à la stabilité colloïdale de la bière, rend difficile la désagrégation lors du maltage et exerce une influence négative sur le rendement du brassage.

- Teneur en amidon :

L'amidon est la plus importante source de matières fermentescibles de première qualité pour la bière. Le brasseur recherche donc une orge renfermant une proportion importante d'amidon.

- Potentiel enzymatique :

Il s'agit des enzymes suivantes : les amylases, les diastases et les protéases. Elles jouent un rôle essentiel dans la saccharification.

- Des tests pondéraux sont effectués :

Détermination de la masse à l'hectolitre et de la masse de 1000 grains.

- Contrôle de l'absence de maladies cryptogamiques :

La présence de moisissures du genre *Fusarium* entraîne une fermentation secondaire responsable d'un effet de *gushing* (giclage) d'un flot de mousse à l'ouverture de la bouteille. D'autres moisissures (*Penicillium*, *Aspergillus*, etc.) peuvent provoquer ce phénomène. L'orge doit également être dépourvue d'insectes.

- Sa couleur, ses saveurs, sa stabilité et sa capacité à faire mousser la bière sont autant de facteurs tout aussi importants les uns que les autres et pris en compte dans la sélection d'une orge de brasserie. Le grain doit être intègre, avec un aspect rebondi, une couleur jaune paille, une odeur franche et une saveur douce. Ses enveloppes ne doivent pas être trop épaisses et l'amande ne doit pas être trop colorée.

En France, la SECOBRA (Société d'Encouragement à la Culture des Orges de Brasserie), à Maule, sélectionne les meilleures variétés sur son champ permanent d'expérimentation, qui comporte des centaines de variétés d'orges de tous les pays, les contrôle et les étudie dans son laboratoire. Il naît de nouvelles variétés presque chaque année. Huit à dix ans sont nécessaires à la création d'une variété nouvelle à caractère héréditaire morphologique et chimique fixe.

## b- Le malt de brasserie

On trouve plusieurs types de malts proposés aux brasseurs par les différentes malteries dans le monde. La plupart offre la possibilité de produire un malt respectant les caractéristiques déterminées par le brasseur. Par le passé, le malt faisait partie de la procédure de brassage au sein de la brasserie. Depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, cette étape a donné naissance à une industrie autonome. La majorité des brasseries se procure maintenant leurs malts auprès d'une ou de plusieurs malteries. Néanmoins, certaines brasseries produisent toujours, de nos jours, du malt pour leurs besoins de brassage : citons Stella Artois en Belgique, Paulaner en Allemagne, Fischer en France et Anheuser-Busch aux Etats-Unis.

Nous distinguons les malts de base (ou malts pâles) et les malts spécialisés. Comme son nom l'indique, la première catégorie est utilisée comme matière première. En règle générale, le malt pâle constitue au moins 90 % du malt utilisé dans la fabrication de la bière. Il renferme la combinaison amidon - enzymes nécessaire pour convertir l'amidon en sucres fermentescibles. Les malts spécialisés, quant eux, ne représentent en général qu'une très faible proportion de la maïsche. La principale différence entre le malt de base et le malt spécialisé est que le premier renferme des enzymes actives alors que le second n'en a plus. Les malts spécialisés procurent des saveurs typiques. Ils sont habituellement utilisés dans une proportion ne dépassant pas les 10 %. L'utilisation de ces malts est très variée : matière à coloration, matière de rondeur, matière amérisante, matière aromatisante.

### *α) Les principaux malts de base*

En règle générale, le malt de base est à l'origine du développement potentiel de certaines saveurs dans la bière :

#### - le diméthylsulfure (DMS) :

Le DMS produit est habituellement évaporé lors de l'ébullition. Il arrive toutefois que des DMS additionnels se forment, souvent lors d'une ébullition trop courte, et se retrouvent

dans la bière, lui donnant des saveurs de maïs. Nous retrouvons souvent cette caractéristique dans les petites brasseries.

- L'oxydation des lipides :

L'oxydation des lipides procure les arômes d'aldéhydes, d'alcools, d'acides, de lactones, produits lors du maltage.

- Les composés phénoliques :

Ceux-ci favorisent souvent le développement des saveurs de la vanilline.

Comme nous l'avons vu, les malts de base représentent un minimum habituel de 90 % des matières premières solides utilisées dans la maïsche. Les seules exceptions majeures à cette règle sont les bières comportant une large proportion de blé : les bières blanches et les lambics. Il existe plusieurs variétés de malts de base.

- Le malt acide :

En augmentant la température jusqu'à 45 °C lors du trempage, on permet aux lactobacilles de l'orge de se multiplier et de synthétiser de l'acide lactique, la suite du maltage se déroulant dans des conditions normales. Le malt acide est hautement spécialisé et est utilisé en faible proportion afin d'ajuster l'acidité du moût et d'intensifier la fermentation.

- Le malt blanc :

Il s'agit d'un malt faiblement touraillé, à une température inférieure à 70 °C. Il renferme une proportion élevée d'enzymes contribuant au développement de saveurs DMS et d'herbes.

- Le malt de type Lager ou Pilsner :

Il s'agit d'un malt de base pour les bières de fermentation basse. Il est touraillé à environ 85 °C, éliminant ainsi les saveurs herbeuses, mais il maintient les précurseurs du DMS. Ce malt contribue au développement de saveurs maltées.

- Le malt de type Munich :

Ce malt est touraillé à environ 100 - 105 °C. Cette température favorise la formation des mélanoidines et contribue au développement de saveurs typiques qui évoquent des

nuances de chocolat. Il se rapproche des malts caramel pâles, sa couleur étant de 15 à 20° EBC<sup>4</sup>. Il est utilisé en forte proportion dans la bière de Mars.

- Le malt de type mild ale :

Ce malt est touraillé entre 110 et 138 °C. Il développe de riches saveurs de noix, de *toffee* et de caramel.

- Le malt de type pale ale :

Ce malt est touraillé à environ 93 °C. Cette température élimine tous les DMS et les saveurs herbeuses, tout en laissant des saveurs de malt comportant une nuance de *toffee* et de caramel.

- Le malt de base de blé :

L'enveloppe du blé est très mince, particulièrement friable et son amidon se dissout facilement. Le blé renferme également plus de protéines, contribuant à voiler la couleur de la bière, lui donner une plus grande rondeur et favoriser la tenue de la mousse. Il comporte toutefois un défaut important qui permet de comprendre pourquoi il n'est pas plus utilisé malgré ses avantages : sa quasi – absence d'enveloppe et sa grande friabilité le rendent particulièrement difficile à filtrer. Le malt de blé représente une matière première importante pour les bières du style Weissen bavaroises. Dans plusieurs autres styles de bières, il est utilisé comme adjuvant contribuant surtout à la formation et au maintien de la mousse. En Allemagne, on produit également un malt de blé torréfié, notamment pour la production des Weizen dunkel bock. Quelques brasseries développent des bières d'épeautre, un blé noir.

### *β) Les malts spéciaux*

Les malts spéciaux sont habituellement utilisés dans une proportion inférieure à 10 %. On peut les classer en trois familles : les malts caramélisés, les malts torréfiés et les malts fumés.

---

<sup>4</sup> La signification de la classification EBC (European Brewery Convention) sera détaillée au paragraphe 2.b-γ.

- Les malts caramélisés :

Le malt caramélisé connaît une saccharification avant le touraillage : le malt vert est placé en couches épaisses à 60 – 65 °C pendant ¾ d'heure à un taux d'humidité important. Une partie de son amidon est alors transformée en sucres fermentescibles à l'intérieur même de l'enveloppe. Cette saccharification présente en fait les mêmes caractéristiques que celle qui se déroule dans le brassin lors du brassage. Le grain subit ensuite une torréfaction à 150 – 180 °C pendant une à deux heures afin de l'assécher et d'éliminer les enzymes. Lors du touraillage, le sucre se caramélise et devient plus foncé. Cette manière de procéder confère au malt une riche saveur de caramel. Ce malt contribue au développement d'une robe cuivrée, ambrée, tirant sur le brun, rouge - rubis. Il favorise la tenue de la mousse, la clarification, la rondeur et la durée de vie de la bière. Les malts caramélisés sont classés selon leurs couleurs. Celle-ci s'exprime en intensité par le degré EBC (European Brewing Convention). En Amérique du Nord, on utilise surtout le degré SRM (Standard Reference Method) aussi désigné par le nom de son inventeur : degré Lovibond. En voici les principaux types :

- *Carapils* (10 - 20 °EBC) : il favorise le développement de saveurs de noix.
- *Cara Vienne* (30 – 60 °EBC) : il procure une saveur riche et sucrée évoquant le caramel.
- *Cara Munich* (140 – 160 °EBC) : plus robuste et plus foncé que le *Cara Vienne*, il contribue à la rondeur et au développement de saveurs moelleuses.
- *Spécial B* (300 – 500 °EBC) : ce malt offre des saveurs très intenses de *toffee*.

- Les malts torréfiés :

Ces malts sont produits par un touraillage à de très hautes températures. Ils peuvent donner une saveur de noix, de chocolat, voire de charbon. Dans certains cas, ils peuvent contribuer à donner une couleur très foncée à la bière.

- Malts ambrés de 45 à 65 °EBC : ces malts subissent un rôtissage délicat. Ils contribuent à développer des saveurs de biscuits avec des notes de *toffee* et une couleur rouge – rubis.
- Malts bruns de 250 à 400 °EBC : ces malts subissent un rôtissage légèrement supérieur et favorisent le développement de la couleur or - brun dans la bière.
- Malts chocolat de 1000 à 1200 °EBC : ces malts subissent un rôtissage important. Ils produisent des saveurs riches de café et de caramel brûlé et contribuent au développement d'une couleur foncée.

- Malts rôtis de 1400 à 1600 °EBC : la carbonisation du malt se situe à 248 °C. Pour les malts rôtis, on pousse la chaleur à l'extrême limite, aux environs de 229 °C. Il en ressort un malt très foncé, habituellement classé comme un malt noir. Il offre à la bière des saveurs très tranchantes et naturellement une couleur noire.
  - Orge rôtie de 1400 à 1600 °EBC : l'orge rôtie produit une saveur forte, sèche et très amère, jusque dans l'arrière-goût. Elle contribue au développement d'un collet riche et crémeux de couleur blanchâtre.
- Les malts fumés :
- L'utilisation du malt fumé dans la bière remonte loin dans le temps. Une petite brasserie de Bamberg, en Allemagne, a continuellement produit une bière en respectant des méthodes traditionnelles de brassage qui incluaient le séchage du malt au-dessus d'un feu de hêtre et l'utilisation de pierres chauffées au rouge pour la saccharification et l'ébullition du moût dans des cuves en bois. Puis, dans les années 1980, la brasserie Fischer, en France, lança une bière faite en intégrant une petite quantité de malt à whisky, c'est-à-dire du malt séché au-dessus d'un feu de tourbe. D'autres brasseries se sont aujourd'hui inspirées de cette originalité : de nombreuses bières sont faites à base de malt fumé au-dessus d'une variété de matières végétales (tourbe, bois de noyer, bois de hêtre).
- Autres céréales et malts :
- Il existe d'autres céréales utilisées telles quelles ou encore maltées dans le brassage. En règle générale, elles contribuent à donner une saveur plus légère à la bière. On retrouve le seigle, le malt au miel (Canada), le malt dextrine (dont la fonction essentielle est de donner du corps à la bière).

### *χ) Qualités d'un malt de brasserie*

La bonne qualité d'un malt de brasserie est jugée selon les critères suivants :

- Ses caractéristiques organoleptiques :  
La couleur du malt doit être uniforme, l'odeur franche, agréable, proche du pain, la saveur douce et sucrée. Le malt le plus pâle, le malt à Lager, offre une lecture de 5 à 9 °EBC (1,4 à 2,0 °L). Le malt le plus foncé indique 1400 à 1600 °EBC (500 à 550 °L). Cependant, la

couleur du malt n'est pas un fidèle indicateur de la couleur finale de la bière car de nombreux autres facteurs contribuent à former la couleur finale (le chauffage, l'utilisation de sucres particuliers, etc.).

- Son pouvoir d'extraction de sucres fermentescibles :  
Il s'agit de la concentration de sucre dans le moût pouvant être produit avec le grain.
  
- Sa grosseur :  
Les grains doivent être de dimension homogène.
  
- Sa teneur en humidité :  
La teneur en humidité du malt influence le degré d'extraction de matières fermentescibles. Elle doit être inférieure à 4,5 %. La plumule doit atteindre les  $\frac{3}{4}$  de la longueur du grain. Les grains doivent être farineux et la proportion de grains vitreux (glacés) ne doit pas excéder 5 %.
  
- Sa friabilité  
La détermination de la friabilité du malt permet d'évaluer son degré de désagrégation et donc son comportement lors du concassage et du brassage.
  
- Son pouvoir diastasique :  
Il indique la force combinée des diastases  $\alpha$  et  $\beta$  permettant de transformer l'amidon en sucres fermentescibles. Lorsqu'un malt possède un pouvoir enzymatique élevé, le brasseur peut ajouter d'autres céréales au brassin car les enzymes pourront alors saccharifier leur amidon. Le pouvoir enzymatique est un critère important pour les malts de base mais il est secondaire pour les malts spécialisés.
  
- Sa teneur en protéines totales :  
La teneur en protéines est exprimée en % et indique le rapport protéines/azote dans le malt. Une proportion trop élevée de protéines dans le malt n'est pas souhaitable car elles se combinent avec le tanin et provoquent une opalescence de la bière. Le maximum acceptable est en général de 12 %.

Des tests de micro-brassage sont effectués en laboratoire afin d'évaluer ce que sera le brassage réel. Sur ce mini-brassin sont mesurés les activités enzymatiques, la vitesse de filtration, la vitesse de saccharification, le pH, la couleur et la viscosité du moût, la teneur en extrait fermentescible (elle doit être supérieure à 70 %), la teneur en azote et en nitrosamines (la teneur en NDMA doit être inférieure à 25 mg/kg).

c- Les autres matières premières amylacées dites « auxiliaires »

Les bières fabriquées uniquement à partir de malt (bières pur malt) ne représentent que 10 % de la production mondiale. L'utilisation de matières amylacées succédanées du malt permet de réduire les coûts de fabrication, d'améliorer la stabilité colloïdale, de produire des bières plus claires, plus légères que les bières pur malt. La proportion des matières amylacées mise en œuvre est réglementée par chaque pays. Cette part est généralement de 10 à 30 % en Europe. La loi de pureté allemande (Reinheitsgebot de 1516 – Cf. partie I) interdit l'utilisation, du moins pour le marché intérieur, de produits autres que le malt d'orge, l'eau, le houblon et la levure, pour la fabrication de bières de fermentation basse (l'utilisation de sucres est autorisée dans la fabrication de bières de fermentation haute). En France, la réglementation des produits alimentaires les autorise dans une proportion de 30 %, dans l'attente d'une législation européenne unique.

Dans la description des matières amylacées utilisées en brasserie, on distingue classiquement les matières amylacées solides, ou « grains crus » et les matières amylacées liquides (sirops et sucres).

*α) Les matières amylacées solides ou grains crus*

On appelle grain cru toute substance amylacée provenant de la transformation de céréales non maltées (maïs, riz, orge, etc.) sous quelle forme que ce soit : farines, amidons, gritz, flocons, etc. Les grains crus sont largement utilisés dans la fabrication des bières pâles et légères de fermentation basse, type « pilsener », industrielle.

Leur faible teneur en matières azotées et polyphénoliques permet d'améliorer la stabilité colloïdale de la bière. Grâce à leur forte teneur en amidon, les grains crus augmentent l'extrait (apports de sucres fermentescibles) lors du brassage et ce, pour un coût modique comparé à celui du malt. Cependant, ils présentent les inconvénients suivants :

- A l'inverse du malt, les grains crus n'apportent ni enveloppes pailleuses, ni potentiel enzymatique. En effet, ces grains n'ayant pas été maltés, ils ne possèdent aucune activité diastasique. C'est pourquoi, leur amidon devra être dégradé, lors du brassage, soit par des enzymes exogènes (d'origine fongique ou bactérienne), soit par les enzymes du malt avec lequel ils seront mélangés.
- Les températures de gélatinisation de leurs amidons étant supérieures à celle du malt, leur empesage devra être réalisé dans une chaudière à trempé (brassage par décoction).

Les grains crus les plus couramment utilisés sont :

- Le maïs (*Zea mays L.*) : c'est le grain cru le plus utilisé dans les pays occidentaux, sous forme de farines, d'amidon, de gritz, de flocons pré-gélatinisés, etc. Il donne des bières moelleuses.
- Le riz (*Oriza sativa L.*) : il est principalement utilisé dans les pays asiatiques, sous forme de gritz, de flocons, etc. issus de la transformation des brisures de riz (grains de riz cassés lors du décorticage et du polissage du riz alimentaire). Il donne des bières légères, neutres, assez sèches.
- Autres grains crus : utilisés de façon mineure, locale ou même expérimentale. Ce sont des produits de transformation du sorgho, avoine, triticales, seigle, orge non maltée, pomme de terre, blé, etc.

### *β) Matières amylacées liquides : sirops et sucres*

Les sirops et sucres peuvent être utilisés à différentes fins :

- Comme substrat de fermentation : entièrement et directement fermentescibles, ils sont versés soit dans la chaudière à houblonner pendant l'ébullition du moût où ils seront stérilisés et dissous, soit pendant la fermentation primaire (en cuves de fermentation), soit lors de la garde (fermentation secondaire) ou bien lors d'une éventuelle fermentation tertiaire en bouteille (méthode champenoise).
- Comme colorant : les sucres caramélisés et les sirops de caramel servent à ajuster la couleur de certaines bières. Ils contribuent également à leur flaveur.
- Comme édulcorant et adoucissant : ajoutés après soutirage de la bière, ils permettent d'en équilibrer l'amertume et/ou l'acidité.

Par ailleurs, le sucre à titre d'adjuvant est essentiel pour la majorité des bières titrant plus de 8% d'alcool en volume. Les bières fortes n'utilisant que de l'amidon pour la contribution au pourcentage d'alcool deviennent facilement lourdes et particulièrement bourratives.

Plusieurs formes et types de sucres sont utilisés pour le brassage :

- Les sirops d'amidon : l'industrie de l'amidonnerie permet aujourd'hui la fabrication de sirops aux profils glucidiques « à la demande », reproduisant le profil glucidique d'un moût de bière classique. Ils sont obtenus par traitement chimique et enzymatique de l'amidon.
- Le glucose : sous forme de sirop, il provient de l'hydrolyse acide de l'amidon. il contient toujours une faible proportion de dextrans.
- Le saccharose : sous forme de sirop ou de poudre cristalline, il est issu du jus de la canne à sucre ou de la betterave. On distingue le sucre cristallisé blanc (plus de 99 % de saccharose), roux (plus de 85 % de saccharose) et le fameux sucre candi, ayant fait la gloire des bières belges partout dans le monde. Il s'agit d'un sucre très pur ayant été raffiné à un degré extrême. On le fait cristalliser lentement dans une solution à haute concentration de sucre. La solution est refroidie dans une cuve dans laquelle on fait pendre des tiges de coton. Les cristaux de sucre se forment autour. Plus lent est le refroidissement, plus gros sont les cristaux. Le sucre candi blanc est obtenu d'une solution

normale, alors que le sucre candi brun est obtenu d'une solution caramélisée. Le principal intérêt de ce sucre pour un brasseur est sa capacité à se dissoudre presque instantanément dans l'eau ou le moût. On retrouve les principaux sucre candi suivants : pâle ou foncé. Ce dernier est également utilisé comme colorant et fait la fierté de plusieurs bières de type « double ».

- Le sucre inverti : il provient de l'hydrolyse acide du saccharose en glucose et levulose. Il ne contient aucune dextrine.
- Le sirop de caramel : préparé à partir de sirops d'amidon riches en glucose soumis par pression à haute température (150 °C).

Notons que le miel est de plus en plus utilisé dans les petites brasseries. Le nectar renferme toujours les traces des différentes fleurs que l'insecte a visitées.

### **3. Le houblon**

Alors que le malt donne à la bière son corps et sa couleur, le houblon lui apporte sa personnalité en corrigeant de son arôme puissant et amer la douceur sucrée de la céréale. Le houblon est l'assaisonnement et l'épice de la farine d'orge.

#### **a- Utilisation historique du houblon comme matière amérisante et aromatisante**

Le houblon est aussi connu sous le nom de « or vert ». Il constitue la principale source amérisante et d'aromatisation de la majorité des bières. L'emploi du houblon dans le brassage remonte à la nuit des temps, mais son utilisation généralisée et sa reconnaissance comme matière première essentielle sont relativement récentes. Elles débutent au moyen-âge, soit vers le début du XV<sup>ème</sup> siècle.

Les plus vieilles traces d'utilisation du houblon dans la bière remontent au-delà du VI<sup>ème</sup> siècle av. J.-C.. Nous savons qu'il aromatise plusieurs *sikaru*. L'utilisation documentée la plus ancienne de son emploi nous conduit dans le Hainaut, à l'abbaye Saint-Pierre de Lobbes, en 868. Pépin le Bref, roi des Francs, offrit des plants de houblon à l'abbaye pour la fabrication de la cervoise au houblon.

Sa consécration à titre d'ingrédient essentiel est directement reliée aux recherches d'une femme, Sœur Hildegard, une moniale de l'abbaye de Prüm en Allemagne, dans le massif de l'Eifel. L'utilité de cette fleur est d'abord d'agir comme agent conservateur de la bière en l'empêchant de surir : Sœur Hildegard découvre que le houblon renferme des substances bactéricides. Elle note également que les bractées de cette plante semblent conférer des saveurs agréables à la bière. L'adoption du houblon se fait avec beaucoup d'enthousiasme sur le continent européen, mais les brasseurs britanniques lui résistent. Ce n'est qu'au milieu du XVI<sup>ème</sup> siècle qu'ils l'adoptent. Cependant, alors que partout, on ne cultive que des plants femelles, les britanniques sèment ici et là des plants mâles. Cette utilisation de plants mâles aurait une signification pratique déterminante dans les négoce : les plants fertilisés développent naturellement des graines, offrant aux brasseurs le témoignage de la maturité de la fleur. Ainsi, les brasseurs du Royaume sont facilement en mesure de juger de la maturité et de la qualité de la récolte par la couleur de la graine qui doit être d'un beau doré, légèrement brunâtre. Trop pâle, la fleur n'est pas mûre, trop foncée, ses huiles et résines sont de moindre qualité. Ailleurs, on affirme que les fleurs fécondées produisent les graines au détriment des principes utiles pour le brasseur.

#### b- Culture et botanique

Le houblon, *Humulus lupulus* L., appartient à la classe des Eudicotylédones, ordre des Rosales, famille des Moracées (anciennement Cannabinacées). Vivace par un rhizome, le houblon est une plante grimpante à tiges volubiles pouvant atteindre 7 à 8 mètres. C'est une plante dioïque (les fleurs femelles sont portées par des pieds femelles, les fleurs mâles par des pieds mâles), pouvant vivre 10 à 30 ans (Figure 6).

**Figure 6 : *Humulus lupulus* L.**

Les feuilles palmatilobées des plantes femelles portent à leur base des inflorescences appelées cônes, constituées de bractées insérées sur un rachis articulé. A la partie inférieure de ces bractées se trouve une substance résineuse aromatique, de couleur jaune, sécrétée par des glandes : le lupulin. C'est cette substance qui contient les principes utiles au brasseur. Les cônes mesurent de 1 à 4 cm selon les variétés.

Le houblon, cultivé dans les houblonnières, affectionne les sols argilo-sableux et réclame une terre profonde pour pousser, ses racines pouvant descendre jusqu'à 2 mètres. Il prospère sous tous les climats tempérés, à condition qu'il pleuve suffisamment pendant sa croissance et qu'il y ait assez de soleil pour faire pousser les fleurs. La plante est coupée chaque année à ras de la racine. Au printemps, des tiges vigoureuses surgissent du sol. Le cultivateur pose alors une armature de piquets et de fils de fer (tuteurage) sur lesquels vont s'enrouler les tiges en suivant la trajectoire du soleil, pour former ces hautes plantes si caractéristiques dès le mois de juillet. La souche de houblon donne plusieurs dizaines de pousses. Le houblonnier conserve de 2 à 6 jets. Il ne cultive que les plants femelles (sauf en Grande-Bretagne), car s'ils sont fécondés, les cônes femelles ont tendance à s'ouvrir perdant ainsi leur lupulin et les graines formées donnent un mauvais goût à la bière. Les fleurs apparaissent en été et sont suivies par les cônes qui sont récoltés en début d'automne, récolte autrefois faite sur des échasses selon un procédé traditionnel qui a laissé place à la mécanisation. Au moment de leur cueillette, les cônes renferment 70 à 80 % d'humidité. Ils sont séchés en touraille pendant environ 8 heures à une température inférieure à 60 °C afin d'abaisser l'humidité à 7 ou 8 %, puis comprimés avant d'être ensachés dans des sacs ou des poches (balles) pouvant atteindre 2 mètres. Les balles portent généralement l'emblème de la région de culture.

Le houblon est une plante fragile, sensible aux maladies cryptogamiques comme l'oïdium ou le faux mildiou, mais aussi aux pucerons, aux araignées rouges et au virus de la mosaïque. Traité par des vapeurs de soufre (soufrage), le houblon est rendu moins sensible aux contaminations fongiques et bactériennes. Sa compression évite l'oxydation. Les balles sont conservées à froid à environ 0 °C.

Le houblon est offert sous plusieurs formes aux brasseurs :

- En granules (bouchons de houblon, granulés de houblon), que l'on obtient par broyage et agglomération.
- En cônes pressés : le houblon est d'abord séché, pressé puis emballé dans des sacs. On leur reproche souvent leur manque de régularité dans l'amertume qu'ils confèrent, ainsi que leur difficulté de stockage et de conservation. Ils sont toutefois largement utilisés en brasserie traditionnelle.
- Poudres et pellets de houblon : il s'agit en fait de la même technique que les cônes pressés. Les cônes sont moulus finement, un tamis vibrant permettant ensuite une séparation optimale entre le lupulin et les parties végétales du cône. La poudre est ensuite conditionnée sous azote. Les pellets sont des petits agglomérats de poudre de houblon mélangés à de la bentonite. Faciles d'utilisation, ils se solubilisent rapidement dans le moût, permettant un bon rendement d'isomérisation. Chaque pellet offre une mesure spécifique de poids. Cette forme est surtout utilisée pour le houblonnage à cru en Grande-Bretagne.
- En extraits : les matières amères du houblon peuvent être extraites par différents solvants : CO<sub>2</sub> liquide, éthanol, hexane, chlorure de méthylène. Le CO<sub>2</sub> liquide est le meilleur solvant car il permet d'extraire également l'huile essentielle. Par ailleurs, il ne pose pas de problème de contamination résiduelle car il est un composant naturel de la bière.
- Extraits de houblon isomérisés : lors du brassage, le rendement de l'isomérisation des acides  $\alpha$  est faible. C'est pourquoi, on procède à une isomérisation afin d'obtenir des acides iso- $\alpha$  en plus grande quantité. Ces extraits, présentés sous forme solide ou liquide, permettent donc un houblonnage à froid pendant la fermentation ou juste avant (sans houblonnage traditionnel en chaudière). Les bières produites avec ces extraits sont insensibles au goût de « lumière » (ou coup de soleil).

### c- Composition chimique

Les principaux composés actifs du houblon, contenus dans le lupulin, sont les acides alpha, donnant l'amertume, les acides bêta, au rôle négligeable en brasserie et l'huile essentielle, donnant les arômes. Certains houblons communiquent plus d'amertume à la bière à cause de leur proportion élevée d'acides alpha. D'autres sont plus riches en arômes en raison de la finesse des résines qu'ils renferment.

Le houblon séché contient :

- Eau : 10 %
- Acides  $\alpha$  : 2 à 12 %
- Acides  $\beta$  : 2 à 10 %
- Huile essentielle : 0,5 à 2 %
- Tanins polyphénoliques : 2 à 5 %
- Protéines : 12 à 18 %
- Pectines, cellulose, cendres : 50 à 60 %

#### *$\alpha$ ) Les acides alpha et bêta*

Les acides  $\alpha$  et  $\beta$ , ainsi que leurs dérivés d'oxydation donnent à la bière son amertume et son pouvoir désaltérant. Ils ont une action antiseptique et jouent un rôle dans la tenue de la mousse.

Le radical hydrocarboné R définissant différents homologues, les acides  $\alpha$  sont un mélange de ces homologues (Figure 7) :

- Humulone : 35 à 70 %
- Co-humulone : 20 à 55 %
- Ad-humulone : 10 à 15 %
- Pré-humulone : faibles quantités
- Post-humulone : faibles quantités

**Figure 7 : Formule générale des acides  $\alpha$**

La teneur en humulone, co-humulone et ad-humulone est l'unité de mesure la plus importante pour le brasseur. La source d'amertume la plus âpre semble être la co-humulone. Les acides  $\alpha$  non amers et insolubles dans le moût le deviennent pendant l'ébullition (lors du houblonnage) : ils doivent être bouillis pendant une longue période, habituellement supérieure à 60 minutes. Pendant l'ébullition, une isomérisation en acides iso- $\alpha$  se produit. Ces substances, solubles dans le moût, sont les principales substances amérisantes de la bière.

Comme les acides  $\alpha$ , les acides  $\beta$  sont un mélange d'homologues (Figure 8) :

- Lupulone : 30 à 55 %
- Co-lupulone : 20 à 55 %
- Ad-lupulone : 5 à 10 %
- Pré-lupulone : faibles quantités
- Post-lupulone : faibles quantités

### Figure 8 : Formule des acides $\beta$

Ils sont de faible valeur brassicole. Cependant, certains de leurs produits d'oxydation sont très amérisants et contribuent à l'amertume de la bière. Ce sont leurs double liaisons qui rendent ces acides très sensibles à l'oxydation.

#### *$\beta$ ) L'huile essentielle*

L'huile essentielle est responsable du caractère houblonné de la bière. Plus de 200 composés ont été isolés par chromatographie en phase gazeuse : ce sont principalement des composés terpéniques (myrcène, humulène, pinène, géraniol, etc.). Le myrcène et l'humulène sont les composés qui intéressent le plus le brasseur.

L'huile essentielle est très volatile et se dissipe rapidement. L'ébullition occasionne son évaporation totale en quelques minutes. L'obtention des saveurs aromatiques du houblon se fait donc à la toute fin de la cuisson, dans les minutes qui la suivent, ou encore pendant la période de garde (houblonnage à cru).

### *χ) Les tanins*

Ils jouent un rôle positif dans la conservation de la bière et dans sa clarification. En effet, lors du brassage, ils se combinent aux matières azotées en formant des précipités. Mais en excès, ils donnent des bières âcres.

### *δ) Les protéines*

Elles fournissent une part de l'azote assimilable par les levures.

### *d- Les variétés de houblon*

Les variétés de houblons d'arôme traditionnel donnent à la bière une saveur subtile et fine. Au cours des dernières décennies, on a privilégié les variétés riches en acides  $\alpha$  donnant plus d'amertume. Des maladies cryptogamiques ayant frappé de nombreuses houblonnières, on cherche avant tout aujourd'hui à créer des variétés résistantes.

Les houblons aromatisants portent le nom de :

- *Cascade* : houblon parfumé et fruité apparu en 1972.
- *Fuggles* : introduit par Richard Fuggle dans le Kent en 1875. Aussi cultivé en Oregon. En Slovénie, où il s'est adapté aux conditions locales, il s'appelle *Styrian Goldings*.
- *Goldings* : apparu aux XVIII<sup>ème</sup> siècle dans l'est du Kent, son parfum floral sert pour l'ale anglaise traditionnelle en fût.
- *Hallertauer* : houblon à l'arôme traditionnel de la région de Hallertau en Bavière, la plus grande région productrice de houblon au monde (1/5<sup>ème</sup> de la production totale). La maladie l'a presque fait disparaître.

- *Hersbrücker* : variété traditionnelle des monts de Hersbrück qui a remplacé la Hallertauer. Son arôme fait de la bière allemande la plus populaire de toutes. Cette variété est cultivée dans la région de Hallertau.
- *Spalter* : variété allemande traditionnelle surtout cultivée dans le Spalt près de Nüremberg.
- *Tettnanger* : variété allemande à l'arôme délicat, surtout cultivée dans le Tettnang, à la frontière suisse, près du lac de Constance.
- *Willamette* : variété américaine apparentée au *Fuggles*, apparue en 1976.

Le plus réputé pour la finesse de son arôme est le *Saaz* : cette variété classique de Zatec, en République Tchèque, donne leur parfum floral aux pilsner de Bohème.

Les houblons amérisants portent les noms de *Brewer's Gold*, *Cluster*, *Comet*, *Eroica*, *Galena*, *Northern Brewer*, *Record*, *Talisman*, etc.

Les principaux producteurs de houblon sont l'Allemagne, la République Tchèque, la Slovénie, l'Angleterre et les Etats-Unis. On retrouve également des producteurs de houblon en Belgique (Poperinge), en France (le « triangle du houblon » en Alsace : Brumath, Haguenau, Bischwiller) et depuis peu au Canada (le Québec et la Colombie-Britannique).

Le type de houblon importe peu pour les brasseurs de lambics en Belgique. Il s'intéressent plutôt à son âge, ou plus précisément à la perte de toute propriété amérisante et aromatisante du houblon. Ces brasseurs utilisent des fleurs de houblon suranné aux seules fins de protéger les moûts d'une infection bactérienne indésirable.

### III- LE MALTAGE

---

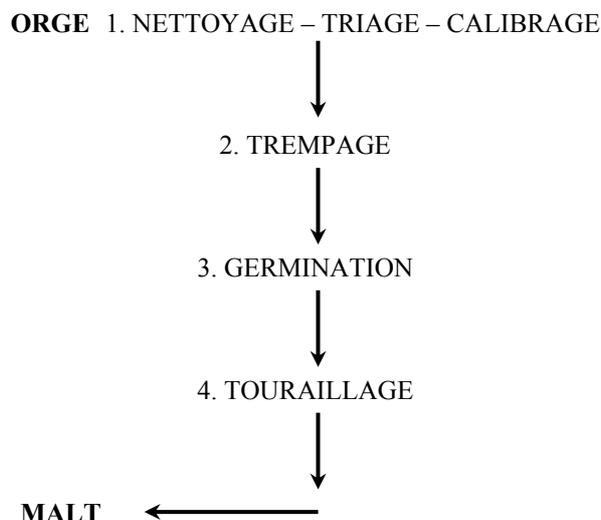
#### 1. Introduction

Contrairement à d'autres boissons fermentées, comme le vin ou le cidre, pour lesquelles le sucre apporté par le fruit est directement utilisable comme substrat de la fermentation, l'amidon du grain d'orge n'est ni soluble ni fermentescible. Pour devenir fermentescible, l'amidon doit être décomposé en dextrines puis en maltose par l'action d'enzymes produites par le grain : les diastases. Pour être utilisable en brasserie, le grain d'orge doit être malté. Le maltage consiste à transformer le grain d'orge en malt par germination. Le grain cru et dur va être transformé en grain germé, riche en enzymes et friable.

Le maltage est effectué dans des malteries qui, jusqu'à la seconde guerre mondiale, étaient intégrées à la brasserie. Actuellement, peu de brasseries possèdent leur propre malterie.

#### 2. Les opérations du maltage

Le maltage s'opère en quatre étapes principales, après une longue période de dormance, sa réception, son stockage en silos et son nettoyage. Ces étapes sont les suivantes :



#### a- Opérations préliminaires

L'orge fraîchement récoltée est inapte au maltage. Ses enveloppes n'étant pas encore suffisamment perméables, la germination serait difficile. Le grain doit subir une période de maturation appelée « dormance » qui dure au moins 2 mois. Cette période est caractérisée par deux phénomènes distincts :

- La sensibilité à l'eau, qu'on évite par un trempage approprié,
- La dormance proprement dite, due à la présence d'inhibiteurs de germination présents dans les enveloppes de l'orge (coumarine, acides phénoliques).

Ainsi, les conditions de stockage de l'orge interviennent directement sur sa qualité. La température ne doit pas excéder 40 °C pour éviter le risque d'inactivation de certaines enzymes. Le silo à grains doit être aéré afin de permettre au grain de mieux respirer et d'obtenir un taux d'humidité inférieur à 10 %, évitant ainsi les risques de contamination fongique. L'orge doit également être protégée contre les insectes, en particulier les charançons.

Avant utilisation, l'orge est nettoyée (dépoussiérage en soufflerie), tamisée et calibrée afin d'éliminer les petits cailloux, les grains cassés, trop petits ou étrangers. Barbes et pointes sont également éliminées. L'homogénéité du grain conditionne une germination régulière. La Figure 9 nous donne un schéma de l'ensemble des opérations de nettoyage, triage et calibrage.

1. Trémie de réception
2. Elévateur
3. Bascule automatique
4. Tarare : un gros tamis élimine les pierres, paille, mottes, épis, cordes, etc. UN fin tamis arrête le bon grain, laisse passer les impuretés fines, un ventilateur aspire les poussières et les élimine à travers :
5. Un cyclone et
6. Un filtre à manches
7. Ebarbeur

8. Aimant : élimine clous et ferrailles
9. Trieur à alvéoles : élimine les grains cassés, graines étrangères dans les alvéoles, mais pas les grains d'orge entiers, récupérés en
10. Trieur
11. Trieur calibreur et
12. Plansichter : sépare les grains en 2 catégories à malter :
  - catégorie 1 : > 2,5 mm, sortie n° 14
  - catégorie 2 : > 2,2 mm, sortie n° 15
13. Bascule automatique
16. Sortie des orgettes pour fourrage

**Figure 9 : Schéma de l'ensemble des opérations préliminaires au maltage de l'orge**

b-

## Le trempage

Pour germer, le grain doit absorber une certaine quantité d'eau. Pour ce faire, on le met alternativement à tremper dans de grandes cuves cylindro-coniques (mouilloirs). Comme le grain respire activement dès qu'il dépasse un certain taux d'humidité, il faut l'aérer en vidangeant l'eau et le laisser à découvert en insufflant de l'air et en aspirant le dioxyde de carbone formé par le bas, le rapport  $CO_2 / O_2$  devant rester inférieur à 1, sinon le germe s'asphyxie par les produits de respiration anaérobie. Le nombre et la durée de chaque période (immersion et mise à découvert) sont définis par le diagramme de trempage. L'eau de trempage est renouvelée à chaque nouvelle immersion.

On observe 4 phases :

- Absorption d'eau par l'embryon,
- Activation des enzymes,
- Développement des tissus embryonnaires,
- Percement de la paroi de l'embryon par le germe qui se développe.

La durée totale de l'opération de trempage est de 2 à 3 jours. Le taux d'humidité du grain passe de 10 % à 40-45 %, son volume augmentant de 40 %. La température de trempage idéale est de 10 à 15 °C. Au-delà, le trempage est plus rapide mais le risque de contamination fongique est plus élevé. Un trempage, s'il est trop court, produit un grain trop dur, s'il est trop long, un grain désagrégé au pouvoir germinatif diminué. Un grain convenablement trempé est un grain prêt à germer. Il doit être élastique et sans résistance à la morsure.

### c- La germination

La germination (Figure 10) est une étape physiologique qui permet au grain de mobiliser ses réserves en faveur de la croissance de l'embryon « réveillé » lors du trempage. Elle a pour but de créer un fort potentiel enzymatique dans le grain.

C'est lors de cette étape que sont produites les enzymes qui permettront de décomposer les réserves amylacées et protéiques du grain en composés solubles (sucres fermentescibles, peptides, acides aminés, vitamines, etc.) utilisables par la levure. Ces enzymes sont également appelées diastases. Ce sont principalement des hydrolases amylolytiques, protéolytiques et cytolytiques. Les activités protéolytiques et cytolytiques s'exercent en majeure partie lors du maltage. A l'inverse, l'activité amylolytique ne sera réellement efficace que lors du brassage : l'amidon est hydrolysé pour 5 à 10 % lors du maltage contre 90 à 95 % lors du brassage.

**Figure 10 : Schéma de la germination d'un grain d'orge**

*α)*

### Principales enzymes de l'orge

L'embryon activé libère une phytohormone, la gibérelline, qui diffuse dans l'aleurone et la trame protéique de l'endosperme où elle provoque le démasquage d'enzymes préformées et la biosynthèse d'autres enzymes. Ces enzymes peuvent être groupées en deux classes selon leur activité : enzymes contribuant à dégrader l'amidon et enzymes dégradant les protéines.

#### ❖ Enzymes dégradant l'amidon

- L' $\alpha$ -amylase :

On distingue l' $\alpha$ -amylase 1 (5 % de l'activité de l' $\alpha$ -amylase), qui solubilise plus rapidement les gros granules que l' $\alpha$ -amylase 2 (95 % de l'activité). Les  $\alpha$ -amylases sont des endo-enzymes. Elles hydrolysent les liaisons  $\alpha$ -1,4 des chaînes d'amylose et d'amylopectine à l'exclusion des motifs terminaux de ces chaînes. Elles libèrent principalement des oligosides de 4 à 10 ou plus unités glucoses qui sont des dextrans (branchées ou linéaires), mais aussi un peu de maltose, de maltotriose ou de glucose. Le touraillage diminue leur activité d'environ 30 %.

- La  $\beta$ -amylase :

On distingue la  $\beta$ -amylase associée aux granules et la  $\beta$ -amylase libre, localisée entre les granules dans la trame protéique de l'endosperme. Ce sont des exo-enzymes qui hydrolysent les liaisons  $\alpha$ -1,4 des chaînes d'amidon à partir de leur extrémité non réductrice. Leur action est dite récurrente : elles ne coupent qu'une liaison  $\alpha$ -1,4 sur deux, ce qui libère du maltose (dimère de glucose) et sont stoppées par les liaisons  $\alpha$ -1,6. Elles peuvent donc hydrolyser les dextrans linéaires libérées par l' $\alpha$ -amylase, ainsi que les chaînes longues des dextrans branchées, ce qui aboutit à la formation de dextrans « limites » aux liaisons  $\alpha$ -1,6 inattaquables par les amylases. L' $\alpha$ -amylase et la  $\beta$ -amylase sont donc des enzymes complémentaires de l'amylolyse. le touraillage diminue leur activité de 60 %.

- La dextrinase limite :

Elle est encore appelée enzyme débranchante ou pullulanase. Cette enzyme permet d'hydrolyser, pour une part, les liaisons  $\alpha$ -1,6 des chaînes d'amylopectines.

- La maltase ou  $\alpha$ -glucosidase :

Elle permet l'hydrolyse du maltose en deux molécules de glucose.

- La saccharase :

Son substrat est le saccharose qu'elle hydrolyse en glucose et fructose.

- Les  $\beta$ -glucanases (ou hémicellulases) :

Ces enzymes ont pour substrat les pentosanes et hémicelluloses constitutifs des parois cellulaires. Leur activité est primordiale lors de la germination : en désorganisant l'architecture de l'endosperme, elles rendent le grain friable et permettent la diffusion des protéases et des amylases à travers l'endosperme, ainsi que leur action au niveau du contenu cellulaire qu'elles ont libéré.

#### ❖ Enzymes dégradant les protéines

Les enzymes protéolytiques vont dégrader l'aleurone et la matrice protéique entourant les grains d'amidon. Les substances aminées solubles obtenues (peptides, acides aminés) seront indispensables à la multiplication de la levure. La protéolyse s'effectue essentiellement lors du maltage. Une protéolyse incomplète ne sera pas rattrapable lors du brassage car les enzymes protéolytiques n'y trouvent pas des conditions favorables de température, c'est-à-dire un palier prolongé à 45-50 °C. Une protéolyse dont le rendement aura été trop faible ne fournira pas à la levure la substance azotée nécessaire à son développement, ce qui nuira à la fermentation. A l'inverse, une protéolyse trop poussée dégrade les fractions protéiques responsables de la stabilité de la mousse.

La famille des enzymes protéolytiques est composée d'endopeptidase (ou protéases) et d'exopeptidases (ou peptidases) parmi lesquelles on trouve des carboxypeptidases, des aminopeptidases et des dipeptidases.

### *β) Réalisation pratique*

La germination s'effectue à l'obscurité et dure de 4 à 8 jours pendant lesquels le lit de grains est aéré, humidifié et retourné régulièrement. Cependant, la germination peut être accélérée en traitant les grains par de l'acide gibberellique obtenu à partir d'un champignon japonais des rizières, le *Giberella fujikuroi* (ou *Fusarium moniliforme*).

Les premières manifestations de la germination sont les augmentations de température et d'humidité (le grain « sue »). Le radicule apparaît à la base du grain au 2<sup>ème</sup> jour (le grain « pique »), puis il se ramifie (le grain « fourche »). De son côté, la plumule, émission de l'embryon, grandit sous l'enveloppe vers la pointe du grain. La germination devra être stoppée, par le touraillage, lorsqu'elle aura atteint les 2/3 ou les 3/4 de longueur du grain. Au-delà de cette taille, une trop grande quantité de substances nutritives serait consommée au profit de l'embryon et donc, aux dépens de la fermentation. Si la plumule sort du grain, ceux-ci sont dits « hussards ».

La germination doit être contrôlée : le grain ne doit ni s'échauffer, ni s'étouffer (le grain « respire »), l'humidité du grain doit être maintenue à 45 % et la température entre 12 et 15 °C parfois plus selon la qualité de malt voulue.

Il existe différents procédés de germination mais le système le plus fréquemment utilisé est le système SALADIN :

- Germination sur germoirs (ou sur aire) : il s'agit d'une méthode ancienne que l'on retrouve à l'occasion dans des malteries très spécialisées. L'orge humidifiée est tout simplement répandue en couches de 10 à 20 cm, sur des planchers non poreux et en pente douce afin de favoriser l'écoulement des eaux. Après une trentaine d'heures, l'orge « pique ». La vapeur d'eau qui se forme ensuite se condense à la surface de la couche. L'orge « sue » et indique au malteur qu'il faut procéder à un premier pelletage. Plus la germination s'intensifie, plus on pellette. Les opérations peuvent être faites manuellement, à l'aide d'une pelle ou d'une charrue à malt ou encore mécaniquement. Lorsque les couches de grains se dessèchent, le malteur procède à un arrosage suivi d'un pelletage. Ce procédé requiert habituellement 7 jours.

- Maltage pneumatique : cette méthode consiste à répandre l'orge en tas épais (environ 1,5 mètre) et à y faire circuler un courant d'air humide. Cette méthode, développée il y a un siècle par J. SALADIN et N. GALLANT, permet un meilleur contrôle des variables de la germination (température et humidité) ainsi qu'un gain de place et de main d'œuvre. Il existe deux systèmes de maltage pneumatique : en cases (système SALADIN) et en tambours (système GALLANT).

La case est un compartiment dont les parois sont munies de rails sur lesquels se meut un retourneur mécanique. Un faux fond pourvu de fentes permet l'aération du lit d'orge pendant la germination. Les retourneurs à hélices ou à spirales sont disposés sur une poutre transversale qui roule sur les rails. Les hélices remontent l'orge du fond vers la surface et vice-versa, permettant ainsi un maltage uniforme. Il existe également des retourneurs à palettes, mais ceux-ci sont de moins en moins utilisés.

La germination en tambours utilise des cylindres dont la rotation assure l'aération du grain et l'uniformité de la germination. Il existe des tambours fermés, dits « GALLANT » dont l'aération est assurée par un système de double revêtement. Les tambours ouverts dits « TOPF » sont munis d'orifices par lesquels l'orge est en contact avec l'air ambiant.

Il existe aujourd'hui d'autres systèmes de maltage de plus en plus automatisés et où les différentes opérations de trempage, de germination et de touraillage ne sont plus distinctes. C'est la malterie en continu.

#### d- Le touraillage

Le malt vert pourrait être utilisé directement en brasserie, l'activité enzymatique serait alors optimale et le coût de fabrication moindre. Mais la flaveur de la bière serait désagréable car très astringente et herbacée.

Le touraillage (du latin *torrere* : rôtir) consiste à abaisser le taux d'humidité jusqu'à un seuil interdisant toute réaction enzymatique : la germination est donc stoppée et le grain germé pourra se conserver. Cette opération s'effectue dans des tourailles (Figure 11), ou tours de séchage, comportant de un à trois plateaux, parfois superposés, sur lesquels on étale le malt

vert. A la base de la touraille se trouve une source de chaleur : foyer à feu nu ou courant d'air chaud.

- a. Brûleur
- b. Canalisation des gaz
- c. Filtre
- d. Ventilateur
- e. Couche de malt à tourailler
- f. Vanne de réglage pour recirculation ou extraction d'air
- g. Vanne de réglage pour admission d'air

**Figure 11 : Coupe simplifiée d'une touraille à un plateau**

Les buts du touraillage sont multiples : outre la conservation du malt (« fixation » du grain), il permet de développer la coloration et la flaveur de la future bière. Il facilite également l'élimination des radicelles du grain qui, trop riches en matières azotées et polyphénoliques (tanins), nuiraient à la flaveur, par excès d'amertume, et à la stabilité colloïdale.

Pour avoir un bon rendement de brassage, le touraillage doit respecter au maximum le potentiel diastasique. Pour cela, l'augmentation de température doit être très progressive. Cet impératif détermine les deux phases du touraillage.

#### *α) La phase de dessiccation*

Cette étape de pré-séchage ou fanage dure de 12 à 24 heures. Pendant cette phase, les réactions enzymatiques se poursuivent. La température est progressivement amenée à 50 °C et

le taux d'humidité abaissé à 10 %. Cette phase du touraillage est indispensable à la qualité du malt car une hausse trop brutale de température dans un milieu trop humide induirait un phénomène de glaçage de l'amidon et diminuerait le potentiel enzymatique.

*β) La phase de chauffage ou « Coup de feu »*

Le malt pré-séché peut être exposé sans risque à des températures supérieures (60 à 70 °C) pendant 5 à 10 heures. Puis on pousse la température à 85 – 90 °C pendant 3 à 4 heures. Le taux d'humidité est alors abaissé à 4 % (voire 1,5 % pour certains malts foncés britanniques). L'activité enzymatique a alors cessé. Il ne se produit plus que des réactions physico-chimiques entre les composants du malt :

- Coagulation de matières azotées par effet thermique : ce phénomène sera toutefois plus important lors de l'ébullition du moût.
- Formation de nitrosamines, principalement du nitroso-diméthylamine (NDMA), principal agent cancérigène du malt. Un touraillage par chauffage indirect permet de limiter sa formation.
- Formation de diméthylsulfure (DMS) par dégradation thermique de la S-méthylméthionine ou vitamine U synthétisée pendant la germination.
- Formation de composés colorés, aromatiques et réducteurs de la « réaction de Maillard ». cette réaction de brunissement résulte de la condensation du groupement aminé d'une protéine, d'un polypeptide ou d'un acide aminé avec le groupement carbonyle d'un sucre réducteur, cétone ou aldéhyde. Cette réaction est favorisée par une humidité et une température élevées. Par ailleurs, la réaction de Maillard regroupe, outre la réaction initiale d'amidification, toute une série de réactions de transpositions, d'énolisations, de déshydratations et de scissions, aboutissant à la formation de pigments bruns réducteurs, produits ultimes de la réaction de Maillard : les mélanoidines. Ces pigments, en fixant l'oxygène présent dans la bière, permettent de limiter la formation de troubles colloïdaux et donc d'améliorer la stabilité de la bière. C'est pourquoi les bières brunes ont une

meilleure stabilité colloïdale que les bières pâles. La réaction de Maillard conduit également à la formation d'autres familles de composés : pyrroles, pyrazines, thiazoles, pyridines, furannes, présents en quantités d'autant plus élevées que le malt est coloré.

- Réaction de caramélisation des sucres qui participe également à la coloration du malt.

#### e- Influence des étapes du maltage

Les malts diffèrent selon la nature de l'orge employée mais ils doivent principalement leurs caractéristiques à la conduite du maltage. Ainsi, par rapport à un malt pâle, un malt foncé sera obtenu à partir d'une orge plus riche en protéines qui subira un trempage poussé, une germination plus longue et à température plus élevée (23 à 24 °C contre 16 à 18 °C), ce qui favorise la formation des sucres et des acides aminés.

Le touraillage sera également plus long (48 heures au lieu de 24 heures habituellement), le grain sera étalé en couches plus épaisses sur les plateaux de la touraille, l'air du séchage sera recyclé afin de maintenir un taux d'humidité élevé (20 à 25 %). Le coup de feu sera, lui aussi, plus intense (105 °C au lieu de 85 °C). En revanche, le taux d'humidité final sera plus faible (1 à 2 % seulement pour les malts foncés). Ainsi conduit, le maltage aura permis de favoriser la formation des composés de la « réaction de Maillard ».

Les brasseurs disposent d'une gamme de malts aux caractéristiques propres, leur variété permettant d'affiner, de moduler la flaveur et la couleur de la bière finie. La plupart des bières de qualité voient plusieurs malts entrer dans leur élaboration.

## IV- LE BRASSAGE

---

Le mot « brassage » peut désigner deux choses. On l'utilise d'abord pour nommer la période spécifique débutant avec la saccharification et se terminant avec le conditionnement. Par extension, le terme « brassage » désigne également l'ensemble du processus de fabrication de la bière. C'est de la première définition dont il sera question dans cette section.

Le brassage regroupe les différentes opérations qui permettent d'obtenir, à partir de matières premières (eau, malt, houblon et d'autres matières amylacées le cas échéant), un jus sucré, aromatique, stérile et clair, apte à subir une fermentation éthanolique : le moût de bière.

Le brassage correspond à une extraction par l'eau des composés solubles du malt. Cette dissolution résulte pour 10 à 15 % de simples phénomènes physiques et pour 85 à 90 % de l'action des enzymes du malt dont l'activité a été stoppée lors du touraillage et est relancée à une cinétique bien supérieure par des conditions d'humidité et de température optimales. La dégradation de l'amidon se produit à 10 % lors du maltage et à 90 % au cours du brassage. A l'inverse, seuls 30 % de l'activité protéolytique s'exercent lors du brassage, 70 % de l'activité s'étant déjà exercés lors du maltage. Cette extraction peut être quantifiée en calculant le rendement de brassage.

Le terme « brassage » désigne la série d'opérations suivante :

- le concassage du malt (ou mouture),
- l'empâtage de la mouture : obtention de la maïsche,
- le brassage, au cours duquel la maïsche subit un traitement thermique,
- la filtration de la maïsche,
- la cuisson et le houblonnage du moût,
- la clarification et le refroidissement du moût avant fermentation

## **1. Le concassage**

Le concassage est une étape délicate ayant pour but d'augmenter la surface de contact entre le malt et l'eau lors du brassage, permettant une solubilisation optimale du malt et une meilleure activité des enzymes. Le produit obtenu est la mouture de malt. Il va de soi que plus le concassage du malt est poussé, meilleure sera l'extraction. Mais, si la filtration ultérieure se fait en cuve, les nécessités du soutirage vont imposer une limite à la finesse de la mouture. En effet, avec une mouture trop fine, la filtration se fait mal, les eaux de lavage pénètrent imparfaitement la masse et l'épuisement n'est pas complet. Il faudra donc éviter de déchirer les enveloppes pailleuses du malt tandis que l'amande sera réduite en fine farine. Ceci ne pourra s'obtenir qu'avec un malt bien désagrégé, bien calibré et surtout bien sec.

Le concassage satisfera donc à trois exigences :

- la mouture ne doit pas être trop fine : une proportion importante de particules de taille inférieure à 120  $\mu\text{m}$  (fine farine) pourrait entraîner un colmatage des filtres,
- une mouture trop épaisse serait à l'inverse néfaste au rendement de brassage, la surface de contact avec l'eau étant trop réduite,
- l'intégrité des enveloppes pailleuses doit être préservée pour une bonne filtration de la maïsche.

La granulométrie de la mouture est exprimée par la proportion en kilogrammes par hectolitre de ses fractions de fine farine, farine, fins gruaux, gros gruaux et écorces. Une mouture de qualité doit donc présenter des enveloppes entières, de nombreux grains fins (0,25 à 0,55 mm) mais peu de fine farine et peu de gros gruaux (> 1 mm).

Le malt est le plus souvent concassé dans un concasseur à cylindres qui surmonte une trémie à farine. Le malt passe au travers de deux cylindres tournant en sens inverse et dont l'écartement détermine le degré d'écrasement du malt. Ces concasseurs peuvent être munis d'une à trois paires de cylindres. Ils sont équipés de jeux de tamis qui permettent un tri de la mouture, où seuls les gros gruaux sont orientés vers un nouveau concassage, la fine farine et

les enveloppes étant séparées. Ce type de concasseur permet d'obtenir une granulométrie idéale de la mouture.

Il existe en outre une méthode dite de « mouture humide » qui consiste à un trempage préalable du malt afin d'élever son taux d'humidité à 30 % et ainsi augmenter l'élasticité de ses enveloppes, les rendant moins vulnérables au concassage.

## **2. Le brassage**

L'étape de brassage à proprement parler correspond à une extraction des composés solubles du malt par l'eau. Une quantité très précise de malt est versée dans une eau à 40 ou 50 °C. Le mélange obtenu est appelé « maïsche » ou bien « brassin ». Ce brassin sera porté à différentes températures, pendant des périodes déterminées, tout en restant en permanence sous agitation. Le brasseur dispose donc de 4 paramètres pour modifier la composition et la qualité du moût : le pH, la dilution du milieu, la durée et le degré d'élévation des paliers de température.

### a- Principes théoriques du brassage

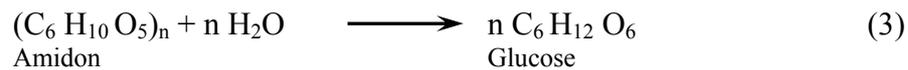
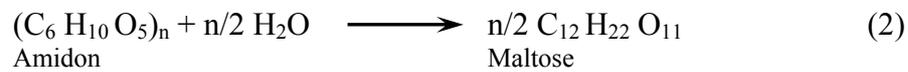
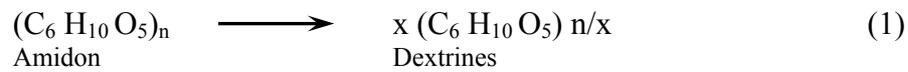
#### *α) La dégradation de l'amidon*

L'amidon peut être dégradé selon trois types de traitements :

- un traitement hydro-thermique (empesage)
- un traitement chimique (hydrolyse acide)
- un traitement enzymatique (dextrinisation et saccharification).

Le brassage associe traitement hydro-thermique et traitement enzymatique.

La dégradation de l'amidon aboutit principalement à la formation de maltose, de glucose et de dextrines, suivant 3 types de réactions que l'on peut schématiser ainsi :



Ce sont presque exclusivement les réactions (1) et (2) qui se déroulent au cours du brassage, sous l'action des amylases.

De nombreuses études faites sur ces transformations de l'amidon ont permis de constater que :

- L'attaque de l'amidon naturel par les amylases est très lente,
- Au contraire, après empesage (traitement de l'amidon par l'eau chaude), l'amidon se saccharifie rapidement,
- Les amylases provoquent la liquéfaction de l'empois, puis sa saccharification (dégradation en dextrines puis en maltose).

De ces constatations, on peut tout naturellement mettre en évidence 3 étapes lors de la saccharification de l'amidon :

#### ❖ L'empesage ou gélatinisation

L'empesage, ou formation d'empois, est une transformation physico-chimique des grains d'amidon, qui en milieu aqueux et à des températures supérieures à 55 – 60 °C, perdent leur structure cristalline et gonflent.

Dans le grain d'amidon, les chaînes d'amylose et d'amylopectine sont disposées en couches concentriques qui forment alternativement des zones cristallines et des zones amorphes. Les zones cristallines qui représentent 25 à 40 % de l'ensemble, doivent leur structure à l'intensité et au nombre élevé de liaisons de type hydrogène entre les chaînes. A l'inverse, il y a peu

d'interactions de ce type dans les zones amorphes. Les liaisons hydrogènes étant thermolabiles, une élévation suffisante de la température va les rompre, désagrégeant ainsi la structure cristalline. Notons qu'une même chaîne pouvant être impliquée à la fois dans une zone cristalline et dans une zone amorphe, la structure globale de l'amidon se trouve donc être semi-cristalline.

La température de gélatinisation de l'amidon dépend d'une part de la structure de l'amidon du grain choisi : en effet, cette température augmente d'autant plus que la proportion de zones cristallines est importante, car le nombre de liaisons hydrogène à rompre est plus élevé. D'autre part, dans l'amande du grain, l'amidon est réparti en petits et gros granules qui n'ont pas la même température de gélatinisation. Ainsi, les gros granules de l'orge (15 à 40  $\mu\text{m}$ ), représentant 90 % de la masse d'amidon, s'empèsent entre 57 et 59 °C, alors que les petits granules (1 à 6  $\mu\text{m}$ ) s'empèsent entre 59 et 65 °C. C'est pourquoi, chaque céréale ayant un amidon de structure spécifique et une répartition propre entre gros et petits granules, elle possède donc une température d'empesage spécifique, comme le montre le tableau II ci-dessous.

**Tableau II : Températures d'empesage de différentes céréales**

<b>Céréale</b>	<b>Température d'empesage</b>
Orge	57 – 65 °c
Maïs	62 – 80 °C
Riz	61 – 78 °C
Sorgho	68 – 75 °C
Millet	67 – 77 °C
Seigle	55 – 70 °C
Blé	58 – 64 °C

A la lecture de ce tableau, on note que la température d'empesage de l'amidon de l'orge figure parmi les moins élevées.

Lors du traitement hydro-thermique, le grain d'amidon, tout en se gorgeant d'eau, voit ses chaînes de polymères se solubiliser (l'amylose d'abord, puis l'amylopectine). Il y a alors

augmentation de la viscosité du milieu. A 100 °C, la dispersion colloïdale de l'amidon est totale. Une fois l'amidon gélatinisé, l'action des  $\alpha$ -amylases peut se dérouler pleinement.

#### ❖ La dextrinisation ou liquéfaction

En fractionnant les chaînes d'amylopectine et d'amylose, l' $\alpha$ -amylase abaisse la viscosité du milieu, c'est pourquoi on l'appelle aussi enzyme liquéfiante. C'est principalement la réduction de la taille des ramifications de l'amylopectine qui diminue la viscosité de la maïsche. Les fractions obtenues sont des malto-dextrines linéaires (issues de l'amylose) et ramifiées (issues de l'amylopectine). Les malto-dextrines sont des oligosides comportant de 4 à plus de 10 résidus glucose. L' $\alpha$ -amylase libère également une petite quantité de glucose, de maltose, de maltotriose et de saccharose.

L' $\alpha$ -amylase a une activité maximale entre 70 et 75 °C pour un pH pouvant varier entre 5,3 et 5,8. Elle est inactivée à partir de 75 – 80 °C. Son activité est favorisée par un milieu dilué.

#### ❖ La saccharification

Elle correspond à l'apparition d'une saveur sucrée au sein du moût. La saccharification fait suite à la dextrinisation. Ce phénomène résulte de l'action des  $\beta$ -amylases (ou enzymes saccharifiantes) qui hydrolysent les chaînes d'amidon à partir de leur extrémité non réductrice en libérant ainsi du maltose en grande quantité, mais aussi du glucose, du maltotriose et des dextrines limites. Les dextrines limites sont des oligosides non attaquables par les amylases car essentiellement composées de dextrines ramifiées (liaisons  $\alpha$ -1,6) aux branches très courtes (1 à 2 résidus glucose), que seules les dextrinases peuvent hydrolyser.

Pour un bon rendement de brassage, le moût ne doit plus contenir d'amidon, ni de dextrines de haut poids moléculaire. Leur présence occasionnerait par ailleurs la formation de troubles dans la bière. Les dextrines ne sont pas fermentescibles et se retrouveront donc dans la bière finie où elles représentent la quasi totalité des composants glucidiques.

La saccharification est contrôlée par la réaction à l'iode : un prélèvement de moût additionné d'iode ne doit pas se colorer : on dit qu'il doit être « normal » à l'iode. Une coloration rouge indique la présence de dextrans complexes issues de l'amylopectine et appelées pour cette raison « erythro-dextrans ». Une coloration bleue indique la présence de dextrans linéaires issues d'amylose insuffisamment fractionnée.

La  $\beta$ -amylase présente un maximum d'activité entre 63 et 65 °C pour un pH pouvant varier de 5,2 à 5,6. Elle est inactivée à partir de 68 – 70 °C. Comme les  $\alpha$ -amylases, les  $\beta$ -amylases sont d'autant plus actives que le milieu est dilué. Quant à la dextrinase limite, ou enzyme débranchante, qui hydrolyse les dextrans limites ramifiées en oligosides linéaires et sucres simples, sa température d'activité maximale se situe entre 55 et 60 °C pour un pH de 5 à 5,5. Elle est inactivée à partir de 65 °C

### *$\beta$ ) La dégradation des protéines*

L'activité protéolytique s'est effectuée en majeure partie lors du maltage. Les dipeptidases et les aminopeptidases sont inactivées par les conditions de pH (trop bas) et de température (trop haute) du brassage. Le pH de la maïsche en début de brassage est de 5,6 à 5,8. Il baissera par la suite. Le premier pallier de température (50 °C pendant 30 à 60 mn) permet l'expression des carboxypeptidases et des endopeptidases (ou protéases) : Lors du maltage, les protéases ont fragmenté les protéines en peptides, substrat des carboxypeptidases (température optimale de 50 °C à un pH de 4,8 à 5,6 et inactivation à partir de 70 °C) qui libèrent les acides aminés nécessaires à la levure. Si la préparation de ce substrat n'a pas été réalisée lors du maltage, le brassage ne permettra pas d'obtenir une quantité d'azote suffisante à la multiplication des levures. Pour les mêmes raisons, les grains crus ne fournissent pas d'azote aminé libre.

L'activité protéolytique du début de brassage peut être favorisée par un milieu concentré (maïsche obtenue par un rapport malt/eau élevé), ainsi que par un pH abaissé de quelques dixièmes d'unité. Une protéolyse trop poussée au cours du maltage puis du brassage nuit à la stabilité de la mousse par dégradation de certains composés protéiques. En revanche, si la protéolyse est trop faible, le moût sera pauvre en azote soluble (acides aminés et

oligopeptides) ce qui posera des problèmes de fermentation (multiplication insuffisante des levures). La teneur en acides aminés du moût doit varier entre 100 et 240 mg/L.

### *χ) Utilisation d'enzymes exogènes*

Des enzymes autres que celles naturellement présentes dans le malt peuvent être utilisées en brasserie. Elles peuvent permettre de palier à un déficit du malt, mais servent principalement au brassage des grains crus, en raison de leur thermostabilité. Les enzymes disponibles sur le marché sont d'origine fongique ou bactérienne :

- Les  $\alpha$ -amylases : ce sont les plus utilisées. Leur thermostabilité permet un brassage de grains crus à température élevée (celle de l'empesage de l'amidon concerné). Ainsi, l' $\alpha$ -amylase de *Bacillus subtilis* n'est inactivée qu'à 80 °C. Celle de *Bacillus licheniformis* a une activité liquéfiante jusqu'à 90 °C. Leur emploi est autorisé depuis 1983.
- Les  $\beta$ -amylases : elles sont peu utilisées car trop coûteuses.
- Les  $\beta$ -glucanases : elles sont issues de *Bacillus licheniformis* ou de *Penicillium emersonii*. Elles hydrolysent les  $\beta$ -glucanes de la maïsche, diminuant sa viscosité et permettant ainsi de réduire la durée de la filtration. Elle ne sont pas autorisées en France.
- Les protéases : elles sont issues de *Bacillus subtilis* ou d'*Aspergillus oryzae*. Elles permettent d'augmenter la teneur du moût en azote assimilable par la levure. Elles sont autorisées en France depuis 1983.
- Les amyloglycosidases : ces enzymes fongiques (*Aspergillus oryzae* ou *Aspergillus niger*) hydrolysent les dextrines du moût. Ces dextrines non fermentescibles se retrouvent dans la bière finie. Leur utilisation est limitée à la fabrication de bières dites diététiques (*Light beer*) qui ne contiennent que très peu de glucides.

### *δ) Autres transformations du brassage*

Les phosphates organiques du malt sont dégradés par les phosphatases en acide phosphorique qui forme des phosphates primaires. Le pH de la maïsche est abaissé. Les phosphatases sont inactivées à 60 °C. Le moût contient environ 500 mg/L de phosphates.

Lipases et lipo-oxygénases agissent à 50 °C puis sont inactivées à 70 °C. Elles sont responsables de la complexité du profil lipidique du moût.

Pendant le brassage, les polyphénols du malt subissent des réactions d'oxydation, de polymérisation - dépolymérisation et forment des précipités avec les protéines.

Les éléments minéraux du malt sont en grande partie dissous dans le moût. Ils contribueront à la fois à la flaveur de la bière et au bon développement de la levure.

Lors du brassage, le moût s'oxyde en dissolvant jusqu'à 20 mg/L d'oxygène.

### **b- Les techniques du brassage**

Le brassage débute par l'empâtage qui consiste à mélanger la mouture à l'eau de brassage dans un hydrateur. De l'hydrateur, le mélange est déversé dans la cuve-matière, chauffée à la vapeur par double paroi et dont le fond est muni d'un agitateur pour mélanger la masse. La pâte jaunâtre obtenue s'appelle la maïsche. Les proportions du mélange et la température varient avec les techniques. L'eau est additionnée en une ou plusieurs fois : une maïsche concentrée en début de brassage favorise la protéolyse alors que l'amylolyse se réalise mieux en milieu dilué.

Pour cent kilos de malt, ce sont environ 300 à 400 litres d'eau qui seront utilisés, le versement variant avec le type de bière voulu. Le brasseur mélange généralement plusieurs malts afin d'atténuer l'éventuel défaut d'un malt, un déficit enzymatique par exemple. L'association de

différents malts, tout comme l'association de plusieurs houblons, est par ailleurs très favorable à la flaveur de la bière.

Le brasseur va ensuite exploiter les activités enzymatiques en portant la maïsche à différents paliers de température :

- la protéolyse est optimisée à une température de 50 °C maintenue pendant au moins 30 minutes
- Un palier d'au moins 30 minutes à une température de 62 – 63 °C permet une saccharification optimale, mais autorise aussi en parallèle l'activité  $\alpha$ -amylasique (dextrinisation).
- Le dernier palier, 75 °C maintenus pendant au moins 30 minutes, permet une dextrinisation optimale. Les  $\beta$ -amylases étant inactivées dès 68 – 70 °C, ce palier n'autorise pas la formation de maltose.

Le brasseur, en augmentant la durée du second palier, favorise la formation de maltose. Le moût obtenu sera riche en sucre fermentescible mais pauvre en dextrans non fermentescibles. Après fermentation, la bière sera donc riche en alcool mais manquera de corps. A l'inverse, en favorisant le troisième palier au détriment du second, le brasseur obtiendra une bière de bonne texture mais moins alcoolisée.

Durant tout le brassage, la maïsche doit être remuée pour homogénéiser sa température, éviter la prise en masse sur les surfaces de chauffe (phénomène d'encollage), ainsi que pour accélérer la solubilisation des composés du malt et la dispersion de l'amidon. Autrefois, le brasseur se servait de pelles évidées : les fourquets, aujourd'hui remplacés par des agitateurs hélicoïdaux mécaniques.

Le mode de traitement thermique de la maïsche détermine deux grands types de brassage : le brassage par infusion, où à aucun moment la température ne dépasse 75 °C, et le brassage par décoction, où une partie du brassin est soumis à l'ébullition. Le brassage mixte ou brassage à une seule trempe est un panachage des deux procédés.

#### *α) Le brassage par infusion*

Le brassage par infusion est un procédé classique de brassage, souvent réservé aux bières de fermentation haute. On le retrouve souvent dans les brasseries artisanales du Royaume-Uni, du nord de la France et de la Belgique.

Cette méthode ne fait intervenir qu'un seul vaisseau : la cuve-matière. Celle-ci peut-être en tôle galvanisée, en fonte et même en bois dans certaines brasseries artisanales, mais elle est le plus souvent en cuivre, car c'est un très bon conducteur de chaleur. Autrefois ouvertes pour que les ouvriers brasseurs puissent y remuer la pâte avec leurs fourquets, les cuves-matière sont aujourd'hui fermées, en forme de coupole surmontée d'une cheminée, munies de mélangeurs et d'un faux fond en tôle perforée servant à la fois à l'arrivée d'eau et à la filtration. La cuve-matière peut également être munie d'un système de chauffage.

Il existe deux principales méthodes d'infusion de la bière : l'infusion simple et l'infusion à paliers. La première est typiquement britannique tandis que la deuxième est plutôt franco-belge. Aucune ébullition n'intervient dans ce processus.

Le système d'infusion simple ne fait pas intervenir de paliers de température. Celle-ci restant constante pendant tout le brassage (68 °C), cette technique fait travailler les enzymes dans des conditions difficiles et nécessite l'emploi de malts très désagrégés à fort potentiel enzymatique. L'opération de mélange se déroule au moment où les deux matières premières sont versées dans la cuve-matière. L'empois repose alors dans la cuve, sans être remué, jusqu'à ce que la dégradation souhaitée de l'amidon ait lieu.

Le système d'infusion à paliers fait appel à différents niveaux de température appliqués à la maïsche, comme le montre le diagramme de brassage présenté en Figure 12. La cuve-matière comporte alors des éléments chauffants permettant d'augmenter la température de la maïsche.

Le premier palier de température correspond habituellement à la pause protéolytique, puis la température est accrue en fonction des actions souhaitées des différentes enzymes. En règle générale, la maïsche est continuellement remuée pendant la durée de l'infusion par un système de mélangeurs à hélices installés au fond de la cuve-matière.

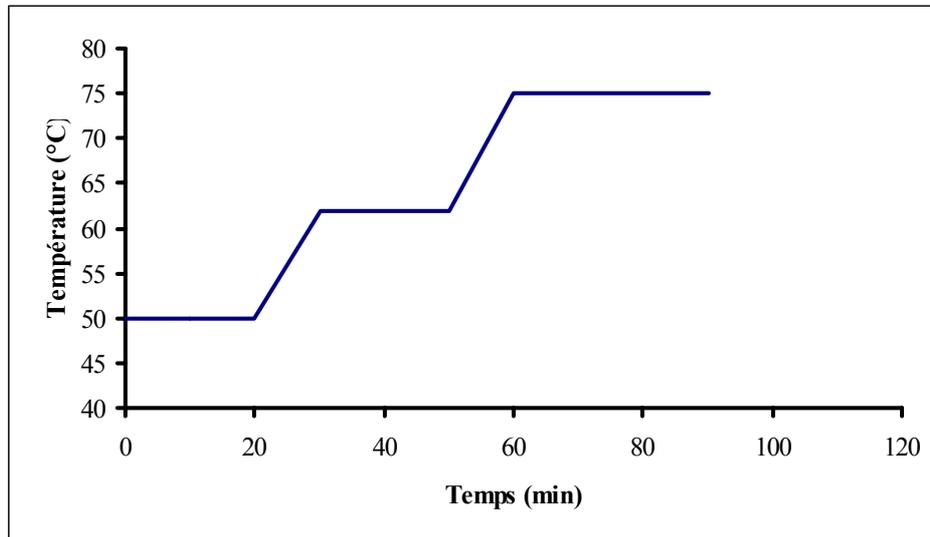


Figure 12 : Diagramme de brassage par infusion à paliers

### *β) Le brassage par décoction*

La décoction fait appel à deux vaisseaux : la cuve-matière et la chaudière à trempe. Une partie du brassin (la trempe), un tiers généralement, est prélevée dans la cuve-matière par pompage et dirigée vers la chaudière à trempe. La trempe est soumise aux paliers classiques (62 °C puis 75 °C) avant d'être portée à ébullition pendant environ 30 minutes. Le retour de la trempe dans la cuve-matière permet à la maïsche d'atteindre le palier de température suivant. Le volume de la trempe doit donc être calculé précisément. C'est la méthode de brassage classique des bières de fermentation basse. Elle est presque toujours utilisée en Europe centrale.

#### - Méthode à une trempe (Figure 13) :

C'est un brassage mixte faisant intervenir l'infusion et la décoction. Le palier de 62 – 63 °C est atteint par chauffage ou par addition d'eau bouillante en cuve-matière. Le retour de la trempe permet d'accéder au palier de 75 °C.

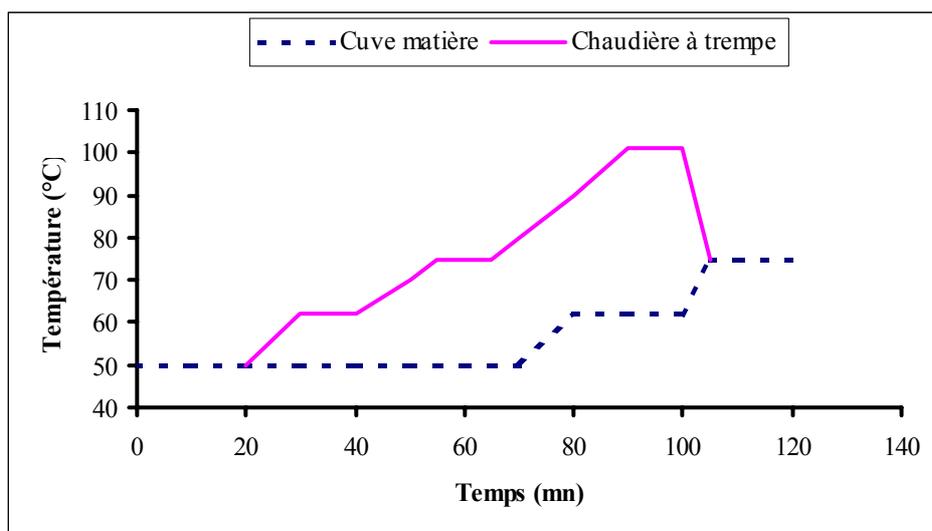


Figure 13 : Diagramme de brassage par décoction à une trempes

- Méthode à deux trempes (Figure 14) :

Cette méthode est surtout utilisée pour les bières blondes. La première trempes permet d'atteindre le palier de saccharification, la seconde celui de dextrinisation. Les deux tiers environ de la maïsche auront été portés à ébullition.

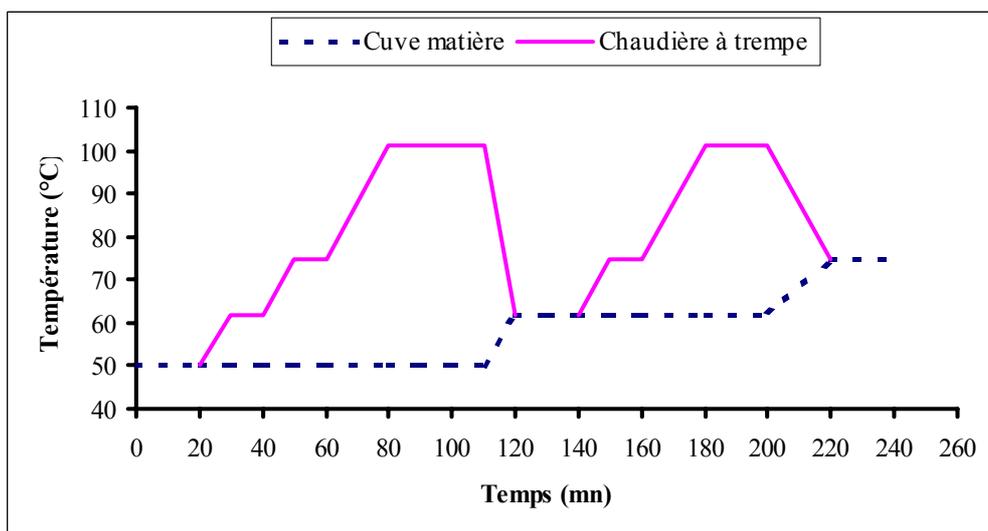


Figure 14 : Diagramme de brassage par décoction à deux trempes

- Méthode à trois trempes (Figure 15) :

L'empâtage se fait à plus basse température (35 à 40 °C au lieu de 50 °C pour les autres méthodes). La première trempa est portée à 50 °C (protéolyse), puis au paliers de l'amylolyse et à ébullition. Son retour amène la maïsche à 50 °C, palier de la protéolyse. Les deux autres trempes permettront d'atteindre les paliers de saccharification puis de dextrinisation dans la cuve-matière. Lors de l'ébullition, la trempa se colore et s'aromatise. C'est pourquoi cette méthode est appliquée à la fabrication des bières brunes.

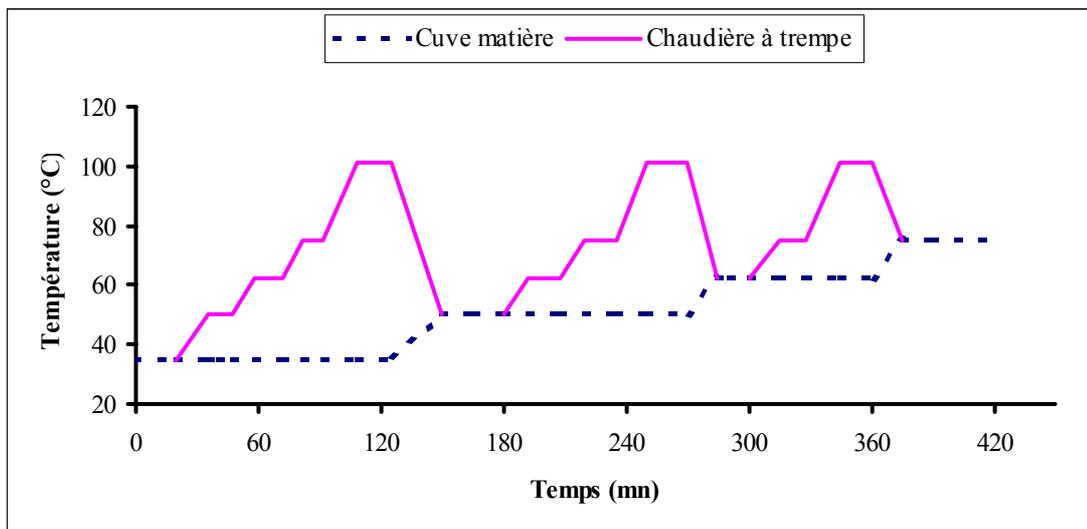


Figure 15 : Diagramme de brassage par infusion à trois trempes

Le brassage par décoction permet l'emploi des grains crus. A 101 °C, la totalité de leur amidon est empesé. Les grains crus sont empâtés à part, mélangés à environ 20 % de malt qui apporte les enzymes. Dans la chaudière à trempa, le mélange est soumis aux paliers classiques puis porté à ébullition pendant 30 minutes. L'amidon des grains est alors totalement disloqué. Cette trempa est ensuite pompée vers la cuve-matière. Dans le cas de l'utilisation de grains crus, on parle de double brassage. La thermostabilité des enzymes exogènes permet d'obtenir davantage d'extraits fermentescibles en chaudière à trempa.

Le brassage sera terminé quand il ne restera plus d'amidon ou de dextrans complexes dans la maïsche, c'est-à-dire lorsque le moût sera « normal » à l'iode. La durée totale d'un cycle de brassage est de 2 heures 30 à 3 heures.

### 3.

## **Filtration de la m<sup>a</sup>ische**

Après saccharification, on retrouve deux types de produits dans la cuve :

- un liquide qui contient toutes les mati<sup>è</sup>res dissoutes et que l'on appelle le moût,
- une masse p<sup>â</sup>teuse essentiellement constituée par les enveloppes du malt et que l'on appelle la drêche.

La filtration permet de s<sup>é</sup>parer ces deux produits et s'op<sup>è</sup>re en deux phases :

- le soutirage du moût,
- le lavage et l'<sup>é</sup>puisement de la drêche afin d'en extraire le moût dont elle est encore imprégnée : celle-ci retient en effet 80 % de son poids de moût.

Traditionnellement, la filtration s'effectue dans la cuve-mati<sup>è</sup>re. Les écorces du grain, en se déposant sur le faux fond perforé, forment une masse filtrante naturelle à travers laquelle le moût peut s'écouler. Le jus sucré filtré doit être le plus clair possible : si en effet le moût était troublé par des substances mal dissoutes, la bière risquerait ensuite de se clarifier beaucoup plus difficilement. C'est pourquoi le premier liquide obtenu, souvent trouble, est reversé sur la couche filtrante.

La filtration est une étape lente, qui peut être encore plus lente si l'intégrité des enveloppes pailleuses n'a pas été respectée. Si les enveloppes ont été réduites en poudre, la filtration est impossible. Par refroidissement, la viscosité du moût et de la drêche augmente fortement. Il est donc nécessaire de filtrer à une eau aussi chaude que possible car plus l'eau est chaude, plus l'extraction du sucre est aisée. C'est à 75 °C que la filtration est la plus rapide. A des températures supérieures à 77 °C, des mati<sup>è</sup>res indésirables (mati<sup>è</sup>res grasses et polyphénols) sont extraites des drêches. L'utilisation de malts pauvres en  $\beta$ -glucanes facilite cette étape.

A la fin de la filtration, le moût primitif est pompé vers la chaudière à ébullition. Le résultat de la filtration est le premier bouillon dont la densité est élevée (16 à 24 % Plato). Toutefois, à ce stade, les drêches contiennent encore de l'extrait fermentescible. Celui-ci sera entraîné par des lavages successifs. Les eaux de lavage des drêches seront rajoutées au premier bouillon.

Leur quantité permettra d'ajuster la densité du moût primitif. Les dernières eaux de lavage de densité inférieure à 1 % Plato seront utilisées pour empâter le brassin suivant. Les drêches, quant à elles, sont recyclées dans l'alimentation du bétail, en particulier des vaches laitières.

Des systèmes de filtration plus performants ont été mis au point. On dispose aujourd'hui de la cuve-filtre qui reprend le principe de la filtration en cuve-matière mais en l'optimisant. Cette cuve cylindrique, en cuivre ou en acier inoxydable, possède un faux fond perforé et est isolée sur toutes ses faces et au fond. La cuve-filtre est équipée d'un piocheur de drêche tournant à vitesse très lente pour faciliter le lavage de la drêche. Les palettes du piocheur s'enfonçant progressivement dans la drêche, il n'y a pas de remuage et la couche filtrante reste intacte. Ce piocheur sert aussi à pousser la drêche vers l'ouverture d'évacuation, en modifiant la position des palettes. La cuve-filtre est également équipée d'une batterie de robinets fixés à une tuyauterie qui débouche à des endroits spécifiques sous le faux fond de la cuve. Les robinets en forme de col de cygne préviennent la formation de coussins d'air sous le faux fond qui ralentiraient la filtration. Le débit du soutirage est ajusté, en manipulant les robinets, afin d'être uniforme. Le moût est recueilli dans le reverdoir muni de deux ouvertures d'évacuation. La première ouverture dirige le premier moût vers la cuve afin d'être à nouveau filtré. La deuxième ouverture dirige le moût clair vers la chaudière.

Certains brasseurs disposent également du filtre à moût, construit de manière analogue aux filtres-presses industriels. Il est formé de cadres creux où l'on place la drêche. Ces cadres sont disposés alternativement avec des plateaux à rainures ou de simples treillis métalliques soutenant des toiles aux travers desquels s'écoule le moût. Le temps de filtration et de lavage est moins important qu'avec la cuve-filtre.

#### 4.

## Cuisson et houblonnage du moût

Le moût obtenu doit maintenant être stérilisé et aromatisé. L'opération comporte une ébullition minimale d'une heure (en général, 1 heure ½ à 2 heures). Cette ébullition favorise la floculation des matières solides que le moût renferme (trouble à chaud). Pendant cette cuisson, le brasseur ajoute, à différentes étapes, les houblons et, le cas échéant, les épices.

Comme les autres vaisseaux de la salle de brassage, la chaudière à houblonner ou chaudière d'ébullition est en cuivre ou en acier inoxydable, munie de doubles parois et chauffée à 101 °C par la vapeur ou par l'eau chaude, plus rarement par un feu nu (car peu efficace), fermée et sous pression de deux bars. Le chauffage à la vapeur est très populaire. Il consiste à faire circuler de la vapeur dans des serpentins ou une double paroi à l'intérieur de la cuve. Très efficace, cette méthode donne une agitation du moût très efficiente. La méthode à l'eau chaude est l'une des plus utilisées. Semblables aux systèmes à vapeur, les tuyaux assurant la circulation de l'eau sont habituellement disposés au fond de la cuve.

Le houblonnage varie grandement d'une brasserie à l'autre. Rares sont les brasseries qui utilisent moins de trois types différents. Chacun utilise ses houblons en fonction d'un dosage secret et les ajoute à des moments spécifiques dans le moût. Le premier houblonnage, qui vise à donner de l'amertume, se fait alors que le moût est en pleine ébullition (houblonnage à chaud) et dure habituellement de 30 minutes à 1 heure. Le houblon utilisé se présente en général sous forme de pellets. Les huiles essentielles du houblon étant détruites par la chaleur, une addition de houblon aromatique, cette fois sous forme de cônes le plus souvent, donnera à la bière l'arôme du houblon. Ce deuxième houblonnage s'effectue dans les dernières minutes alors que l'on a souvent arrêté l'ébullition. Certaines brasseries utilisent un percolateur dans lequel le moût passe au travers d'un réservoir de houblon au moment où il se dirige vers le refroidisseur. Le mot anglais désignant cet instrument, *Hop back* (le retour du houblon), fait allusion au geste d'infuser dans le moût les propriétés du houblon perdues pendant la longue ébullition. Certaines brasseries ajoutent, dans les dix dernières minutes de l'ébullition, de la mousse d'Irlande afin de favoriser la précipitation des matières solides dissoutes dans le moût.

Il s'agit en fait de protéines à haut poids moléculaire qui causent un voile opalescent dans la bière.

Un troisième houblonnage, dit houblonnage à froid ou houblonnage à cru, est parfois effectué à une étape ultérieure, pendant la fermentation ou même pendant la maturation de la bière. On ajoute alors du houblon dans la cuve de fermentation, la cuve de garde ou encore directement dans les fûts.

La quantité de houblon utilisée est variable : 180 à 250 g/hL pour une blonde courante, 400 à 500 g/hL pour une Pilsen et jusqu'à 700 g/hL pour une anglaise de type Pale Ale ou Stout.

L'ébullition du moût a plusieurs objectifs :

- Stérilisation du moût : aucun micro-organisme (levures, bactéries, moisissures) ne survit. A l'issue de l'ébullition, le moût est donc stérile. Toutes les opérations suivantes devront être réalisées dans des conditions d'asepsie, de manière à éviter toute contamination.
- Inactivation des enzymes : sans l'ébullition, la solubilisation des matières continuerait indéfiniment et l'on n'aurait plus aucun contrôle sur ces transformations.
- Concentration du moût par évaporation pour ajuster sa densité.
- Elimination des composés volatils nuisibles à la bière : la chaudière à houblonner se comporte comme une colonne à distiller. De très nombreux composés volatils ont été retrouvés dans les condensats de la chaudière : acides organiques, phénols, alcools, cétones, composés soufrés, composés volatils des matières amères du houblon, etc. L'élimination de ces composés nuisibles à la saveur de la bière est particulièrement importante en ce qui concerne les phénols, perceptibles à de très faibles concentrations, et le diméthylsulfure (DMS). La teneur en DMS est abaissée de 90 % lors de l'ébullition. Son seuil de perception dans la bière est de 35 à 40 µg/L.

- Formation de composés réducteurs de la réaction de Maillard : par une succession de réactions de scission et de déshydratation, il se forme des pigments bruns insolubles, les mélanoïdines. Cette réaction est également observée lors du touraillage et lors de l'ébullition des trempes (brassage par décoction).
- Le moût se colore également par caramélisation des sucres et oxydation des tanins. Lors de l'ébullition, le moût se charge de 60 mg d'oxygène par litre. Souvent, le brasseur ajoute du sucre en chaudière à houblonner pour colorer le moût.
- Coagulation des matières azotées : il faut les précipiter pour obtenir un moût brillant et éviter que celles-ci, insolubles dans la bière froide, ne la troublent. Les phénomènes physico-chimiques de la coagulation des protéines sont complexes. Il se produit de nombreuses interactions avec des polyphénols principalement, mais aussi avec des glucides et des lipides. Cette cassure est également appelée « tranché », gros trouble ou coagulum. Elle doit être franche et présenter des flocons bien individualisés et volumineux. Ceci conditionne la brillance et la transparence du moût. L'addition de carraghénanes, de bentonites ou de tanins favorise la formation du coagulum et permet d'obtenir une bonne clarification du moût.
- Extraction des matières amères du houblon : les acides  $\alpha$  du houblon se solubilisent dans le moût chaud et deviennent amers par isomérisation en acides iso- $\alpha$ . Le rendement de cette isomérisation est faible : 30 % environ. Seuls ces acides iso- $\alpha$  peuvent procurer l'amertume à la bière.
- Abaissement du pH qui passe en moyenne de 5,4 à 5,2.

En fin de cuisson, le moût est devenu plus clair et plus limpide. C'est un liquide aromatique jaune orangé et de saveur sucrée.

## 5.

## Le traitement du moût

Nous avons obtenu par le brassage un moût sucré et aromatisé, contenant les sucres fermentescibles, séparé de la partie solide, la drêche. Un moût de bière est un liquide très fragile et tentant pour la plupart des micro-organismes qui vivent en suspension dans l'air. Le brasseur doit procéder à la fermentation le plus rapidement possible après l'ébullition afin d'éviter toute contamination de ce liquide par des ferments exogènes. Le traitement du moût en fin d'ébullition a pour objectif d'obtenir un moût refroidi, toujours stérile, riche en oxygène et débarrassé du trouble à chaud et d'une partie du trouble à froid. Le moût ainsi traité pourra être ensemencé dans de bonnes conditions. Ce traitement va donc se dérouler en trois étapes successives :

- l'élimination du trouble
- le refroidissement du moût à la température requise pour la fermentation
  - 6 à 10 °C pour la fermentation basse
  - 14 à 20 °C pour la fermentation haute
- oxygénation du moût pour permettre la multiplication des levures et le démarrage de la fermentation

### a- Elimination du trouble

Le moût va présenter, selon la taille de ses particules, deux sortes de troubles :

- le trouble à chaud, ou gros trouble, est formé pendant l'ébullition. La dimension de ses particules varie entre 30 et 80  $\mu\text{m}$ . Un hectolitre de moût peut en contenir de 150 à 400 grammes. Ce trouble contient principalement des composés protéiques, des matières amères du houblon (résines), des polyphénols et des glucides.
- Le trouble à froid, ou trouble fin, ne se forme qu'au dessous de 70 °C. Ses particules sont plus petites : 0,5 à 1  $\mu\text{m}$ . Un hectolitre de moût n'en contient que 5 à 30 grammes. Il ne contient pas de matières amères du houblon mais il est plus riche en glucides que le trouble à chaud. Il a une plus grande incidence technologique que le trouble à chaud car il est plus difficile à éliminer et sera susceptible de nuire à la stabilité colloïdale de la bière.

La cassure était autrefois éliminée par simple décantation. Aujourd'hui, elle est éliminée par effet vortex. En fin d'ébullition, le moût est pompé de la chaudière à houblonner vers un bac tourbillonnaire appelé Whirlpool. Avant d'arriver dans le Whirlpool, le moût passe dans un filtre à houblon qui retient les drêches de houblon. Le Whirlpool est un récipient cylindrique à base conique en acier inoxydable. Le moût y est injecté tangentiellement à une vitesse élevée de l'ordre de 14 m/s, créant ainsi un effet tourbillonnaire. Par la force centripète, le moût tourne dans le Whirlpool et les particules en suspension se déposent dans le fond pour former un cône. Cette opération dure de 30 à 60 minutes. Le soutirage du moût s'effectue à un tiers du fond du Whirlpool pour éviter l'entraînement du trouble qui est éliminé par le bas.

Plusieurs brasseries procèdent alors à une filtration afin d'assurer l'élimination du trouble à chaud et du trouble à froid. Cette filtration s'effectue sur des filtres à toile, des filtres à tamis ou des filtres à Kieselguhr. Ces derniers donnent de meilleurs résultats car munis d'un adjuvant de filtration : la diatomite.

#### b- Refroidissement du moût

Avant d'êtreensemencé, le moût doit être refroidi car la levure de bière ne résiste pas à des températures supérieures à 40 °C. Autrefois, le moût refroidissait dans des cuves ouvertes, à température ambiante, mais ce procédé était long et source de contamination de la bière : c'est entre 20 et 40 °C que le risque de contamination est le plus élevé.

En 1856 fut inventé le réfrigérant type « Baudelot » qui permettait une diminution rapide de la température. Ce système, bien qu'étant ouvert, permettait de réduire les risques de contamination. Il est constitué par l'accolement de tuyaux de cuivre dans lesquels circule une eau à environ 13 °C pour la fermentation haute ou une eau à 1 °C pour la fermentation basse. Le moût coulant sur cette paroi est refroidi et oxygéné. Ce système est encore utilisé dans quelques brasseries.

Aujourd'hui, les brasseries modernes disposent de réfrigérants fermés à plaques qui sont en fait des échangeurs de chaleur composés de plaques métalliques très minces, serrées les unes contre les autres, de manière à ce qu'il se forme un canal de circulation entre deux plaques voisines. Le moût se refroidit donc entre deux plaques à l'intérieur desquelles circule à contre courant de l'eau glacée ou glycolée ou de la saumure. L'échange thermique réalisé permet au brasseur de disposer d'eau chaude pour le brassage suivant.

### c- Aération du moût

Après ensemencement, la levure aura besoin d'oxygène pour se multiplier. Un moût bien oxygéné (4 à 12 mg/L) favorise la propagation de la levure. La fermentation éthanolique ne débutera qu'avec la raréfaction de l'oxygène (anaérobiose).

L'oxygénation s'opère sur le moût refroidi, à la sortie du réfrigérant par injection d'air comprimé stérile à travers des bougies poreuses en acier inoxydable. En effet, une oxygénation à chaud provoquerait des oxydations et l'apparition de faux goûts (goût d'ail en particulier). Des mesures et des contrôles s'effectuent en continu tout au long de l'opération afin d'assurer un taux uniforme d'aération. Le moût clarifié, refroidi et oxygéné est alors prêt à subir la fermentation.

## V- LEVURES ET FERMENTATIONS

---

*On a cru longtemps que la fermentation était un phénomène de décomposition et de putréfaction, un des prodromes de la mort. Il a fallu la venue de Pasteur pour apprendre qu'elle révélait, au contraire, le bouillonnement d'une vie tumultueuse. De produits hasardeux et heureux d'une pourriture végétale, la bière devenait donc le magnifique ouvrage d'êtres vivants.*

Joris van Gheluwe

Le moût est maintenant prêt à être livré à l'appétit féroce des levures ! La fermentation est un processus complexe composé de deux axes complémentaires : le plus connu est sans aucun doute la dégradation des sucres du moût en gaz carbonique et en éthanol par l'action de la levure. La deuxième composante de la fermentation, tout aussi essentielle, consiste en l'alimentation de la levure elle-même, lui permettant de se multiplier. En effet, la levure ne consomme pas les sucres du moût. Elle se nourrit plutôt des acides aminés présents. A l'instar des êtres humains, chaque levure possède ses préférences alimentaires, ses forces, ses aptitudes et ses températures de confort. C'est pourquoi, en utilisant les mêmes matières premières et des techniques de brassage identiques, l'emploi d'une levure différente donne autant de bières originales.

### 1. Les levures de bière

La levure a été utilisée de façon empirique par l'homme pendant des millénaires pour la fabrication du pain et des boissons alcoolisées (hydromel, vin, cidre, bière, etc.). Cependant, le rôle exact des levures dans la fermentation alcoolique n'a été mis en évidence qu'au XIX<sup>ème</sup> siècle par les travaux de Pasteur (1866-1876). La plupart des levures utilisées appartiennent à l'espèce *Saccharomyces cerevisiae* (de *saccharo* : sucre et du grec  $\mu\upsilon\chi\eta\zeta$  : champignoñ

Les levures peuvent être définies comme des champignons unicellulaires se reproduisant par bourgeonnement ou par fission (Krieger Van Rij – 1984). La levure possède un noyau délimité par une membrane. C'est donc un organisme eucaryote, ce qui la distingue des bactéries, procaryotes. Comme les végétaux supérieurs, la levure possède une paroi, elle est donc immobile. Comme tous les champignons, la levure est incapable de photosynthèse.

#### a- Classification des levures

En 1970, le groupe des levures comptait 39 genres et 349 espèces. Modifié en 1984 (Krieger Van Rij), le groupe compte désormais 60 genres et 500 espèces. La taxonomie des levures fait appel à des caractères morphologiques, physiologiques et biochimiques. Cependant, les principaux critères de classification des espèces sont en relation avec la reproduction sexuée. Les levures forment un groupe très hétérogène puisqu'elles se répartissent en deux classes de champignons : les Ascomycètes et les Basidiomycètes.

Les levures appartenant à la classe des Ascomycètes se reproduisent selon un processus aboutissant à la formation d'un asque (spores internes). Celui-ci résulte de la transformation d'une cellule diploïde ayant subi la méiose. C'est dans cette classe que se trouve la famille des Saccharomycétacées qui renferme les deux principaux genres utilisés en agro-alimentaire : *Saccharomyces* (brasserie, vinification, distillerie et boulangerie) et *Kluyveromyces* (levure aliment). D'autres genres de cette famille sont des contaminants. La famille des Cryptococcacées renferme des levures fréquemment retrouvées dans les produits fermentés où elles sont responsables d'altérations. Certaines sont cependant intéressantes en brasserie.

Les levures appartenant à la classe des Basidiomycètes ont une reproduction sexuée avec formation de basidiospores sur une baside (spores externes). Peu de levures de cette classe ont un pouvoir fermentaire.

b- Morphologie et cytologie

*Saccharomyces cerevisiae* est de forme ovoïde. La taille normale est de 9  $\mu\text{m}$  de long sur 6  $\mu\text{m}$  de large, avec des variations physiologiques. La levure présente tous les organites classiques des végétaux supérieurs : paroi, membrane plasmique, noyau, mitochondries, appareil de Golgi, réticulum endoplasmique, vacuoles (Figure 16).

**Figure 16 : Structure cellulaire de *Saccharomyces cerevisiae***

La paroi cellulaire est rigide et donc responsable de la forme de la levure. Cette paroi peut être marquée par des bourgeons cicatriciels dus à la multiplication végétative par bourgeonnement. La membrane cytoplasmique, de nature lipo-protéique joue un rôle important dans le passage des molécules par diffusion passive, facilitée ou par transport actif. Le cytoplasme contient des mitochondries, siège de l'activité respiratoire. Elles dégénèrent en promitochondries lors de la fermentation. Les ribosomes sont le siège de la synthèse protéique. Ils sont libres ou fixés au réticulum endoplasmique. L'appareil de Golgi a un rôle de synthèse et de transport intracellulaire. Le cytoplasme contient également une ou plusieurs vacuoles et des vésicules. Le noyau renferme les chromosomes mais il contient également entre 50 et 100 exemplaires d'un mini-chromosome appelé plasmide 2 microns, de même constitution que les chromosomes d'ADN.

#### c- Reproduction des levures

La levure peut se reproduire selon deux modes :

- un mode végétatif asexué, c'est le bourgeonnement ou blastèse,
- un mode sexué : la sporulation.

Quand le brasseur parle de croissance de la levure, cela signifie augmentation de son nombre (et non de sa taille) et donc reproduction.

Le mode végétatif est le plus fréquent et c'est celui qui prédomine lors de la fermentation (Figure 17). La cellule mère va émettre un bourgeon qui possède le même matériel génétique qu'elle (haploïde ou diploïde), ainsi qu'une partie de son matériel cytoplasmique. Lorsque le bourgeon a atteint la taille de la cellule mère, une cloison se forme, sépare les deux cellules et laisse une cicatrice sur la paroi de la cellule mère. Une même levure peut donner plus de 40 cellules filles successivement. Les levures ne bourgeonnent que sur un milieu nutritif riche (le moût en est un). La levure y puise une grande quantité de composés hydrocarbonés. Les acides aminés du moût sont source d'azote facilement assimilable pour la levure. Le moût fournit également les principaux facteurs de croissance de la levure que sont les vitamines B1, B5, B6 et B9, ainsi que le mesoinositol. Dans des conditions optimales, une cellule mère peut générer une cellule fille en 2 heures.

### Figure 17 : Bourgeonnement d'une cellule de levure

Le processus sexué ne se réalise que dans un milieu ne permettant pas la croissance des levures. Contrairement au bourgeonnement, la reproduction sexuée permet un brassage génétique. Elle se réalise dans un milieu pauvre, lorsque deux cellules haploïdes de signes sexuels  $a$  et  $\alpha$  fusionnent. Il en résulte un zygote diploïde qui subit une méiose. Il se forme ainsi un asque contenant 4 spores haploïdes. Une fois libérées, les ascospores peuvent soit se multiplier par blastèse (et donc donner un clone haploïde), soit fusionner pour former des zygotes diploïdes de deux types :

- zygote « normal » car réunissant les deux types sexuels  $a$  et  $\alpha$  et qui pourra soit donner par blastèse un clone diploïde, soit subir à nouveau une méiose,
- zygote « anormal » de type  $aa$  ou  $\alpha\alpha$ , uniquement capable de blastèse et donnant ainsi des cellules diploïdes « anormales » (Figure 18).

En brasserie, la recombinaison génétique pendant la fermentation est indésirable car susceptible de modifier la stabilité de la souche. C'est pourquoi les levures de culture sont toujours haploïdes.

Zygote (diploïde)

Asque à 4 spores haploïdes

**Figure 18 : Reproduction sexuée d'une cellule de levure**

d- Principaux métabolismes

La levure tire son énergie de l'oxydation des substances organiques, ce qui lui permet de produire de l'adénosine triphosphate (ATP). L'essentiel des substances organiques du moût est représenté par les glucides. *Saccharomyces cerevisiae* possède deux types de catabolisme : elle est dite aérobie, anaérobie facultative. En l'absence d'oxygène, la levure dédouble le glucose en éthanol et dioxyde de carbone en libérant peu d'énergie : c'est le processus de fermentation. En présence d'oxygène, la levure consomme moins de sucre mais celui-ci est transformé en produits plus oxydés et, si l'oxydation est totale, il se forme du dioxyde de carbone et de l'eau. C'est le processus de respiration dont le bilan énergétique est supérieur.

### *α) Le métabolisme des glucides*

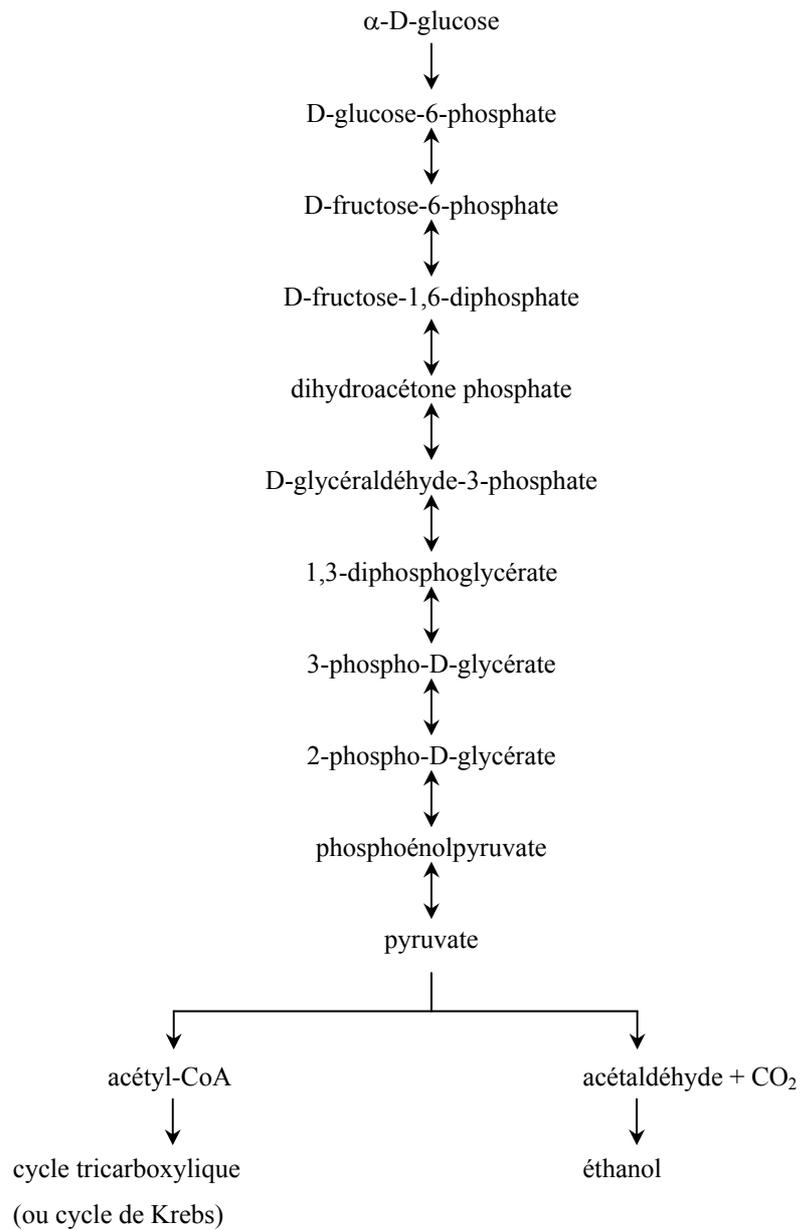
Les sucres du moût sont utilisés par la levure selon une séquence établie : glucose, fructose, saccharose, maltose puis maltotriose. Le glucose et le fructose pénètrent dans la levure par diffusion facilitée, le passage se faisant dans le sens d'un gradient de concentration mais également facilité par une protéine membranaire. Ils sont utilisés sous forme phosphorylée au niveau des différentes voies métaboliques, la glycolyse principalement. Le saccharose, un dissaccharide, est hydrolysé hors de la levure en glucose et fructose par une invertase extracellulaire. Le maltose et le maltotriose, respectivement dimère et trimère de glucose, pénètrent dans la levure grâce à une perméase. Il s'agit d'un système de transport actif qui peut se faire contre un gradient de concentration mais consommateur d'énergie. Une maltase intracellulaire les hydrolyse en glucose qui sera ensuite phosphorylé.

En aérobiose comme en anaérobiose, la voie de la glycolyse, ou voie d'Embden-Meyerhof-Parnas (Figure 19), constitue le processus majeur de dégradation du glucose. La glycolyse aboutit à la formation de pyruvate ( $\text{CH}_3\text{-CO-COOH}$ ). En aérobiose, le pyruvate est transformé en acétyl-coenzyme A qui entre dans le cycle de Krebs. En anaérobiose, le pyruvate est décarboxylé par la pyruvate carboxylase et il se forme de l'acétaldéhyde ( $\text{CH}_3\text{-CHO}$ ) et du dioxyde de carbone. L'acétaldéhyde est ensuite réduit par une alcool déshydrogénase en éthanol ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$ ).

Le glycérol est un produit annexe de la fermentation : le dihydroxy-acétone phosphate ( $\text{CH}_2\text{OH-CO-CH}_2\text{O-P}^{*5}$ ), produit intermédiaire de la glycolyse, peut être réduit par la dihydroxy-acétone phosphate réductase en glycérol-3-phosphate ( $\text{CH}_2\text{OH-CHOH-CH}_2\text{O-P}^*$ ) qui sera déphosphorylé par une glycérol-1-phosphatase en glycérol ( $\text{CH}_2\text{OH-CHOH-CH}_2\text{OH}$ ), le glycérol sortant de la levure par diffusion passive. L'acide acétique ( $\text{CH}_3\text{.COOH}$ ) est également un produit annexe de la fermentation. Pendant la fermentation, la levure synthétise deux glucides qu'elle stocke : le tréhalose et le glycogène.

---

<sup>5</sup> P\* = groupement phosphate  $-\text{H}_3\text{PO}_3$



**Figure 19 : Voie d'Embden-Meyerhof-Parnas**

*β) Le métabolisme des composés azotés*

Les acides aminés du moût sont la principale source d'azote de la levure. Il existe quatre groupes d'acides aminés classés selon leur vitesse de disparition dans le moût :

- Groupe 1 : acide glutamique, acide aspartique, asparagine, glutamine, sérine, thréonine, lysine, arginine.  
Absorption immédiate et élimination presque totale après 20 à 24 heures de fermentation.
- Groupe 2 : valine, méthionine, leucine, isoleucine, histidine.  
Absorption graduelle pendant la fermentation.
- Groupe 3 : glycine, phénylalanine, tyrosine, tryptophane, alanine.  
Le début de leur assimilation coïncide avec la disparition des acides aminés du groupe 1.
- Groupe 4 : proline  
Unique représentant de ce groupe, la proline n'est quasiment pas absorbée.

La concentration des acides aminés du groupe 2 est cruciale. Une déficience en ceux du groupe 3 peut affecter le métabolisme azoté de la levure et la qualité finale de la bière.

L'absorption des acides aminés fait appel à des perméases, enzymes de transport actif. A leur entrée dans la cellule, les acides aminés sont désaminés par une transaminase dont le principal accepteur de groupement aminé est l' $\alpha$ -cétoglutarate qui se transforme alors en glutamate. Les acides aminés constituent ainsi, après leur désamination, un pool intracellulaire d' $\alpha$ -cétoacides. La réaction de transamination étant réversible, le glutamate joue alors le rôle de donneur de groupement aminé pour former de nouveaux acides aminés, soit à partir du pool d' $\alpha$ -cétoacides, soit à partir de squelettes carbonés issus du catabolisme glucidique. Ce pool d' $\alpha$ -cétoacides est à l'origine de la formation d'aldéhydes et d'alcools supérieurs (alcools de fusel) qui ont un rôle important dans la flaveur de la bière. Ces aldéhydes sont formés par la décarboxylation des  $\alpha$ -cétoacides. Les alcools de fusel sont issus de la réduction de ces aldéhydes. Le métabolisme des acides aminés est schématisé en Figure 20, ci-dessous.

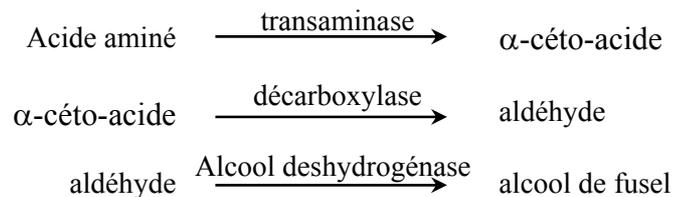
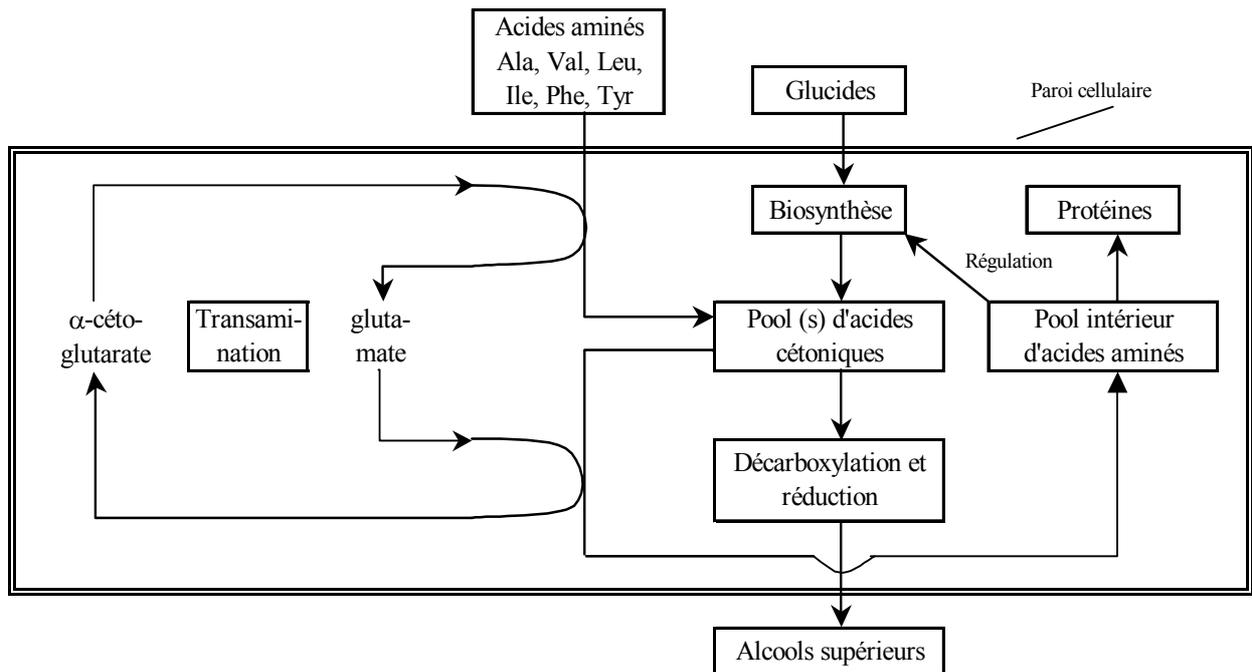


Figure 20 : Métabolisme des acides aminés chez une cellule de levure

### *$\chi$ ) Le métabolisme des lipides*

Les lipides de la levure sont essentiellement localisés dans sa paroi cellulaire : stérols, phospholipides, triglycérides et acides gras insaturés.

Les stérols et les acides gras insaturés jouent un rôle primordial dans la résistance de la levure à l'éthanol. Ce sont également des facteurs de croissance. En début de fermentation, ils représentent jusqu'à 2 % du poids sec de la levure. Cette teneur tombe à moins de 0,2 % à l'issue de la fermentation, leur biosynthèse exigeant de l'oxygène. Cette teneur finale correspond à un minimum vital au dessous duquel la paroi de la levure ne peut plus excréter l'éthanol qui atteint une concentration toxique à l'intérieur de la levure. L'oxygénation du

moût avant la fermentation permet à la levure de se multiplier mais aussi et surtout d'accroître sa résistance à l'éthanol. *Saccharomyces cerevisiae* est de toutes les levures celle qui résiste le mieux à l'éthanol. Cette résistance fluctue avec les souches et l'état physiologique des levures, le seuil toxique variant ainsi de 10 à plus de 20 degrés Gay-Lussac.

#### e- Améliorations génétiques de la levure

##### *α) Matériel génétique des levures*

- l'ADN chromosomique : les chromosomes sont localisés dans le noyau. Ils représentent 80 à 85 % de l'ADN total, soit 15 000 gènes. La levure a 17 chromosomes en phase haploïde ou 17 paires en phase diploïde. Chez *Saccharomyces cerevisiae*, chaque chromosome est une simple molécule d'ADN.
- l'ADN plasmidique : le noyau comporte, en dehors du nucléole, 50 à 100 molécules d'ADN circulaire (ADN 2 μm), représentant 5 % de l'ADN total. Ces plasmides ont une répllication autonome.

##### *β) Objectifs des recherches génétiques en brasserie*

Le génie génétique a pour but d'optimiser un caractère existant ou de le créer. De nombreux objectifs ont été fixés à la fin des années 1970 pour améliorer les levures de brasserie et de distillerie. Cependant, le résultat de ces recherches est aujourd'hui décevant. Les principaux objectifs étaient :

- production d'enzymes extracellulaires :  
la sécrétion d'enzymes amylolytiques capables d'hydrolyser les dextrines permettrait d'obtenir des bières à très forte atténuation, dépourvues de glucides (« Light beer »).  
La synthèse d'enzymes protéolytiques spécifiques des protéines de poids moléculaire compris entre 50 000 et 100 000 permettrait de supprimer les fractions responsables de la formation du trouble colloïdal, sans toutefois supprimer les protéines de poids moléculaire

compris entre 15 000 et 25 000 responsables de la formation et de la stabilité de la mousse.

La synthèse de  $\beta$ -glucanases hydrolysant les résidus cellulosiques du malt rendrait la filtration de la bière plus aisée.

D'autres enzymes permettraient de réduire le taux de composés nuisibles à la saveur de la bière.

- Augmentation de la tolérance à l'alcool,
- Augmentation de la tolérance au CO<sub>2</sub> et à la pression,
- Modulation de la production des composés aromatiques,
- Amélioration de l'assimilation des glucides, etc.

Cependant, une amélioration s'accompagnant souvent de dégradations imprévisibles (faux goûts, difficultés technologiques, etc.), l'application industrielle est souvent écartée. Par ailleurs, une souche de levure transformée doit obtenir l'agrément des autorités gouvernementales compétentes pour pouvoir être utilisée.

#### *$\chi$ ) Techniques utilisées*

- Sélection de levures après mutation naturelle.
- Sélection de levures après mutations provoquées par des agents mutagènes physiques ou chimiques. L'inconvénient de cette technique est l'émergence de mutations provoquées non prévisibles.
- Hybridation naturelle entre deux souches différentes. On cherche ainsi à réunir dans une seule souche les aptitudes des deux souches.
- Hybridation des protoplastes : cette technique permet de croiser deux espèces normalement non interfertiles. Pour cela, la paroi de la levure doit être détruite par voie

enzymatique. L'exemple classique de cette technique est l'hybridation entre *Saccharomyces diastaticus* capable de fermenter les dextrines et *Saccharomyces cerevisiae* qui en est incapable. L'hybride obtenu doit permettre d'obtenir, en fermentant les dextrines, une importante atténuation de la bière.

- Technique de l'ADN recombinant : un gène intéressant est prélevé sur un donneur (levure ou bactérie), purifié par des enzymes de restriction (endonucléases), puis greffé sur un vecteur (virus ou plasmide). Souvent, c'est le plasmide de 2 µm qui remplit cette fonction. Le vecteur est ensuite introduit dans la levure qui intégrera le gène greffé à son génome. En brasserie, cette technique vise essentiellement à greffer des gènes codant la synthèse d'enzymes extracellulaires.

#### f- Floculance de la levure

La floculance est l'agglutination réversible des levures qui forment alors des flocons. La floculance d'une levure est liée à la fois à sa génétique, à son environnement et à son état physiologique. L'éthanol, le calcium, le magnésium et les protéines favorisent la floculation alors que les sucres fermentescibles l'inhibent. Les levures âgées sont généralement plus floculantes que les jeunes. Selon leur degré de floculance, les levures peuvent être divisées en quatre classes :

- Classe 1 : levures dispersées pendant toute la durée de la fermentation.
- Classe 2 : levures dites poussiéreuses qui floculent vers les deux tiers de la fermentation sous forme de petits agglomérats détachés.
- Classe 3 : levures floculantes formant des masses compactes.
- Classe 4 : levures rapidement très floculantes en raison de la non séparation des cellules filles.

Les classes 1 et 4 représentent des levures dont la floculance est un phénomène lié à leur génétique. Si la floculance des levures de classe 2 et 3 est également liée aux gènes, elle est également influencée par le milieu. Seules ces deux classes sont intéressantes en brasserie.

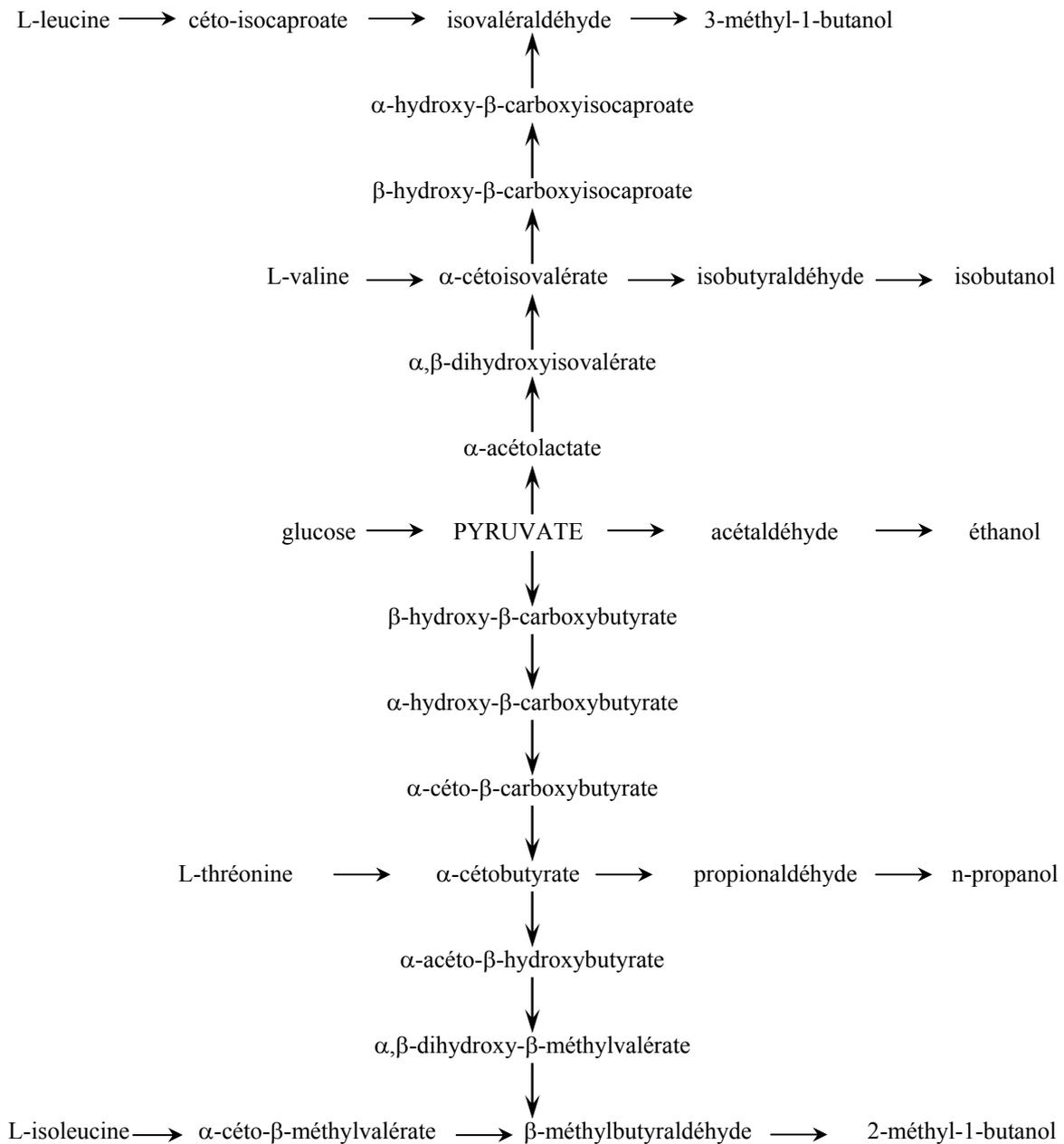
Les levures de classe 1, en restant en contact étroit avec le moût, fermentent rapidement les sucres. De telles levures permettraient de réaliser une fermentation énergique mais elles seraient difficiles à séparer du milieu en fin de fermentation. A l'inverse, les levures de classe 4, en floculant rapidement et massivement, ne sont plus en contact étroit avec le moût et le fermentent moins. C'est pourquoi elles sont dites « à faible atténuation ». Les classes 2 et 3 représentent de bons compromis entre atténuation du moût et facilité de récolte en fin de fermentation.

#### g- Métabolites fermentaires

La bière contient de 700 à 800 composés volatils susceptibles de contribuer à sa saveur. Ces composés proviennent du malt, mais surtout du houblon et des métabolites fermentaires. La levure est responsable de la production des arômes et des goûts dits « de fermentation ». La formation des composés volatils dépend de la souche de levure utilisée, de la conduite de la fermentation (aération, agitation, pH, température, etc.) et de la composition du moût. Les composés généralement bénéfiques à la saveur de la bière sont des alcools supérieurs, des esters, des aldéhydes et des acides volatils. D'autres composés peuvent être à l'origine de faux goûts : dicétones, mercaptans et hydrogène sulfuré en particulier.

##### - les alcools supérieurs :

ils sont formés dès le début de la fermentation à partir du pool d' $\alpha$ -cétoacides issus du catabolisme des acides aminés et des glucides. Comme la plupart des composés volatils, leur formation augmente avec la température de fermentation. Par désamination, décarboxylation puis réduction, la leucine donne le 3-méthyl-1-butanol ou alcool amylique, la thréonine donne le propanol et la valine l'isobutanol (Figure 21). Ces quatre alcools supérieurs sont les plus abondants dans la bière.



**Figure 21 : Voies biochimiques de formation d'alcools de fusel et leurs interactions**

- Les esters :

Ils proviennent du métabolisme des lipides et de la décarboxylation des  $\alpha$ -cétoacides. Ils résultent de la condensation d'un acide organique et d'un alcool. Cette réaction est catalysée par une enzyme qui fait intervenir le co-enzyme A :



Très volatils, ils jouent un rôle majeur dans la flaveur de la bière. Les plus importants sont l'acétate d'éthyle et l'acétate d'iso-amyle. La plupart des esters contribuent à la flaveur fruitée de la bière.

- Les composés carbonylés, principalement aldéhydes et cétones :

L'acétaldéhyde représente 90 % de tous les aldéhydes de la bière. Il est issu de la décarboxylation du pyruvate. Sa réduction va donner l'éthanol de la bière. Sa concentration pendant la fermentation dépasse 25 mg/L. Il est responsable de la flaveur herbacée (faux goût de feuilles vertes, peau de pomme, fruité) de la bière verte et sera éliminé pendant la maturation de la bière.

Deux composés cétoniques que sont le diacétyle et la 2,3-pentanedione peuvent être responsables d'un faux goût de beurre rance dont se méfie terriblement le brasseur. Ces deux produits ont pour précurseurs respectifs l'acétolactate et l' $\alpha$ -acétohydroxybutyrate que la levure excrète dans le milieu. L'acétolactate subit alors une décarboxylation oxydative non enzymatique qui ne dépend pas de la levure et qui donne le diacétyle. Ces précurseurs sont des métabolites de la biosynthèse de la valine. Un moût riche en valine permet de diminuer cette biosynthèse, limitant ainsi la formation des précurseurs. La fermentation secondaire (la garde) permet à la levure de réduire ces dicétones indésirables en 2,3-butanediol et 2,3-pentanediol qui sont sans incidence sur la flaveur. Un autre métabolite proche du diacétyle, l'acétoïne, peut être responsable d'un goût de moisi, mais la levure peut aussi la réduire en 2,3-butanediol.

- Les acides organiques :

On trouve dans la bière une centaine d'acides organiques classés en volatils, faiblement volatils et non volatils (ou fixes). Les plus représentés sont les acides citrique, malique, lactique, formique, acétique, butyrique, etc.

- Les composés soufrés :

Le soufre est nécessaire à la croissance de la levure. Il provient du malt (acides aminés soufrés et diméthylsulfure), du soufre qui a servi à traiter le houblon et des sulfates de l'eau. Les

sulfates sont réduits par la levure en sulfites et sulfures qui sont utilisés pour la biosynthèse des acides aminés soufrés. Produit en excès, le sulfure d'hydrogène est excrété par la levure. Il est à l'origine d'une odeur d'œuf pourri. Un moût à teneur suffisante en méthionine permet de limiter sa formation pendant la fermentation. Le sulfure d'hydrogène est en partie entraîné par le dioxyde de carbone lors de la garde. Les composés soufrés les plus nuisibles à la flaveur sont les mercaptans, leur seuil de perception étant très bas. Le principal est l'éthyl-mercaptan qui donne une odeur fade de légume cuit. Ils sont formés par voie photochimique. L'utilisation de bouteilles colorées réduit leur formation.

- Les composés phénoliques :

Certaines souches de levure sont capables de décarboxyler des acides phénolcarboxyliques en phénols correspondants, responsables de faux goûts phénoliques. Ce type de faux goût est le plus souvent causé par des levures sauvages.

#### h- Les levures de brasserie

Les levures dites « basses » sont des levures qui, en fin de fermentation primaire, sédimentent au fond des cuves. « Basse » désigne également le mode de fermentation qu'elles déterminent, ainsi que le type de bière obtenue. A l'inverse, les levures dites « hautes » remontent à la surface à l'issue de la fermentation tumultueuse. On parle alors de fermentation haute et de bière haute.

Cette différence de comportement ne se manifeste pas sur de petits volumes de moût. En effet, à l'issue d'un test de mini-fermentation réalisé en laboratoire, levures hautes comme levures basses sédimentent. Si le caractère « haut » ou « bas » d'une levure est conditionné par sa génétique, il est également largement influencé par la température de fermentation et par la dimension des cuves utilisées.

Depuis la révision de la taxonomie des levures en 1984, levures hautes et basses appartiennent à la même espèce *Saccharomyces cerevisiae*. La levure basse était nommée *Saccharomyces carlsbergensis* jusqu'en 1970 puis *Saccharomyces uvarum* de 1970 à 1984. La levure haute était déjà nommée *Saccharomyces cerevisiae*. Toutes les levures de brasserie appartiennent donc à la même espèce mais leurs particularités physiologiques déterminent de très nombreuses souches. Toutefois, par habitude, les brasseurs utilisent toujours l'ancienne nomenclature.

#### *α) Levures hautes*

Leur température idéale de fermentation varie de 14 à 20 °C. Elles ne fermentent pas ou peu au-dessous de 10 °C. La durée d'une fermentation haute est de 2 à 5 jours.

A l'issue de la fermentation principale, le bourgeonnement devient incomplet et les cellules restent attachées les unes aux autres, formant des grappes de levures. Celles-ci sont ramenées à la surface par les bulles de dioxyde de carbone et se mêlent à la mousse qui couvre la bière.

Les levures hautes ont conservé la faculté de sporuler. Elles ont également préservé leur pouvoir respiratoire. Au laboratoire, ces levures ne fermentent qu'un tiers du raffinose ce qui permet de les différencier facilement des levures basses.

La fermentation haute donne des bières fruitées, à la saveur complexe qui masque un peu l'arôme du malt et du houblon.

#### *β) Levures basses*

Leur température idéale de fermentation varie de 6 à 10 °C mais elles peuvent fermenter jusqu'à 0 °C. La durée de la fermentation principale est plus longue avec les levures basses qu'avec les levures hautes : elle varie de 6 à 10 jours.

A l'issue de la fermentation tumultueuse, les levures basses forment des agglomérats volumineux de cellules qui sédimentent rapidement. D'autres souches de levures basses, dites

levures poussiéreuses, resteront bien séparées et ne sédimenteront que très lentement. Ce sont des souches à forte atténuation.

Les levures basses ont généralement perdu la capacité de sporuler ainsi que leur pouvoir respiratoire. Au laboratoire, ces levures fermentent la totalité du raffinose.

La fermentation basse s'applique essentiellement à des bières blondes limpides de type Pilsner où les arômes de malt et de houblon prédominent.

### *χ) Levures sauvages*

Ce sont des levures autres que celles issues des cultures pures. Elles sont introduites accidentellement par l'eau, l'air, les bouteilles vides, les insectes, etc. Ces levures sont généralement moins exigeantes et plus robustes que les levures de culture. C'est pourquoi elles vont se propager facilement d'un brassin à l'autre. Elles sont à l'origine de l'apparition de voiles, de troubles ou de faux goûts mais ne sont en aucun cas responsables d'une quelconque toxicité. Pour éviter leur propagation, les brasseurs procèdent à de fréquents contrôles microbiologiques sur le moût, la bière, l'eau et les installations.

Les levures sauvages les plus fréquentes sont :

- *Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoïdeus*
- *Saccharomyces pastorianus*
- *Saccharomyces willianus*

Ces trois levures génèrent de faux goûts phénoliques

- *Saccharomyces diastaticus*

Cette levure est capable de fermenter les dextrines provoquant une super atténuation. Elle ne génère pas de faux goût mais elle crée un trouble et un dépôt importants.

- *Saccharomyces* « létales » ou « Killer »

Ces levures synthétisent une glycoprotéine toxique pour les levures de culture qu'elles remplacent rapidement. Elles génèrent de faux goûts par synthèse d'acétoïne, d'acétaldéhyde et de diacétyl.

- *Hansenula*
- *Candida mycoderma*
- *Pichia*

Ces trois genres sont responsables de l'apparition de voiles épais en surface, surtout si la bière entre au contact de l'air.

- *Brettanomyces*
- *Kloekera*

Ces genres indispensables à l'élaboration des bières lambics sont considérés comme des contaminants par la brasserie classique. *Brettanomyces* libère de l'acide acétique et de l'acide caprique.

Peuvent également être retrouvés les genres *Rhodotorula* et *Torulopsis* dont l'incidence est faible.

## **2. Technologies de la fermentation**

C'est lors de cette étape que 95 % des glucides sont transformés en éthanol et dioxyde de carbone. L'activité fermentaire est intense et marquée par l'apparition d'une mousse épaisse. C'est pourquoi la fermentation primaire est aussi appelée fermentation principale ou fermentation tumultueuse.

Aujourd'hui, la fermentation primaire s'effectue dans des tanks cylindro-coniques dont la capacité varie de quelques hectolitres à plusieurs milliers. Ces tanks, utilisés depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle, présentent de nombreux avantages par rapport aux cuves traditionnelles : gain de place, coût d'achat et d'entretien réduits, diminution des risques de contamination, diminution de la freinte (perte au cours de la fabrication et des différentes manipulations), systèmes de refroidissement efficaces (double parois), facilité de récolte du levain. Ils sont en outre munis de systèmes de récupération du dioxyde de carbone. Le dioxyde de carbone sera épuré et compressé. Il sera ensuite utilisé pour saturer la bière, pour entrer dans les systèmes de pression (bières en fûts) ou sera parfois même recyclé dans l'industrie des sodas. Seuls 10

à 15 % du dioxyde de carbone produit resteront dissous dans la bière. Ces systèmes de tanks présentent un autre avantage important : ils peuvent à la fois servir à la fermentation primaire et à la garde.

Les autres types de vaisseaux de fermentation sont des cuves fermées en acier inoxydable, refroidies par des serpentins qui permettent généralement de récupérer le dioxyde de carbone. Quant aux cuves ouvertes, elles se raréfient car elles ne permettent pas le recyclage du dioxyde de carbone et les risques de contamination et d'oxydation sont beaucoup plus importants. Elles sont souvent réservées à la fermentation haute, dans des brasseries artisanales.

#### a- L'ensemencement

Le moût clarifié et oxygéné est ensemencé à la sortie du réfrigérant avec de la levure liquide à raison de 0,5 à 1 L/hL de moût, soit 15 à 25 millions de cellules par millilitre. Cette levure a préalablement été homogénéisée avec de la bière ou de l'eau stérile et est injectée tout au long du « coulage » par pompe doseuse dans la cuve ou le tank de fermentation.

#### b- La fermentation principale ou fermentation primaire

On retrouve trois grands types de fermentation primaire : haute, basse et spontanée. Mais seules les fermentations haute et basse seront traitées. La fermentation spontanée est une fermentation commencée par les levures et les bactéries de l'air environnant, sans ajout de levures cultivées. Les ferments habituellement retrouvés sont *Brettanomyces bruxellensis* et *Brettanomyces lambicus*. Ce processus rare n'est guère plus pratiqué que dans quelques brasseries belges de la région de Bruxelles où il y constitue une appellation d'origine contrôlée. Qu'elle soit haute ou basse, la fermentation primaire se déroule en 4 phases.

### *α) Les 4 phases de la fermentation principale*

#### ❖ Phase de latence

Après l'ensemencement, la levure ne fermente pas et ne se reproduit pas mais en quelques heures, elle consomme la quasi totalité de l'oxygène dissout dans le moût. Ceci lui permet de synthétiser les stérols et les acides gras qui la rendront résistante à l'alcool. L'absorption d'acides aminés et de minéraux est également très intense.

#### ❖ Phase de croissance et de fermentation

Après quelques heures de fermentation active, la teneur du moût en acides organiques s'équilibre et la saturation en dioxyde de carbone est atteinte. C'est pourquoi le pH s'abaisse rapidement puis se stabilise. Il passe de  $5,2 \pm 0,1$  à  $4,5 \pm 0,2$  si la bière est « pur malt » ou  $4,2 \pm 0,2$  si des grains crus sont utilisés. Une chute du pH est le témoin d'une contamination bactérienne du moût.

Pendant cette phase, le nombre de cellules de levure augmente pour atteindre une concentration de 70 à 120 millions par millilitre. Cette croissance ne correspond qu'à 2 ou 3 bourgeonnements seulement. L'activité fermentaire est alors intense : il apparaît une mousse épaisse en surface, la densité du moût diminue, les sucres étant transformés en éthanol et dioxyde de carbone. Le dégagement de chaleur est important.

#### ❖ Phase de fermentation sans croissance

Par manque d'oxygène et de facteurs de croissance, le bourgeonnement s'arrête. Le volume du levain continue d'augmenter par accumulation de glycogène. Ethanol, dioxyde de carbone et métabolites fermentaires sont encore massivement synthétisés. Puis, lorsque les trois quarts de l'extrait sont consommés, l'activité fermentaire se ralentit, les hautes mousses de surface s'affaissent et le nombre de cellules de levure en suspension diminue.

## ❖ Casse de la levure

En fin de fermentation, la levure floccule. En fonction du degré d'atténuation, la casse peut être accélérée par un refroidissement ou retardée par élévation de la température. Les sucres fermentescibles restants sont du maltose et du maltotriose. La levure sera ensuite récoltée et pressée.

Le brasseur suit l'évolution de la fermentation par détermination de l'atténuation. L'atténuation est la diminution de densité du moût au cours de la fermentation. Elle est exprimée en pourcentage :

$$A = \frac{(d_1 - d_2) \times 100}{d_1}$$

$d_1$  = densité du moût primitif

$d_2$  = densité du moût à un moment donné de la fermentation

On distingue différentes atténuations :

- l'atténuation apparente : c'est celle que l'on détermine en pratique. La densité du moût ou de la bière est mesurée par un saccharomètre. Pour cette mesure, la bière est dégazée.
- l'atténuation réelle : c'est une valeur plus précise mesurée en laboratoire.
- l'atténuation limite : elle est également calculée en laboratoire. C'est l'atténuation d'un échantillon de moût mis à fermenter avec une dose massive de levure en suspension dans des conditions optimales.
- l'atténuation principale : c'est l'atténuation obtenue à la fin de la fermentation principale.
- l'atténuation finale : elle est obtenue en fin de garde et doit être le plus proche de l'atténuation limite.

L'atténuation principale doit se situer vers 95 % car il doit rester suffisamment de glucides fermentescibles pour la fermentation secondaire. Environ 2,5 % de l'extrait fermentescible est transformé en métabolites fermentaires (composés volatils) et 1,5 % est utilisé pour la croissance de la levure. Tout le reste est transformé en éthanol et dioxyde de carbone.

Pendant la fermentation, la bière se décolore car mélanoidines et polyphénols pâlisent avec l'acidification. D'autres composés colorés sont entraînés dans l'écume. En fin de fermentation primaire, la jeune bière, appelée bière verte, est pompée vers les cuves de garde. Cette opération s'appelle le traversage et doit s'effectuer sans oxygénation de la bière. L'oxygénation pourrait en effet être à l'origine de faux goûts et risquerait surtout de relancer la multiplication des levures.

### *β) La fermentation basse*

La mise en levain avec une levure basse se fait entre 5 et 8 °C. Après une phase de latence de 15 à 20 heures, apparaît une fine mousse blanche : La fermentation démarre. Si la fermentation tarde à démarrer, le brasseur a trois possibilités : il peut rajouter des levures, augmenter la température ou rajouter des activateurs de fermentation (extraits de malt, extraits de soja dégraissés ou lyophilisat de levures lysées).

La température augmente. Elle sera fixée entre 9 et 12 °C pour toute la phase de fermentation intense (Figure 22). Vers le 3<sup>ème</sup> ou 4<sup>ème</sup> jour, la couche de mousse est très épaisse : c'est la mousse « haute » ou « hauts kraüzen »). En fin de fermentation, les hauts kraüzen vont s'affaisser pour former une couche brunâtre, épaisse, amère et riche en polyphénols et résines de houblon. On dit que la bière fait son couvercle.

La durée totale d'une fermentation basse dépend de la densité du moût et de la température. Plus le moût est dense et la température basse, plus la fermentation sera longue. Elle se prolonge généralement de 7 à 12 jours.

**Figure 22 : Diagramme de fermentation principale  
pour une bière basse de type Pilsen**

En fin de fermentation, la température est abaissée à 8 °C pour obtenir une casse plus nette de la levure. La levure est récoltée au fond du tank, dans sa partie conique. La couche supérieure et la couche inférieure sont éliminées car elles contiennent beaucoup d'impuretés et de levures déficientes. La couche médiane servira à nouveau pour 6 à 10 fermentation si elle est « nouvelle ».

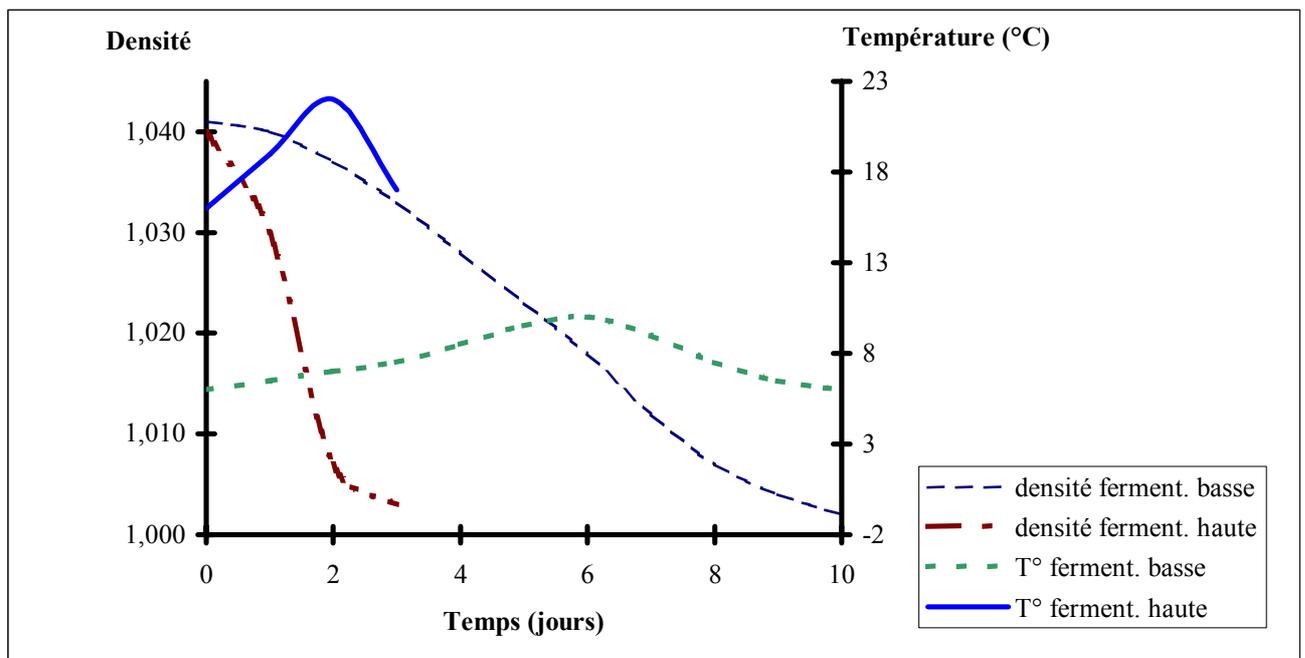
La bière verte de fermentation basse a une carbonation voisine de 3 g/L. Sa teneur en composés volatils est inférieure à celle des bières de fermentation haute.

*χ) La fermentation haute*

L'ensemencement se fait avec une levure « haute » entre 15 et 17 °C. En phase fermentaire, la température s'élève entre 20 et 25 °C et il se forme une mousse épaisse. Selon la température et la densité du moût, la fermentation dure de 2 à 5 jours. Les moûts destinés à une fermentation haute sont généralement de densité supérieure à ceux destinés à une

fermentation basse. La Figure 23 montre l'évolution de la densité et de la température spécifique à chaque type de fermentation.

L'évolution de la température est contrôlée si la fermentation a lieu en tank cylindro-conique ou en cuve inox refroidie. A l'inverse, les cuves ouvertes sont dépourvues de système de refroidissement mais elles sont situées dans des endroits frais. Si la température est contrôlée, son abaissement en fin de fermentation active la casse de la levure qui remonte à la surface du moût. Elle est alors récupérée par écumage puis pressée et stockée dans des levuriers à 0 °C. Le levain de fermentation haute peut servir à plus de brassins qu'un levain de fermentation basse car il est moins souillé par des déchets de fermentation. Il peut resservir de 20 à 100 fois. La carbonation après fermentation principale avoisine les 2 g/L.



**Figure 23 : Evolution des densités et des températures des fermentations haute et basse**

c-

## La fermentation secondaire ou garde

Après le traversage, la bière verte a une saveur désagréable qui associe goût de levure, amertume, goût herbacé et de pomme verte. Le but de la garde est la maturation de cette bière jeune. Au cours de cette étape, la bière va s'affiner, se clarifier et se saturer en dioxyde de carbone. La garde d'une bière de fermentation basse dure de 3 semaines à plus de 3 mois à faible température (entre 0 et 5 °C). Pour une bière de fermentation haute, la garde va durer de quelques jours à un mois à température plus élevée (température de cave en général, parfois moins).

En début de garde, la bière contient encore 1 à 5 % de sucres fermentescibles qui seront transformés à ce stade en alcool et dioxyde de carbone par les quelques 15 à 25 millions de levures par millilitre encore présentes dans la bière. On applique sur le tank une contre pression que l'on augmente graduellement (0,8 bars en fin de garde) à l'aide d'un système appelé « régulateur de bondonnage », ce qui permet à la bière très froide de solubiliser le dioxyde de carbone (loi de Henry). En fin de maturation, une bière de type Lager contient de 4 à 4,8 g/L de dioxyde de carbone. Les bières de fermentation haute sont moins riches en dioxyde de carbone.

Pendant la garde, la saveur de la bière s'affine. la teneur en composés nuisibles à la saveur diminue. Le diacétyl et la 2,3-pentanedione sont réabsorbés par la levure qui les réduit en 2,3-butanediol et 2,3-pentanediol qui ne donnent pas le goût de beurre rance des dicétones. Ces dicétones doivent être maîtrisées à un taux inférieur à 0,1 mg/L. L'acétaldéhyde est également réduit en éthanol. Le faux goût de bière verte dont il est responsable disparaît si son taux est abaissé au-dessous du seuil de perception de 7 à 10 mg/L. Le sulfure d'hydrogène et les autres composés soufrés sont en partie entraînés par le lavage de la bière au dioxyde de carbone. Leur taux de perception s'élève à 100 µg/L.

Au cours de la garde, le profil de la bière en composés volatils s'équilibre : La bière fixe son profil aromatique. Certains acides gras volatils ne sont synthétisés que pendant la garde. Le goût de levure disparaît également pendant la garde. Pendant sa maturation, la bière peut à

nouveau être houblonnée de manière à ajuster son amertume, on utilise alors des extraits de houblons isomérisés. Le brasseur peut également vouloir l'enrichir en arômes de houblon. Il utilise alors des extraits d'huiles essentielles de houblons ou des cônes de houblons aromatiques. On parle alors d'houblonnage à froid.

La garde permet également à la bière de se clarifier. Les matières en suspension (levures mortes, colloïdes, etc.) décantent, ce qui facilitera la filtration ultérieure de la bière. Cette clarification peut être améliorée par différentes techniques. La plus grande partie du trouble colloïdal peut être éliminée par l'application pendant une semaine d'une température de  $-1^{\circ}\text{C}$ . Cette technique simple et efficace permet d'éviter l'emploi d'adjuvants. Certaines brasseries telles Anheuser-Busch utilisent toujours une technique ancienne qui consiste à mettre dans les cuves de garde de la Budweiser des copeaux de hêtre ou de noisetier qui vont fixer les matières en suspension. Mais le plus souvent, le brasseur utilise des adjuvants de clarification :

- Le charbon actif : il absorbe les polyphénols et les protéines et diminue les faux goûts. Il en faut de 10 à 200 g/hL.
- Les bentonites : ce sont des silicates d'aluminium. Cinquante à 200 g/hL permettent d'éliminer les complexes protéiques.
- La polyvinylpyrrolidone (PVP) : de structure proche des tanins, ce composé permet de précipiter les protéines.
- Les tanins galliques : ils précipitent également les protéines.
- La colle de poisson : ce mode de traitement appelé « collage » n'est plus guère utilisé que dans les brasseries traditionnelles de Grande-Bretagne.
- La caséine et la zéïne : ce sont des protéines qui précipitent les tanins.

Tous ces adjuvants permettent d'éliminer tanins et protéines qui risquent de se complexer à plus ou moins long terme, après l'embouteillage en particulier, et générer des dépôts. Enfin,

une autre technique très utilisée consiste à hydrolyser les protéines par une enzyme protéolytique : la papaine.

C'est aussi pendant la garde que le brasseur ajoute à la bière des réducteurs pour leur action antioxydante. La bière est en effet très sensible à l'oxydation, en dépit de la présence d'antioxydants naturels que sont les composés de la réaction de Maillard. Les deux réducteurs les plus utilisés sont l'acide ascorbique et l'anhydride sulfureux. Ils sont toujours associés ce qui permet de diminuer la quantité mise en œuvre de chacun de ces produits, en particulier l'acide ascorbique. En effet, oxydé, celui-ci peut générer des radicaux libres qui, en présence de lumière, sont générateurs de faux goûts tels que le « goût de lumière » dû au méthyl-3-butène-2-thiol-1. Quant à l'anhydride sulfureux, il peut être responsable de certains troubles tels qu'urticaire, rhinite allergique, céphalées et troubles intestinaux.

Les caves de garde traditionnelles, où la bière était entreposée dans des foudres (énormes barriques de chêne) ou des cuves en acier inoxydable, sont de plus en plus remplacées par des tanks cylindro-coniques réfrigérés qui servent à la fois à la fermentation principale et à la garde. Cependant, certaines bières belges subissent toujours une fermentation secondaire en tonneaux de chêne. Les bactéries résidentes des pores du bois, apparentées à certaines *Brettanomyces* de la fermentation spontanée, entrent alors en action, acidifiant la bière (fermentation lactique). Il ne s'agit pas d'un moût contaminé par une bactérie mais le résultat est semblable du point de vue gustatif : le développement d'une saveur particulièrement acidulée. Cette méthode étant surtout utilisée dans la région de Bruxelles, on y retrouve à l'évidence une origine commune avec les lambics.

A l'issue de la garde, la bière a toutes ses qualités organoleptiques mais présente un voile qui n'est plus toléré aujourd'hui. C'est pourquoi l'ultime étape de la fabrication de la bière est la filtration.

#### d- Manipulations finales

##### *α) La filtration*

La grande majorité des bières, même celles qui sont soumises à un conditionnement par refermentation en bouteille, subissent une filtration à la fin de la période de garde. C'est une étape importante de la fabrication des lagers à qui elle donne leur brillance. Avant la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, la bière était clarifiée par collage ou stabilisée par des copeaux de bois. Pendant longtemps, la méthode la plus utilisée était la « masse filtrante » constituée d'épaisses toiles de coton. Les bières de fermentation haute ne sont pas autant filtrées que les lagers, ce qui préserve leur goût. Certains brasseurs disent de la filtration qu'elle est un mal nécessaire. En effet, le consommateur est souvent plus exigeant sur l'aspect que sur le goût. Mais si la filtration rend la bière cristalline, elle lui enlève aussi une partie de sa saveur.

De très nombreux systèmes sont utilisés mais les plus courants utilisent le Kieselguhr comme masse filtrante dans les filtres à tamis et les filtres à plaque. Le Kieselguhr est un minéral formé de squelettes de diatomées. Il s'agit donc de silice presque pure qui présente l'avantage de ne plus nécessiter de lavage de la masse et il n'y a donc que très peu de risque de contamination par rapport aux filtres classiques.

Depuis 1895 environ, les brasseurs ont tenté d'utiliser la force centrifuge dans les brasseries afin de clarifier les moûts et les bières. C'est seulement dans les années 1940 que le procédé a pu être mis en application en Suède. Les centrifugeuses à bière sont des séparateurs qui présentent une série de « disques » coniques parallèles et très rapprochés (moins de 1 mm). Les fines particules qui constituent le trouble de la bière glissent le long de la paroi de ces disques et s'accumulent à leur périphérie, éjectées par la force centrifuge, tandis que la bière clarifiée sort par le haut de la conduite axiale. La centrifugation présente de nombreux avantages par rapport aux filtres : les pertes au filtre disparaissent et le risque de contamination est quasi inexistant. Le système présente cependant l'inconvénient de ne permettre qu'un faible débit.

Des filtres à membranes ou à céramique microporeuse permettent aujourd'hui au brasseur de réaliser une filtration stérilisante de la bière.

Après filtration, la bière ne contient ni particules génératrices de troubles, ni levures ou résidus cellulosiques. La brillance est mesurée en continu par un appareil enregistreur : le turbidimètre.

### *β) L'assemblage*

Au moment du soutirage, un certain nombre de bières sont assemblées. Le brasseur procède alors à un mélange de différents brassins afin de produire un goût spécifique à chaque marque. La majorité des bières industrielles sont assemblées. Un certain nombre de bières artisanales le sont également. Il existe toutefois de grandes différences entre les deux procédés.

Les bières artisanales assemblées impliquent habituellement un brassin de fermentation spontanée ou ayant subi une fermentation lactique en cuve de garde. L'objet de l'assemblage est alors de produire une saveur mariant de façon subtile l'équilibre aigre-doux souhaité par le brasseur.

Dans le cas des bières industrielles, l'objet de l'assemblage est naturellement semblable, cette fois-ci sur l'axe doux-amer, mais à un niveau de perception beaucoup plus bas. De plus, le pourcentage d'alcool est également ajusté en ajoutant de l'eau désoxygénée et déminéralisée à la bière.

### *χ) Le soutirage*

La bière qui sort du filtre passe, après stockage éventuel, dans la soutireuse. Tout au long de ce transfert, la bière continue à être soumise à une pression qui empêche la formation de mousse susceptible de causer des pertes en gaz carbonique et de faire obstacle au remplissage des fûts. On utilise des soutireuses isobarométriques : le fût à remplir et le réservoir de la soutireuse sont soumis à la même contrepression.

La bière est alors pompée vers des tanks en acier inoxydable où elle est maintenue à basse température. C'est à ce moment qu'est réalisé l'ajustement de la carbonatation. Une bière de

type Pilsen devra contenir de 4,5 à 4,8 g/L de dioxyde de carbone si elle est conditionnée en fût et de 5,4 à 5,6 g/L si elle est conditionnée en bouteille. Le dioxyde de carbone injecté doit avoir une pureté supérieure à 99,95 %. Il ne doit surtout pas contenir d'oxygène. La bière peut être soutirée en fût de 30 ou 50 litres généralement en aluminium, en bouteille de verre coloré ou en boîte métallique. Les bouteilles doivent arrêter les longueurs d'onde comprises entre 350 et 550 nm responsables de transformations photochimiques, d'où leur coloration verte ou ambrée. Le métal des fûts et des boîtes doit être inerte afin de ne pas interagir avec la bière.

#### ❖ Le soutirage en bouteilles

Après déchargement, les bouteilles sont lavées et acheminées vers la chaîne de conditionnement. Outre le lavage des bouteilles, la laveuse a aussi pour fonction de débarrasser les bouteilles de leurs étiquettes, en laissant ces dernières entières et de restituer des bouteilles physiquement propres (bouteilles consignées). Les bouteilles en verre perdu ne nécessiteront qu'un simple rinçage. Le bon choix des produits de lavage est très important. A la sortie de la laveuse, les bouteilles sont inspectées sur chaîne. Les bouteilles mal lavées ou qui contiennent encore des traces d'eau de rinçage ou toute autre souillure sont détectées et éliminées de la chaîne.

La soutireuse est la pièce maîtresse de la ligne d'embouteillage. Sa performance en termes de productivité et de qualité du produit fini dépend essentiellement de la qualité du soutirage. Le soutirage s'effectue isobariquement. Un vide partiel est réalisé afin d'éliminer l'oxygène puis les bouteilles sont remplies de gaz carbonique pour le remplissage isobarique. Le soutirage se termine lorsque la mousse déborde pour chasser l'air contenu dans le col. La bouteille est alors encapsulée.

Les bouteilles sont fermées par des bouchons couronne, rondelles dentelées en aluminium recouvertes à l'intérieur d'un joint en PVC qui doit assurer l'étanchéité du bouchage. La capsuleuse fait bloc avec la soutireuse. Elle comprend une trémie, un disque vertical pour la distribution des bouchons qui, via une glissière, aboutissent dans la matrice et sous le poinçon qui les serrera autour du col de la bouteille. Les bouteilles qui présentent un défaut de remplissage ou qui fuient sont automatiquement éjectées de la chaîne.

#### ❖ Le soutirage en boîtes

Les boîtes suivent pratiquement le même cheminement que les bouteilles. Dépalettisées, elles sont rincées par injection avant soutirage avec de l'eau bactériologiquement pure. Les boîtes sont remplies par des soutireuses spécifiques et leur fermeture est assurée par des sertisseuses.

Les boîtes en fer blanc ont été abandonnées pour les boîtes en aluminium, plus faciles à recycler et offrant l'avantage du moindre poids au transport. Par rapport aux bouteilles, les boîtes offrent une meilleure protection à la lumière mais elles sont plus sensibles aux chocs thermiques. Elles sont enduites intérieurement d'un vernis protecteur.

#### ❖ Le soutirage en fûts

Les fûts utilisés aujourd'hui sont en acier inoxydable ou en aluminium et d'une contenance de 30 ou 50 litres. Depuis quelques années, les fûts à plongeur incorporé se sont généralisés. Ce plongeur, partie intégrante du fût, est pourvu d'une tête avec soupape à laquelle on fixe la canalisation de gaz carbonique et celle par laquelle la bière sera débitée. Ce plongeur sert donc à la fois au lavage et à la stérilisation du fût, au remplissage de bière sous contrepression et enfin au débit de bière au café. De ce fait, la bière n'est plus jamais en contact avec l'atmosphère extérieure mais toujours sous atmosphère inerte.

Après lavage externe, les fûts sont acheminés vers le lavage et la stérilisation. Le fût est retourné tête de plongeur en bas. Les restes de bière sont évacués par pression de gaz carbonique. Après dégazage, le fût est lavé à l'eau chaude (70 °C), l'eau est chassée par la vapeur (103 °C). Le fût est alors mis sous pression à 1,6 bar. Cette séquence ne dure pas plus d'une minute et demi. Le fût peut alors être rempli après équilibrage de la pression par rapport à celle du tank. Une sonde détermine la fin du remplissage.

#### δ) La pasteurisation

La pasteurisation a pour but de détruire les micro-organismes, levures ou bactéries, dont l'éventuelle présence pourrait nuire à la bonne conservation de la bière. Généralement, la

bière est pasteurisée après le soutirage par passage dans un pasteurisateur tunnel où elle subit une montée progressive en température jusqu'à un plateau compris entre 58 et 68 °C, température à laquelle elle est maintenue pendant 30 minutes. Le refroidissement sera également progressif. La bière peut également être pasteurisée avant le soutirage par flash pasteurisation (bière destinée à être conditionnée en fûts). Cette méthode consiste à chauffer la bière sur un échangeur à plaques, soit à 85 °C pendant 35 secondes, soit à 95 °C pendant quelques secondes. Si la pasteurisation permet une longue conservation, elle altère cependant les caractères organoleptiques de la bière qui peut alors présenter un goût de « pain cuit » dit « goût de pasteurisation ».

#### *ε) Les contrôles de la bière*

La nature et la fréquence des contrôles varient d'une bière à l'autre. Leur nombre augmente avec la taille des brasseries. Ils sont d'autant plus nombreux que la brasserie est automatisée. Ils peuvent être réalisés entièrement ou en partie par la brasserie ou externalisés.

Les contrôles les plus courants sont :

- mesure du pH
- mesure de turbidité
- mesure du titre alcoolique
- dosage du dioxyde de carbone
- détermination de l'extrait sec après étuvage
- dosage des glucides totaux
- dosage des dextrines
- détermination de l'azote total (méthode de Kjeldahl)
- recherche du dioxyde de soufre
- mesure de l'oxygène dissout et de l'oxygène du col
- dosage par CPG des principaux volatils et surtout des dicétones
- détermination de l'amertume et des polyphénols (astringence)
- détermination de la stabilité et de l'adhérence de la mousse
- dosage du sulfate de fer responsable d'un goût métallique
- contrôle bactériologique

Le risque de contamination microbiologique est le plus important en brasserie. C'est pourquoi tout micro-organisme est perpétuellement recherché, surtout dans les brasseries importantes. Les contaminations par des levures sauvages ont été envisagées en début de chapitre (§ 1.h.χ).

Les principales bactéries incriminées et recherchées sont les bactéries lactiques et les bactéries acétiques. Les moisissures sont également recherchées.

#### ❖ Bactéries lactiques (Gram +)

Pasteur les appelait « les bacilles de la bière tournée ». Ce groupe comprend les genres et espèces *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Lactobacillus thermobacterium*, *Lactobacillus streptobacterium* et *Lactobacillus betabacterium*. Les contaminations les plus courantes sont celles liées à *Lactobacillus streptobacterium* et à *Pediococcus*. Les lactobacilles génèrent un trouble, une acidification intense et l'apparition de faux goûts par production d'acétone et de diacétyl. Les pédiocoques sont les agents responsables de la maladie des « sarcines ». Ils génèrent voile et faux goûts. Ils sont cependant toujours retrouvés dans la fermentation des lambics. Lactobacilles et pédiocoques se développent facilement dans les bières mal atténuées.

#### ❖ Bactéries acétiques

Elles oxydent l'éthanol en acide acétique conférant à la bière une odeur de vinaigre. On distingue les représentants du genre *Acetobacter* appelés communément « acétiques de brasserie » et ceux du genre *Acetomonas* ou « acétiques visqueuses ». Ces bactéries ne se multiplient qu'en présence d'oxygène.

#### ❖ Bactéries diverses

Des entérobactéries peuvent être introduites par l'eau et, si elles se développent dans le moût, elles lui communiquent une forte odeur de céleri, voire une odeur fécale.

❖ Moisissures

Les genres *Penicillium*, *Mucor* et *Aspergillus* peuvent être détectés de façon exceptionnelle.

## **PARTIE III :**

### **COMPOSITION ET VALEUR NUTRITIONNELLE**

---

D'après BEAUDAUX, 1994 ; CONAN, 1990 ; COISNE-WALLART, 1995 ; D'ERR, 1998 ; DE BLAUWE, 2002 ; GLOVER, 1998 ; RICCALDI, 1988.

#### **I- UNE GRANDE VARIABILITE DES COMPOSITIONS**

---

Nous avons vu dans la section précédente que les constituants de la bière finie dépendent naturellement des matières premières utilisées, mais aussi de la méthode de brassage employée et du type de fermentation et de maturation mis en œuvre. Il n'existe donc pas « une » bière mais « des » bières. Ainsi, une bière de « luxe » sera moins riche en alcool qu'une bière « spéciale ». Mais deux bières de « luxe » peuvent avoir des teneurs en glucides ou en alcool présentant des différences notoires. De même, pour deux bières de même catégorie, de même marque, le degré d'alcool peut être plus ou moins élevé en fonction de son atténuation. Le tableau ci-après (Tableau III) compare, pour 5 profils de bières, la teneur en différents constituants parmi les centaines identifiés dans la bière.

Le premier profil est celui d'une bière blonde de fermentation basse, type Pilsen, dont la fabrication couvre près de 80 % de la production mondiale. Les valeurs présentées sont la résultante de la moyenne de centaines d'analyses effectuées. Les deuxième et troisième profils se rapportent respectivement à une bière pâle allemande (bavaroise) et une bière Lager américaine. Ils mettent en évidence la teneur bien moins importante de la bière américaine en acides aminés, en certains sels minéraux et en certaines vitamines. Ceci s'explique par le fait qu'aux Etats-Unis, beaucoup de grains crus sont utilisés à côté du malt (riz, maïs, etc.), ainsi que sucres et sirops déficients en ces constituants, alors que la loi de pureté allemande exige

l'utilisation exclusive du malt. Le quatrième profil est celui d'une bière brune. Le dernier profil se rapporte à une bière sans alcool. Celle-ci, hormis sa faible teneur en alcool, présente un taux de calories presque de moitié inférieur à celui d'une bière classique, un taux de glucides plus important du fait de la réduction de la fermentation, mais aussi un taux de protéines plus faible, la quantité de grains crus autorisée étant souvent plus élevée. On remarquera également une teneur plus faible en sodium et plus élevée en phosphates par rapport aux autres bières. La teneur en biotine et en vitamine B3 est également plus importante. Notons enfin que la mention de la teneur en lipides a volontairement été occultée de ce tableau. En effet, les matières grasses provenant de certaines matières premières sont retenues dans la drêche et seule une infime partie négligeable passe dans le moût et la bière.

Ainsi, la diversité de tous ces éléments qui confèrent à la bière son identité et son originalité, pourra contribuer à un apport répondant aux besoins naturels de l'organisme.

Tableau III : Comparaison des principaux constituants de certaines bières

CONSTITUANTS	UNITES pour 1 L	TYPES DE BIERES				
		PILSEN	PALE Bavaroise	LAGER américaine	BRUNE	SANS ALCOOL
EAU	g	925	920	940	910	-
Densité	%	11,8	11,8	11,5	12,8	-
ALCOOL en vol.	%	4,7	4,7	4,6	5,1	0,9
ALCOOL en poids	g/100g	4	3,7	3,6	4,2	-
CALORIES	Kcal	440	430	420	450	275
<b>GLUCIDES TOTAUX</b>	g	35	-	-	35	55
Glucose	mg	150	-	-	-	-
Fructose	mg	30	-	-	-	-
Saccharose	mg	5	-	-	-	-
Maltose	mg	1430	-	1100	-	22 500
Maltotriose	mg	1930	-	-	-	-
<b>PROTEINES</b>	g	5	4,6	3,2	4	3
<b>ACIDES AMINES</b>	g	1,2	1,1	0,37	-	0,29
<b>SELS MINERAUX</b>	g	-	-	-	-	1,5
Phosphore	mg	258	290	380	200	450
Calcium	mg	65	28	47	60	40
Magnésium	mg	100	93	76	90	60
Potassium	mg	375	449	330	570	300
Sodium	mg	37	21	42	100	30
<b>VITAMINES</b>						
Thiamine B1	µg	77	45	-	0,3	0,16
Riboflavine B2	mg	0,48	0,32	0,25	1,00	0,15
Niacine B3 ou PP	mg	5,75	7,38	5,2	1,00	8,00
Ac. Pantoténique B5	mg	0,8	1,58	1,6	0,3	0,3
Pyridoxine B6	mg	1,1	0,56	0,39	1,7	0,36
Ac. Folique B9	µg	115,0	-	-	1,4	-
Cobalamine B12	mg	0,11	-	-	-	0,12
Biotine H	µg	8,0	6,0	9,0	-	10,0
<b>OLIGO-ELEMENTS</b>						
Cuivre	mg	0,29	-	0,16	traces	traces
Fer	mg	0,20	-	0,08	-	traces
Fluor	mg	0,66	-	-	-	traces
Zinc	mg	0,38	-	-	-	traces
<b>ACIDES ORGANIQUES</b>	g	0,6	0,45	0,48	0,8	-
<b>ALCOOLS SUPERIEURS</b>	g	1,55	-	-	-	-
<b>COMPOSES AROMATIQUES</b>	mg	1,6	1,73	1,65	2,1	-
CO <sub>2</sub>	g	5	-	5,5	5,2	5,5
pH		4,2	4,5	4,3	4,0	-

« - » : données non fournies

## II- L'EAU ET L'EXTRAIT SEC

---

### 1. L'eau

#### a- L'eau de l'organisme humain

Le corps humain est constitué de 50 à 70 % d'eau, pourcentage dépendant de l'âge, du sexe (proportion plus importante chez l'homme que chez la femme) et de la corpulence. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, la teneur en eau est proportionnellement plus importante chez les sujets maigres que chez les sujets obèses car elle est plus présente dans les muscles que dans les tissus adipeux. Certains organes sont plus riches en eau que d'autres. Ainsi, les os en contiennent très peu alors que le cerveau en contient 80 % de son poids. Notons que si le corps humain possède des réserves alimentaires sous forme de graisses ou de sucres, de vitamines et de minéraux, il ne stocke pas d'eau.

L'eau a une importance vitale pour l'homme puisqu'elle est un composant structural des macromolécules. Elle est également solvant de nombreux composants de bas poids moléculaire et sert de milieu de création de liaisons hydrogène entre de nombreux composants. Elle sert également de substrat dans de nombreuses réactions enzymatiques. Enfin, l'eau est le thermorégulateur de l'organisme.

Dans notre organisme, chaque organe est constitué de cellules qui renferment de grandes quantités d'eau. Cette eau intracellulaire représente 60 % de l'eau totale, soit 30 à 40 % du poids du corps. Par contre, l'eau extracellulaire, présente dans le sang et les liquides interstitiels qui assurent les échanges intercellulaires, constitue 35 à 45 % de l'eau totale soit 17 à 30 % du poids du corps. Le plasma sanguin est capital dans son rôle de transport des cellules sanguines, des cellules de l'immunité, des protéines, des immunoglobulines, des hormones et autres substances. L'eau qui le constitue ne représente que 8 % de l'eau totale.

Ainsi, pour que notre organisme ne subisse de graves désordres, il est impératif que la quantité d'eau de notre corps, principalement celle de nos cellules, ne varie que très peu. Or, la perte d'eau est constante.

b- Les causes de pertes d'eau

La perte d'eau est sans conséquence importante lorsqu'elle n'excède pas 2 % de la masse corporelle. Par contre, si elle atteint entre 3 et 6 % du poids du corps, cette perte peut devenir très dangereuse. Les pertes quotidiennes atteignent 2,5 litres. Les causes de pertes d'eau sont multiples :

- la respiration par laquelle l'organisme rejette de la vapeur d'eau,
- les urines dont la quantité éliminée est fonction de la quantité de liquide absorbé, représentent des pertes d'eau importantes de l'ordre de 1,4 litres par jour,
- La salive et les sécrétions pancréatiques et biliaires,
- Les larmes dont l'évaporation à la surface de l'œil ou par le canal lacrymal est minime mais pas négligeable,
- Le travail musculaire est de loin la principale cause de perte d'eau. Tous les organes ont besoin d'énergie pour fonctionner. Les muscles squelettiques et le cœur en sont de gros consommateurs. Cette consommation d'énergie se traduit par la production de chaleur. Pour abaisser la température, l'organisme fait appel à la sudation. L'évaporation d'eau au niveau de l'épiderme se traduit par une perte calorifique. En effet, la perte d'un litre de vapeur d'eau par la peau permet d'éliminer environ 600 calories. Cependant, cette déperdition d'eau, dont une grande partie provient du plasma sanguin, demande à être rapidement compensée voire anticipée.

### c- Les apports en eau

Si l'on admet qu'en termes d'apport endogène, la combustion des nutriments produit quotidiennement environ 0,3 litre d'eau et les différents aliments 0,7 litres, l'apport complémentaire doit donc être de 1,5 litres par jour, compte tenu de la perte totale moyenne par l'organisme d'environ 2,5 litres. Le dénominateur commun à toutes les boissons est bien de contenir une proportion élevée d'eau. Cependant, elles possèdent toutes des compositions et des propriétés différentes.

La première boisson qui vient à l'esprit et qui est sans doute la plus naturelle est l'eau. Les eaux de source ou dites minérales, quoique possédant souvent une minéralisation différente, ont l'avantage d'être fort bien contrôlées par les services de contrôle qualité des usines productrices. Chaque individu choisira une eau dont la composition est adaptée à son cas : les uns éviteront une eau trop riche en sodium, les autres éviteront les excès de calcium. Par contre, moins recommandable, l'eau de distribution urbaine présente des inconvénients sur les plans qualitatif et quantitatif. En effet, une « eau du robinet » de qualité devient une boisson rare et donc chère : de 1,80 à 3,80 € le mètre cube selon les régions et les villes, avec un tarif en augmentation de 8 % en 3 ans de 1998 à 2001, après avoir littéralement flambé de 1990 à 1994 (+ 50 %). Par ailleurs, combien de fois les médias ont-ils fait état d'une ville privée momentanément d'eau potable, d'une rivière polluée par des produits chimiques ou autres, d'une nappe phréatique fortement contaminée par les nitrates...

D'autres boissons sont consommées quotidiennement, en partie pour leur caractère stimulant, tels le café ou le thé, mais en quantités finalement assez marginales. Les adolescents ont d'autre part très souvent recours à des boissons modernes, gazeuses et sucrées qui contiennent entre autres des excitants nuisibles, ou encore des « soi-disant » jus de fruits qui, le plus souvent, se révèlent n'être que des solutions sucrées, gazéifiées artificiellement, aromatisées par des extraits, auxquelles on ajoute de surcroît des colorants et des édulcorants. Ces boissons n'ont aucune qualité à apporter à l'organisme mais ont surtout pour effet de favoriser l'embonpoint voire l'obésité. Le vin et les boissons alcoolisées, quant à elles, seront traités dans le chapitre consacré à l'alcool.

Reste la bière ! Comme l'indique le Tableau III présenté en première partie de cette section, la bière contient 92 à 94 % d'eau. Elle est la boisson hygiénique par excellence car aucun germe pathogène ne peut s'y développer en raison d'un pH bas et de sa teneur en résines de houblon. De plus, sa coloration et son arôme sont naturels et résultent des matières premières utilisées, tout comme le dioxyde de carbone qu'elle contient, pur produit de la fermentation. Qui plus est, son apport en minéraux, oligo-éléments et vitamines ne peut être que fort appréciable. Ainsi, la bière, boisson rafraîchissante, pétillante et mousseuse, faiblement alcoolisée, tout en étant calorique, n'est elle pas la meilleure source d'eau ?... car tout en procurant un plaisir certain, elle permet de boire utilement.

## **2. L'extrait sec**

Lorsque l'on évapore l'eau de la bière, on obtient un extrait sec de l'ordre de 40 g/L en moyenne. L'analyse de cet extrait permet de déterminer sa composition :

- hydrates de carbone pour 80 %, dont 40 % de dextrans et 8 % de sucres fermentescibles, substances énergétiques extrêmement digestibles.
- Matières azotées pour 8 %, dont 80 % à bas poids moléculaire (dont 18 acides aminés).
- Glycérine pour 5 %.
- Polyphénols : 150 mg/L.
- Isohumulones : 25 mg/L.
- Minéraux, oligo-éléments et vitamines pour 3 à 4 %.
- Alcool et dioxyde de carbone font l'objet de déterminations spécifiques.

Tous ces éléments seront commentés dans les paragraphes suivants en développant leur intérêt sur le plan nutritionnel.

### III- LES GLUCIDES

---

#### 1. Composition et apports énergétiques

Les glucides représentent, avec l'alcool, les constituants énergétiques les plus importants de la bière. Les bières les plus consommées en France contiennent pour un litre, de 30 à 40 g de glucides, soit un apport énergétique de 120 à 160 kcal. Les glucides représentent 80 % de l'extrait restant dans la bière et sont constitués par 70 à 80 % de dextrines, 10 à 20 % de pentosanes ainsi que de petites quantités de différents sucres tels le maltose, le maltotriose et des sucres simples, tels les pentoses.

Les dextrines sont issues de la dégradation enzymatique de l'amidon de malt au cours du brassage. Les pentosanes et les pentoses sont les produits de l'hydrolyse des hémicelluloses et des gommes par les enzymes de l'orge. Maltose et maltotriose sont des vestiges de la fermentation. Avant la fermentation, le moût est riche en maltose que les levures transforment en alcool. La teneur de la bière en maltose est donc inversement proportionnelle à sa teneur en alcool. Un litre de bière fournissant 35 g de glucides contient donc 27 g de dextrines, 3 g de maltose et de maltotriose et 5 g de pentosanes et pentoses. En comparaison, on admet que un litre de vin apporte selon sa nature de 2 à 10 g de glucides, alors qu'un litre de soda en renferme 100 à 120 g et un litre de jus de fruit 100 à 180 g. La bière complète donc de manière intéressante l'apport journalier de glucides par l'alimentation quotidienne.

#### 2. Métabolisme

Les glucides sont des substances énergétiques rapidement assimilés par l'organisme et d'une extrême digestibilité. L'apport en glucides se fait essentiellement sous forme de polysides et de diholosides : lactose (glucose + galactose), saccharose (glucose + fructose), maltose (glucose + glucose). La digestion de ces polysides et de ces diholosides se fait au niveau de l'iléon. Elle aboutit à des sucres simples qui sont absorbés activement. Il existe un taux

maximum d'absorption de 12 g pour 100 ml. Ils pénètrent ensuite dans la circulation sanguine et sont stockés sous forme de glycogène au niveau du foie et des tissus adipeux. Le glucose est le principal sucre dans l'organisme. C'est lui qui distribue l'énergie aux cellules. Sa concentration demeure constante, même si les apports alimentaires et les dépenses énergétiques (efforts physiques) varient. La glycémie est stable, comprise entre 0,6 g/L et 1,1 g/L chez l'adulte. Le maintien d'une glycémie stable dépend de l'apport alimentaire, mais aussi d'une sécrétion hépatique (voies de la néoglucogénèse et de la glycogénolyse). Par ailleurs, la glycémie varie en fonction de l'activité de l'individu, de son alimentation, de ses capacités hormonales et de la quantité d'insuline circulante.

### **3. Bière et paramètres métaboliques**

D'origine céréalière, une bière à 5° comporte en moyenne 35 g/L de glucides, essentiellement issus de dextrines. Son contenu en alcool est relativement modéré. De par cette composition, elle est susceptible d'induire des modifications des paramètres métaboliques concernant essentiellement les métabolismes des glucides et des lipides. En effet, les apports en hydrates de carbone et en alcool constituent des substrats pour la synthèse des triglycérides. Les sucres absorbés induisent une sécrétion d'insuline pour faciliter leur utilisation.

Dans une étude réalisée par le Centre de Nutrition Humaine de Nancy (DEBRY, 1994), treize sujets volontaires sains, de poids normal et stable, ont ingéré pendant quatre semaines au cours du repas du midi et du soir 330 ml de bière en plus d'une ration glucido-lipido-protidique qualitativement équilibrée et libre sur le plan quantitatif. Ces 330 ml de bière à 5° apportent environ 13 grammes d'hydrates de carbone. Au début et à la fin de chaque période expérimentale (période « bière » ou période « eau »), un repas test a permis d'explorer les évolutions de la glycémie, de l'insulinémie et des triglycérides plasmatiques après ingestion d'un repas comportant ou non de la bière.

## a- Evolution des paramètres glucidiques

### *α) La réponse glycémique*

Au début de la période bière, lors du premier repas-test, la réponse de la glycémie est significativement plus importante par rapport au repas-test réalisé en début de période « eau ». Le niveau glycémique après consommation de bière au cours du repas reste stable dans le temps. Après consommation d'eau, on constate une réduction des valeurs de la glycémie par rapport au niveau de base. Après consommation de bière, la glycémie diminue moins significativement. Il n'existe pas d'hypoglycémie après le repas-test comportant de la bière.

La bière de table, contrairement aux boissons sucrées, entraîne peu d'hyperinsulinisme selon les résultats d'une étude réalisée auprès de jeunes. Alors que la consommation de boissons sucrées induit un cercle vicieux (hausse des concentrations en glucose et en insuline et augmentation de l'indice de masse corporelle), la bière de table n'affecte pas le métabolisme glucidique sans doute parce qu'elle contient des sucres fermentés (JANSSENS *et al.*, 1999).

### *β) La réponse insulinémique*

Parallèlement à l'augmentation de la glycémie, la réponse insulémique est globalement plus importante avec le repas-test comportant de la bière par rapport au repas-test comprenant de l'eau.

A la fin de chaque période (« bière » ou « eau »), l'analyse des paramètres glucidiques au cours des mêmes repas-tests met en évidence l'existence d'une diminution des réponses glycémiques, notamment deux heures après l'ingestion du repas, sans hypoglycémie réactionnelle. Parallèlement, il existe une réduction de la réponse insulémique. Ces résultats semblent témoigner d'une adaptation progressive de l'organisme à l'apport régulier et modéré de bière au cours des repas.

Dans une autre étude sur les relations entre insulinémie à jeun, résistance à l'insuline et apports en alcool, 938 hommes non diabétiques américains ont été suivis. Après ajustement

sur différents paramètres et facteurs de risque, les analyses ont révélé que les sujets consommant des quantités modérées d'alcool ont le taux le plus bas d'insuline à jeun et une moindre insulino-résistance. Comparativement aux buveurs modérés, les sujets ne consommant pas d'alcool ont un index insulino-résistant à jeun plus élevé. Dans cet échantillon d'hommes non diabétiques, les buveurs modérés ont une insulémie à jeun plus basse et un niveau d'insulino-résistance plus faible, et donc a priori un risque cardiovasculaire moindre lié à cette diminution de l'insulino-résistance. Il est ainsi possible qu'une consommation modérée d'alcool ait un effet bénéfique sur l'insulino-résistance (LAZARUS *et al.*, 1997).

### *χ) Chez les diabétiques*

Chez les diabétiques insulino-dépendants, la consommation d'alcool est associée à un risque accru d'hypoglycémie. La consommation modérée d'alcool par des sujets en bonne santé, après un repas, n'entraîne pas d'hyper ou d'hypoglycémie aiguë mais un risque différé d'hypoglycémie le matin si l'ingestion d'alcool a eu lieu le soir.

Le risque d'hypoglycémie lié à l'alcool s'observe surtout chez les sujets à jeun ou chez des alcoolodépendants. Chez ces derniers, des hypoglycémies moins reconnues peuvent survenir. Il est donc préférable de recommander aux diabétiques de ne pas boire de boissons alcoolisées à jeun. Ceci est peut-être différent avec la bière en raison de son contenu en glucides, mais n'a pas été démontré (MEEKING et CAVAN, 1997). Ce mécanisme peut s'expliquer par l'inhibition de la néoglucogénèse (SITER *et al.*, 1998).

En revanche, boire du vin au cours du repas n'augmente pas la glycémie, voire la diminue, selon les résultats d'une étude récente menée chez des sujets diabétiques non insulino-dépendants (GIN *et al.*, 1999).

## b- Evolution des paramètres lipidiques

Les sucres et l'alcool sont deux substrats pour la formation des triglycérides. Dans une étude menée chez 728 travailleurs japonais, concernant les relations entre habitudes alimentaires, mode de vie et taux de triglycérides, les auteurs ne trouvent aucune relation entre la consommation d'alcool et le taux de triglycérides. L'inactivité physique ainsi qu'un régime alimentaire gras sont associés de manière positive aux triglycérides (KAWABATA *et al.*, 1997).

Dans l'étude du Professeur DEBRY à Nancy, l'évolution des triglycérides plasmatiques, dans les quatre heures suivant la consommation d'un repas-test, est mesurée au début et à la fin de chaque période de consommation (« bière » ou « eau »). Lors de la consommation de bière, au cours du premier repas-test réalisé en début d'étude, les réponses des triglycérides sont significativement plus importantes par rapport à celles obtenues au cours du repas homologue de la période « eau ». Au cours du second repas-test, réalisé à la fin de la période « bière », l'élévation des triglycérides tend à diminuer par rapport au repas-test effectué en début d'étude. A la fin de chaque période, c'est-à-dire au cours du second repas-test, les différences entre la période « bière » et la période « eau » sont significatives. Cependant, elles sont moins importantes par rapport à celles observées au cours du premier repas-test. Ceci témoigne à nouveau d'une adaptation possible de l'organisme, peut-être secondaire à la réduction de la réponse insulinique constatée en fin de période bière.

Comme pour les ingestions caloriques, l'organisme, ou plus particulièrement le métabolisme, est capable de s'adapter à un apport énergétique supplémentaire et modéré sous forme de bière. En situation aiguë, la consommation de bière entraîne des réponses de triglycérides plasmatiques plus importantes après un repas-test. Lors d'une consommation régulière et modérée, les différences s'atténuent. Chez les sujets de poids normal et stable, l'ingestion chronique de 660 ml de bière, si elle entraîne des variations des paramètres enregistrés après le repas, n'est pas responsable de modifications des paramètres métaboliques de base. L'organisme est capable de s'adapter à ce nouvel apport énergétique. En effet, on constate en fin de période, après quatre semaines d'une consommation modérée et régulière, des réponses métaboliques plus faibles.

La consommation modérée de bière et ses effets sur le métabolisme lipidique et l'activité anti-oxydante ont été étudiés chez des patients coronariens masculins (GORINSTEIN *et al.*, 1997). Quarante-huit sujets ont été nécessaires pour cette étude, séparés en deux groupes de 24 chacun, un groupe expérimental et un groupe contrôle. Chaque patient du groupe cas a reçu pendant une période de 30 jours consécutifs 330 ml de bière apportant 10 grammes d'alcool. Le groupe témoin n'a pas consommé d'alcool durant la même période. Une large batterie de tests incluant cholestérol total, LDL cholestérol, HDL cholestérol, tocophérol et alpha-tocophérol ont été réalisés. Dans le groupe de buveurs de bière, on note une élévation du cholestérol HDL et du taux d'anti-oxydants. Les auteurs concluent que même sur une courte période de consommation modérée, la bière conduit à des variations biochimiques favorables dans le cadre de la prévention des pathologies cardiovasculaires. L'effet antiathérogène de l'alcool est d'autant plus important que l'alimentation est à risque par ailleurs (RUMPLER *et al.*, 1999).

## IV- LES PROTEINES

---

### 1. Leur rôle et les besoins

Une alimentation équilibrée requiert en moyenne 30 g de protéines par jour pour un bon équilibre azoté. Celles-ci apportent de surcroît environ 10 % des calories nécessaires. Mais leur importance est bien plus physiologique qu'énergétique. Les 30 g de protéines journalières devraient être fournies pour un tiers à la moitié par des protéines animales soit 170 g de viande, 180 g de volaille, 200 g de poisson frais ou 4 œufs.

Les besoins en protéines varient avec l'âge et le sexe des individus. C'est jusqu'à l'âge de 4 ans qu'ils sont les plus importants : de 1 à 2 g/kg de poids/jour, pour se maintenir entre 0,5 et 1g/kg de poids/jour pendant l'adolescence. Ces besoins diminuent encore pour se stabiliser enfin à l'âge adulte.

Les protéines sont décomposées dans notre organisme par les enzymes digestives, telles la pepsine de l'estomac ou la trypsine du pancréas, en peptides et acides aminés. Il existe 20 acides aminés naturels, parmi lesquels figurent 8 acides aminés essentiels que l'homme est incapable de synthétiser et qui doivent donc figurer dans sa ration journalière. Ce sont :

- L'isoleucine et la leucine,
- La lysine qui intervient dans les processus de croissance, stimule l'appétit et contribue à améliorer les fonctions digestives,
- La méthionine,
- La phénylalanine qui conditionne en partie l'activité et l'utilisation de la vitamine C,
- La thréonine,
- Le tryptophane qui possède une action orientée vers la formation de la vitamine PP,
- La valine.

Ces acides aminés essentiels sont tous contenus dans la bière. Mais outre ces acides aminés essentiels, la bière contient aussi :

- L'arginine qui possède des propriétés stimulantes du foie,
- La cystine, riche en soufre, assure la solidité du système cutané,
- L'histidine nécessaire à la formation et à la croissance des globules rouges,
- La tyrosine qui préside à la formation de 2 hormones : l'adrénaline, vasoconstrictrice de la circulation périphérique et la thyroxine, hormone thyroïdienne qui agit sur le métabolisme basal.

Le Tableau IV ci-dessous, emprunté au *Food and nutrition Board*, rappelle les besoins en acides aminés chez l'adulte, en mg par kg de poids et par jour.

**Tableau IV : Besoins de l'adulte en acides aminés essentiels (en mg/kg/j)**

Acides aminés	Homme	Femme
Isoleucine	10,4	5,2
Leucine	9,9	7,1
Lysine	8,8	3,3
Méthionine	1,5	3,7
Phénylalanine	4,3	3,1
Thréonine	6,5	3,5
Tryptophane	2,9	2,1
Valine	8,8	9,2

2.

## **Teneur des bières en protéines et en acides aminés**

La bière contient de 3 à 5 g/L de protéines brutes qui proviennent pour 85 % des matières premières et pour 15 % des levures. Ces protéines sont présentes sous forme d'acides aminés libres à 32 %, de peptides (20 %) hydrolysables en acides aminés par la pepsine et 18 % sont des protéines hydrolysables par les protéases intestinales, soit au total 70 à 75 % de protéines assimilables. La bière contient tous les acides aminés essentiels, pour une teneur de 300 à 500 mg/L.

La teneur en protéines d'une bière et sa constitution en acides aminés dépendent de plusieurs facteurs : la désagrégation du malt, la quantité de grains crus utilisés, la méthode de brassage et surtout de fermentation au cours de laquelle l'absorption des acides aminés par les levures peut être fort variable, en fonction de la souche et du type de levure utilisé. Le Tableau V ci-après donne l'apport en acides aminés de différents types de bières.

Si l'on admet une consommation d'un litre de bière par jour, on en déduit qu'une bière de type Pilsen fournit environ 10 % des besoins en protéines, les types Ale et Stout environ 12 % et la Trappiste 14 %.

Si l'on considère les besoins en acides aminés essentiels, ceux-ci constituent une part importante de l'apport total en protéine soit 17 à 20 % pour une Pilsen, 12 à 16 % pour une Ale de fermentation haute, 18 à 22 % pour la Trappiste. Il est par ailleurs possible de calculer le pourcentage de couverture en acides aminés essentiels représenté par la consommation d'un litre de bière par jour chez un adulte de 70 kg. Ces valeurs figurent dans le Tableau VI ci-après.

**Tableau V : Quantités d'acides aminés apportées par 1 litre de différentes bières (en mg)**

<b>ACIDES AMINES</b>	<b>Pilsen</b> 4,7 % alcool	<b>Ale</b> 5 % alcool	<b>Stout</b> 5 % alcool	<b>Trappiste</b> 5,8 % alcool
Acide aspartique	142	167	138	265
Thréonine	64	76	56	117
Sérine	78	92	72	142
Acide glutamique	470	592	554	830
Proline	398	420	377	545
Glycine	133	140	121	228
Alanine	120	107	89	252
Valine	84	79	76	171
Méthionine	38	38	24	43
Isoleucine	52	59	52	92
Leucine	75	91	87	152
Tyrosine	63	49	41	117
Phénylalanine	58	63	61	128
Histidine	62	69	52	88
Lysine	83	115	87	115
Arginine	84	92	74	165
Tryptophane	25	31	28	35
Par rapport aux protéines totales (g/L)	2,7	3,46	3,77	4,51

**Tableau VI : Taux de couverture des besoins en acides aminés essentiels apportés par la consommation d'un litre de différentes bières (%)**

<b>ACIDES AMINES ESSENTIELS</b>	<b>Pilsen</b> 4,7 % alcool	<b>Ale</b> 5 % alcool	<b>Stout</b> 5 % alcool	<b>Trappiste</b> 5,9 % alcool
Isoleucine	7	8	7	13
Leucine	11	13	13	22
Lysine	13	19	14	19
Méthionine	37	37	23	40
Phénylalanine	19	21	20	42
Thréonine	14	16	12	26
Tryptophane	12	15	14	17
Valine	14	13	12	28

La lysine, acide aminé limitant pour les menus à base de céréales, apportée par la consommation d'un litre de bière couvre, selon le type, 13 à 19 % des besoins. La méthionine, acide aminé limitant pour les régimes à base de légumineuses, apportée par la consommation d'un litre de bière couvre quant à elle et selon le type, 23 à 40 % des besoins.

Il est donc possible d'affirmer que la bière constitue, à travers sa teneur en acides aminés essentiels, un apport qualitatif non négligeable à notre ration protidique quotidienne. Les besoins de l'homme sont 10 à 25 fois supérieurs à ce qu'apporte un litre de bière mais les acides aminés libres à ces concentrations sont des stimulants très actifs du goût et des sécrétions digestives.

## V- SELS MINÉRAUX ET OLIGO-ELEMENTS

---

### 1. Les sels minéraux

Chacun des éléments minéraux mentionnés ci-après sera examiné sous l'aspect de son utilité pour notre organisme, de sa quantité présente dans la bière et de sa part de couverture des besoins totaux.

Ce sont en général des substances naturelles destinées à compenser les pertes organiques dues à la dégradation normale des tissus, en rapport avec les différents processus biochimiques. Du fait des techniques modernes de culture et de production, les aliments de base en contiennent de moins en moins. Or, la bière est riche en un certain nombre de ces sels minéraux et est donc une source d'apport intéressante.

Les éléments minéraux ne sont jamais ingérés à l'état pur par l'organisme mais sous forme de sels organiques. Dans le cas de la bière, par exemple, on note la combinaison du soufre et du phosphore avec des protides.

#### a- Le magnésium

Le magnésium est un minéral essentiel au bon fonctionnement de l'organisme humain. Pour avoir un effet optimal, il doit être en équilibre dans le corps avec le calcium, le phosphore, le potassium et le chlorure de sodium. Il participe à de nombreux processus physiologiques allant de la contraction musculaire à la coagulation sanguine en passant par le métabolisme des lipides, la synthèse protéique et la production de l'adénosine triphosphate (ATP), molécule énergétique principale de l'organisme. Il contribue également à la fixation du calcium et intervient dans les mécanismes de transmission de l'influx nerveux. Environ 60 % du magnésium de l'organisme se trouve dans les os et les dents tandis que le reste se situe

principalement à l'intérieur des cellules où il jouerait un rôle primordial sur les parois cellulaires.

Etant donné que le magnésium de source alimentaire est surtout associé à des aliments plutôt riches en calories, la tendance alimentaire actuelle à diminuer l'apport en calories tend à créer un déficit généralisé en magnésium au sein des populations de nos sociétés industrialisées. De plus, le raffinage généralisé des aliments tend à faire diminuer significativement leur teneur en magnésium. Le magnésium est en fait un des rares nutriments essentiels pour lesquels la carence est relativement répandue. L'hypomagnésémie, souvent associée à de faibles taux de potassium et de calcium, s'observe surtout en cas de troubles digestifs, diarrhée notamment. Elle est fréquente chez les alcooliques chez qui elle pourrait favoriser l'apparition du *delirium tremens*. Certains médicaments comme les diurétiques, les hormones de substitution, le cisplatine, la ciclosporine, la digitoxine et les antiacides gastriques peuvent entraîner une carence.

Les symptômes d'une carence sont la confusion, la perte d'appétit, la dépression, des contractions musculaires, des crampes, un rythme cardiaque anormal et des spasmes coronariens. Parce qu'une déficience en magnésium a des effets sur la concentration de potassium, de sodium et de calcium dans les cellules, certains scientifiques pensent qu'elle affecte directement la fonction cardiaque. On soupçonne de plus en plus la carence magnésique d'être aussi responsable, du moins en partie, de maladies cardio-vasculaires, de diabète, de maladies dont le déclenchement implique les radicaux libres et on pense que le déficit magnésique pourrait contribuer au processus du vieillissement et à la vulnérabilité aux maladies liées au vieillissement.

Les besoins quotidiens de l'adulte sont de l'ordre de 350 à 450 mg. Selon la variété et la densité de la bière, celle-ci peut en contenir de 70 à 135 mg/L. Un litre de bière peut donc couvrir de 20 à presque 40 % des besoins totaux en cet élément.

## b- Le calcium

Sel minéral le plus abondant dans notre organisme, le calcium représente 2 % du poids corporel. Il se concentre à près de 99 % dans les os et les dents. La petite proportion restante joue tout de même un rôle primordial auprès des cellules musculaires, cardiaques en particulier, et nerveuses, en plus de participer aux fonctions rénales, au mécanisme de la coagulation sanguine ainsi qu'à plusieurs processus enzymatiques.

Certains experts estiment que, malgré des campagnes promotionnelles soutenues pour les produits laitiers, notre alimentation nous procure généralement moins de calcium que ce qui est recommandé par les normes actuelles. Il faut en voir la cause dans la proportion accrue de calories vides et d'aliments hypertransformés dans l'alimentation moderne. La carence en calcium ne peut être diagnostiquée qu'à l'aide d'analyses effectuées en laboratoire. Les signes extérieurs observables ne se manifesteront qu'à très long terme : ostéoporose, problèmes de la dentition et des gencives, troubles rénaux, hyperparathyroïdie, etc.

Le niveau d'absorption du calcium varie selon :

- l'âge (plus on est jeune, plus il est élevé),
- l'ethnie (les Africains et les Asiatiques absorbent mieux le calcium que les personnes d'ethnie blanche),
- l'alimentation (les apports en vitamine D, en bore et en magnésium jouent un rôle important dans l'absorption du calcium).

Les besoins de l'homme adulte sont de l'ordre de 700 mg à 1 g par jour. Dans la bière, le calcium est présent sous forme de phosphates à des concentrations de l'ordre de 30 à 70 mg/L. La consommation d'un litre de bière est donc susceptible de couvrir 4 à 10 % des besoins totaux, ce qui est certes bien moins important qu'un litre de lait dont l'apport calcique est d'environ 1250 mg, mais n'est cependant pas à négliger.

### c- Le potassium

Le potassium est un minéral qui assure plusieurs fonctions vitales dans l'organisme. Comme pour le sodium et le chlore, ce sont les reins qui régularisent le taux de potassium dans l'organisme : ils en éliminent 90 % et les 10 % restants sont évacués par les selles. Le potassium travaille en collaboration étroite avec le sodium pour maintenir l'équilibre acido-basique du corps et celui des liquides intra- et extracellulaires. Essentiel à la transmission de l'influx nerveux, à la contraction musculaire, y compris celle du muscle cardiaque, important dans le fonctionnement des reins et des glandes surrénales, il participe à de nombreuses réactions enzymatiques, à la synthèse des protéines, au métabolisme des hydrates de carbone (conversion du glucose en glycogène, libération de l'insuline).

Une carence en potassium (hypokaliémie) peut être provoquée par la prise de diurétiques, un régime sans sel strict, l'abus de laxatifs ou une corticothérapie prolongée. Dans ces cas, une alimentation riche en potassium suffit souvent à combler le manque organique. Le potassium est d'ailleurs beaucoup mieux assimilé lorsqu'il provient des aliments que lorsqu'il est pris sous forme de supplément. La carence en potassium est rare. Elle peut résulter de l'emploi de certains médicaments ou survenir après une période prolongée de vomissements et de diarrhée. Elle peut provoquer de l'arythmie, de la faiblesse musculaire, des changements d'humeur, des nausées et des vomissements.

Comme le potassium est largement présent dans l'alimentation, les autorités n'ont pas fixé d'apport nutritionnel recommandé. De façon générale, l'apport suffisant pour les adultes est de 1,6 à 2,5 g/jour.

La teneur en potassium des bières provient essentiellement du malt. Une bière de type Pilsen peut en apporter en moyenne de 350 à 500 mg/L soit environ 20 % de l'apport journalier. Dans la bière, son rapport avec la faible teneur en sodium (rapport 7 : 1) est favorable à la diurèse et à la lutte contre l'hypertension artérielle. La teneur en potassium dans la bière est donc à considérer comme très favorable à la santé humaine.

#### d- Le sodium

Comme le potassium, le sodium est un régulateur des fluides de l'organisme. Il participe aussi à la contractilité musculaire et à la transmission de l'influx nerveux. Son excès peut être nuisible particulièrement sur le plan de l'hypertension artérielle, pouvant entraîner des troubles cardiaques sérieux. Le sodium arrive dans l'organisme sous forme de chlorure de sodium. Présent dans tous les sucs digestifs, il permet aux aliments d'être absorbés par la paroi intestinale.

La bière contient entre 30 et 70 mg/L de sodium, ce qui est faible et donc favorable à la santé en général. La bière peut ainsi être introduite sans crainte dans les régimes sans sel.

#### e- Le soufre

Constituant des matières azotées des cellules, le soufre participe à de nombreuses réactions vitales de l'organisme. Présent sous forme de sulfate, il entre dans la composition des acides aminés comme la cystine ou la méthionine. Il est présent dans de nombreuses sécrétions et tissus du foie, du cerveau et du pancréas. Il est actif contre les parasites et certaines toxines.

La bière en contient en moyenne de 230 à 500 mg/L, toujours sous forme de sulfate.

#### f- Le phosphore

C'est un élément nécessaire au fonctionnement musculaire et à une bonne ossification du squelette. Il joue surtout un rôle de catalyseur dans des réactions de synthèse ou de dégradation des sucres, des matières azotées ou des matières grasses. Il aide à l'absorption des nutriments déjà partiellement dégradés au niveau de certaines membranes cellulaires, pour leur élimination par les reins.

Dans la bière, il se présente sous forme de phosphates minéraux et organiques qui lui procurent cette sensation de fraîcheur que le consommateur apprécie tant. Sous ces deux formes, la bière contient de 370 à 800 mg/L de phosphore.

#### g- Le chlore

Présent sous forme de chlorure, il garantit la pression osmotique entre les milieux intra- et extracellulaires. La bière en contient en moyenne de 150 à 400 mg/L.

## **2. Les oligo-éléments**

Les oligo-éléments (du grec **ολιγοζ** : peu, restreint) sont des minéraux présents en petites quantités dans l'organisme, voire même à l'état de traces, indispensables dans l'alimentation humaine car essentiels à la constitution et au fonctionnement des enzymes du corps humain.

Les principaux oligo-éléments, tous présents dans la bière, sont le fer, le zinc, le manganèse, le fluor et l'aluminium. A contrario, la bière ne contient aucun métaux lourds toxiques tels le mercure, le plomb, le chrome, le cadmium ou le cobalt.

Ces oligo-éléments présents dans la bière proviennent des matières premières. Comme pour les sels minéraux, nous considérerons les besoins de l'homme en oligo-éléments et leur apport favorable par la bière.

## a- Le fer

Le corps d'un homme de 70 kg en renferme environ 4 g et celui d'une femme de 60 kg, 4,5 g. Le fer est présent dans l'hémoglobine des globules rouges et dans la myoglobine des muscles. Il y joue un rôle de transporteur de l'oxygène, source vitale d'énergie pour l'organisme. Il est essentiel pour la production de l'adénosine triphosphate (ATP, source première de l'énergie corporelle) et de l'ADN, en plus de participer à plusieurs processus physiologiques vitaux. Notre organisme ne peut le synthétiser et doit donc le puiser dans les aliments. Il existe sous deux formes principales : le fer héminique (présent dans les aliments d'origine animale) est facilement métabolisé par l'organisme, tandis que le fer non héminique (présent dans les aliments d'origine végétale) est moins bien absorbé. Le taux d'absorption du fer héminique est d'environ 23 % tandis que celui du fer non héminique peut varier de 2 % à 20 %, selon les cas. La différence d'absorption est due à la présence d'acides phytiques dans les végétaux. Cependant, le fer non héminique est mieux absorbé en présence de vitamine C. Il a de plus été démontré que la prise de fer héminique améliorerait l'absorption du fer non héminique. La nature étant bien faite, les chercheurs ont constaté que lorsque les réserves de fer de l'organisme diminuent, son absorption augmente.

Cependant, les pertes en fer sont insignifiantes ce qui induit une faible absorption journalière de l'ordre de 0,15 mg. La carence en fer entraîne l'impossibilité de la formation d'hémoglobine et provoque l'anémie. Par ailleurs, cette carence peut être à l'origine de troubles cutanés (perte d'élasticité de la peau, dureté des ongles) et des muqueuses, ainsi que d'une grande fatigue. Une carence en fer peut également provoquer des troubles cognitifs, un retard du développement, une aménorrhée, la perte des cheveux, une hépatomégalie. Les femmes sont plus à risque de carence parce qu'elles éliminent un peu de fer par le biais de leurs menstruations. Celles qui passent d'un régime amaigrissant à un autre sont aussi plus susceptibles de ne pas consommer assez de fer. Les végétariens et les personnes qui ont des activités physiques intenses, surtout les femmes, courent un risque accru de carence. Les pertes de sang importantes, de même qu'une croissance rapide (enfants et adolescents notamment) sont également des facteurs pouvant conduire à une carence en fer. Les personnes souffrant d'hémorroïdes, d'infections parasitaires, de colite ulcéreuse, de la maladie de Crohn, de cancers gastro-intestinaux ou de problèmes de santé provoquant des pertes de sang ou une malabsorption peuvent développer une carence en fer. Certains médicaments risquent de

provoquer une carence en fer : antiacides, antihistaminiques H2, inhibiteurs de la pompe à protons, tétracyclines.

La bière apporte en moyenne 0,20 à 0,60 mg/L ce qui couvre donc largement les besoins et peut même être salubre en cas de carence.

#### b- Le cuivre

L'organisme contient environ 150 mg de cuivre répartis dans le cerveau, les reins et le foie. Comme le fer, le cuivre est un élément essentiel à la respiration des cellules car c'est un catalyseur du processus d'oxydation des tissus et de la formation d'hémoglobine à partir du fer au niveau du foie. Il est efficace dans la prévention et le traitement des maladies infectieuses. Son efficacité est encore renforcée par son association au zinc.

Les besoins quotidiens de l'homme s'élèvent à 3,5 mg et l'on estime que l'alimentation lui en apporte de 2 à 5 mg par jour. La bière en fournit, quant à elle, de 0,20 à 0,90 mg/L ce qui constitue un apport complémentaire utile à la ration quotidienne.

#### c- Le zinc

Notre corps n'en contient qu'environ 2 g en tout, dont 65 % se retrouvent dans les muscles et 20 % dans les os. Il est présent dans toutes les cellules, notamment dans les glandes surrénales, la peau, certaines zones du cerveau, le pancréas, des membranes de l'œil, la prostate et le sperme. Il est nécessaire à une centaine de processus enzymatiques vitaux au sein du corps humain (certains experts en dénombrent plus de 300). Il participe à la synthèse de l'ADN, de l'ARN et des protéines, aux processus immunitaires et de guérison des blessures, à la reproduction, à la croissance. Il joue un rôle au niveau de l'humeur et de l'apprentissage, ainsi que dans la vision, le goût et l'odorat. Il intervient dans le processus de la coagulation

sanguine, dans les fonctions de l'hormone thyroïdienne, ainsi que dans le métabolisme de l'insuline.

Même si les quantités quotidiennes nécessaires à la bonne santé sont minimales, il est important de les prendre. Il semble qu'une légère carence en zinc soit courante dans nos sociétés modernes. Comme les meilleures sources de zinc sont les aliments d'origine animale, les végétariens stricts devraient aussi s'assurer d'un apport suffisant en zinc en consommant suffisamment de céréales entières, de légumineuses, de noix et de graines. Les alcooliques, les diabétiques, les personnes souffrant de troubles rénaux et celles aux prises avec des troubles de l'absorption digestive (maladie de Crohn par exemple) courent davantage de risques de souffrir de carence. Une carence en zinc (fréquente dans les pays en voie de développement) peut entraîner des défaillances des fonctions immunitaires (infections fréquentes et blessures qui guérissent mal), des retards dans la croissance, des troubles de l'odorat et du goût, une diminution de la fertilité masculine, des dermatites, de la diarrhée, de la dépression, une perte de poids, de l'irritabilité, de l'apathie.

Les besoins quotidiens sont de l'ordre de 20 mg dont 1 à 50 % peuvent être apportés par la bière (les résultats d'analyse sont assez variables).

#### d- Le manganèse

Oligo-élément présent à de nombreux stades de la fonction biologique, le manganèse intervient comme coenzyme de nombreuses enzymes. Il accélère le métabolisme du glucose et des graisses, joue un rôle dans les fonctions de reproduction et de lactation. Comme le cuivre et en synergie avec lui, il renforce l'immunité de l'organisme dans les états infectieux et allergiques. Il peut également jouer un rôle bénéfique dans le traitement de l'arthrose et la fatigue intellectuelle.

Les besoins journaliers sont de l'ordre de 20 mg dont 1 à 2 % peuvent être fournis par la bière.

e- Le fluor

Sous forme de fluorure de calcium, le fluor entre dans la composition des os, des dents et des cartilages. A ce titre, il agit sur les retards de la calcification et combat le relâchement des ligaments. Son rôle dans la prévention de la carie dentaire est bien connu. L'organisme en contient environ 2 g. L'apport de la bière est en moyenne de 0,54 mg/L.

f- L'aluminium

Métal toxique à dose pondérale, notamment lors de prescriptions prolongées de pansements digestifs contenant de l'hydroxyde d'aluminium, cet élément n'est pas considéré comme indispensable à la vie. A doses « catalytiques », cet élément est utilisé avec succès dans le traitement des retards mentaux, dans les troubles du sommeil et de la mémoire. La bière n'en contient que 0,06 mg/L.

## VI- VITAMINES

---

Les vitamines sont des substances organiques indispensables à la vie et qui, en quantités infinitésimales, font partie des aliments naturels. Elles n'ont aucun pouvoir calorifique mais agissent en tant que catalyseurs de réactions biologiques permettant l'utilisation des principes nutritifs apportés par les aliments et de ce fait, participent à la croissance et au bon fonctionnement de l'organisme qui ne peut en fabriquer lui-même. Leur absence ou leur carence, l'avitaminose, provoque l'apparition de phénomènes pathologiques parfois graves et aux conséquences multiples.

Les vitamines appartiennent à deux grands groupes :

- les vitamines hydrosolubles,
- les vitamines liposolubles.

La bière ne contenant pas de matières grasses, elle ne contient que des vitamines hydrosolubles et essentiellement du groupe B, énumérées dans le Tableau III en début de section. Les vitamines du groupe B possèdent chacune leur constitution propre, leur activité biologique spécifique, leur source alimentaire précise. Elles résistent particulièrement bien à la chaleur en général (cuisson ou pasteurisation) ce qui fait de la bière un véritable cocktail de vitamines B.

La vitamine C, présente dans l'orge à la germination, est totalement détruite par le touraillage. Néanmoins, la Communauté Européenne autorise son ajout à la bière en tant qu'antioxydant et à ce titre elle n'en contient qu'une très petite quantité (5 mg/L sous forme d'acide ascorbique). Les vitamines B trouvent leur origine dans le malt et la levure. Le houblon fournit uniquement la vitamine H ou biotine. La richesse vitaminique de la bière dépend de nombreux facteurs, en particulier du choix des matières premières et principalement des méthodes de fabrication, d'où des teneurs variables.

Nous passerons en revue chacune des vitamines susceptibles d'être retrouvées dans la bière en spécifiant leur rôle propre, les effets de leur carence, leur origine et la quantité à laquelle on peut les retrouver dans la bière, en valeurs extrêmes. Nous spécifierons également leur couverture des besoins journaliers, pour un adulte de 70 kg, sachant que ces besoins sont variables en fonction du sexe, du régime alimentaire, etc.

## **1. Vitamine B1 ou Thiamine**

Catalyseur biologique des réactions fournissant l'énergie à l'organisme, la thiamine intervient dans le métabolisme des lipides à partir des glucides et favorise la transmission de l'influx nerveux. Stimulant de l'appétit, elle a le pouvoir de provoquer des mouvements intestinaux. Elle favorise en outre l'absorption de l'oxygène par les cellules et l'assimilation des sucres.

Il y a diverses causes de déficience en vitamine B1 et en d'autres vitamines du groupe B :

- l'alcoolisme
- l'insuffisance d'apport, en particulier chez les personnes âgées (due à un apport excessif de glucides, notamment par voie parentérale)
- la nutrition parentérale exclusive qui n'apporte pas suffisamment de vitamine B1
- la consommation d'aliments contenant une "antithiamine" : le thé contient un antagoniste et certains poissons contiennent une thiaminase qui détruit la thiamine.

La carence en thiamine se traduit par des signes généraux, cardiaques et neurologiques :

- Signes généraux : asthénie, anorexie, amaigrissement
- Signes cardiaques : atteinte du myocarde, insuffisance cardiaque
- Signes neurologiques : paresthésies, hypo-esthésies, amyotrophie, douleur à la pression du mollet, hyporéflexivité et, sur le plan caractériel, irritabilité, troubles de la mémoire, impossibilité de se concentrer

Dans les cas de déficience grave, des encéphalopathies peuvent apparaître : psychose de Korsakoff avec désorientation et amnésie, ou encéphalopathie de Gayet-Wernicke avec désorientation, nystagmus, amnésie, confusion, troubles de l'équilibre. Ces deux types

d'encéphalopathies qui sont considérées comme une forme de béribéri, terme utilisé pour désigner les manifestations graves de la déficience en vitamine B1, demandent un traitement d'urgence par de fortes doses de vitamine B1, de l'ordre de 100 mg.

On trouve de la vitamine B1 dans la zone du germe et de l'assise protéique de l'orge (1,2 à 7,4 µg/g) mais le maltage peut réduire cette teneur de 10 %. L'ébullition du moût peut à son tour réduire cette teneur de 25 % en une heure. Si la fermentation du moût l'épuise presque totalement en vitamine B1, la levure par contre s'en enrichit très nettement. Au final, on n'en retrouve qu'une faible quantité dans la bière où elle reste par ailleurs stable lorsqu'elle est embouteillée en verre teinté. De plus, il y a intérêt à ne pas traiter la bière avec plus de 40 mg/L d'anhydride sulfureux du fait de son action nocive sur la thiamine.

Les besoins journaliers de l'homme en vitamine B1 sont de l'ordre de 1,5 mg et de 1,8 mg chez la femme enceinte. Un litre de bière en contient 5 à 150 µg, ce qui peut couvrir jusqu'à 10 % des besoins journaliers. La bière est donc une boisson assez pauvre en thiamine.

## **2. Vitamine B2 ou Riboflavine**

La riboflavine joue un rôle important dans le système d'oxydation et de respiration cellulaire comme transporteur et accepteur d'hydrogène. Elle contribue à former un coenzyme qui aide à libérer l'énergie des hydrates de carbone et des graisses. Son rôle est aussi actif au niveau du processus de la vision et dans le fonctionnement du nerf optique.

Les signes de carence en vitamine B2 sont frustes. On observe surtout des atteintes cutanéomuqueuses :

- lèvres brillantes, sèches, rouges avec croûtes et fissures
- stomatite avec langue pourpre et atrophie des papilles
- larmoiement, hypervascularisation conjonctivale, photophobie, cataracte
- séborrhée au niveau de la face

Une anémie normochrome peut également se voir. La carence en vitamine B2 pendant la grossesse augmente le risque de malformations chez l'enfant. En pratique, cette carence est toujours associée à la carence d'autres vitamines du groupe B.

On trouve de la vitamine B2 dans le germe et l'assise protéique de l'orge (1 à 3,7 µg/g, quantité multipliée par 2 ou 3 fois lors du maltage). Le brassage ne provoque qu'une infime diminution. Le houblon en fournit également (de 3 à 6 µg/g). Lors de la fermentation, le taux de riboflavine augmente d'au moins 20 %. Cependant, elle peut être détruite à 40 % après 3 mois si la bière est stockée en bouteille sans être protégée de la lumière.

Les besoins journaliers de l'homme en vitamine B2 sont de l'ordre de 1,6 mg. Ils sont de 1,2 mg chez la femme et de 1,7 mg chez la femme enceinte. Lors de l'allaitement, les besoins journaliers s'élèvent à 2 mg. Un litre de bière en contient 300 µg à 1,3 mg, ce qui peut couvrir jusqu'à 80 % des besoins journaliers. La bière représente donc une source intéressante de vitamine B2.

### **3. Vitamine B3 ou PP ou Nicotinamide ou Niacine**

Le nicotinamide ou amine de l'acide nicotinique, autre dénomination de la vitamine B3 ou encore vitamine PP (pour Prévention de la Pellagre), est un facteur important de nutrition tissulaire. Coenzyme nécessaire au métabolisme des protéines, des carbohydrates et des corps gras, elle intervient avec les autres vitamines du groupe B dans le processus d'oxydation des cellules et leur fonction de respiration. Elle intervient également dans la synthèse de la graisse corporelle et du cholestérol ainsi que dans le métabolisme de certains pigments, dont l'hémoglobine, et de l'acide pyruvique.

Sa carence est avant tout liée à la malnutrition. Elle peut être favorisée par l'alcoolisme, la cirrhose, le diabète, l'hémodialyse, certains cancers et certains antibiotiques antituberculeux. Le manque d'acide nicotinique, par déficience d'apport alimentaire ou par déficience de sa

synthèse endogène à partir du tryptophane, est à l'origine du pellagre. L'excès de leucine, en inhibant l'absorption digestive du tryptophane et la synthèse endogène d'acide nicotinique à partir du tryptophane, favorise l'apparition d'une déficience en acide nicotinique. En cas de carence on observe :

- des signes généraux : asthénie, anorexie, amaigrissement
- des signes dermatologiques : troubles cutanés, érythème douloureux
- des signes digestifs : muqueuse buccale rouge carmin, stomatite, glossite, diarrhée, gastrite, entérocolite
- des signes neuropsychiatriques : troubles sensitifs périphériques (acroparesthésies, douleurs intenses, brûlures, etc.), dépression, anxiété, confusion.

Ces symptômes sont rapidement régressifs à l'administration de vitamine PP à dose élevée. L'hypovitaminose B3 est fréquente dans les pays où la nourriture, monotone, est à base de maïs ou de riz.

On trouve la vitamine B3 dans l'orge à hauteur de 80 à 150 µg/g sous forme d'un précurseur qui se transforme en vitamine durant la germination et dont le maltage augmente la concentration de 15 %. Les opérations de brassage et de fermentation modifient peu la teneur du moût. La vitamine B3 semble très stable dans la bière stockée, que ce soit au froid, à la chaleur ou à la lumière.

Les besoins journaliers de l'homme s'élèvent à 18 mg, à 13 mg pour la femme et à 20 mg lors de l'allaitement. Un litre de bière peut en contenir de 5 à 20 mg/L, pouvant potentiellement couvrir la totalité des besoins journaliers. La bière représente donc un apport fort estimable en vitamine B3.

#### **4. Vitamine B5 ou Acide Pantothénique**

Cette vitamine entre dans la constitution du coenzyme A, élément clé du métabolisme des glucides, des lipides et des protéides. Elle joue un rôle dans la synthèse d'importants composés biologiques et est essentielle dans la croissance cellulaire. Elle agit aussi dans les affections

du cuir chevelu, d'où son emploi dans des lotions et shampooings contre la chute des cheveux. On l'utilise également pour lutter contre l'action toxique de certains antibiotiques. Elle est indispensable au développement de la levure.

La carence en acide pantothénique est rare chez l'homme. Elle se manifeste par des troubles divers :

- Signes généraux : asthénie, céphalées, sensibilité aux infections
- Signes digestifs : nausées, vomissements, douleurs épigastriques
- Signes neurologiques : acroparesthésies, fourmillements, brûlures (« pieds brûlants »).

On trouve la vitamine B5 dans l'orge (4 µg/g) dont le maltage augmente la teneur (5,6 µg/g dans le malt). Le brassage n'entraîne pas d'évolution de cette teneur mais le houblon apporte sa part (18 µg/g). Le taux maximum de vitamine B5 contenue dans le moût se trouve pendant la fermentation, après 40 heures environ, la levure assurant la synthèse de cette vitamine.

## **5. Vitamine B6 ou Pyridoxine**

La vitamine B6 intervient, pour l'essentiel, dans le métabolisme des acides aminés, alors que la vitamine B1 intervient dans le métabolisme des glucides. Elle joue un rôle important dans la synthèse de l'hémoglobine et dans la transformation du tryptophane en vitamine B3.

La carence spontanée franche en vitamine B6 est rarement observée, mais l'apport alimentaire serait, chez beaucoup d'individus, sub-optimal avec des signes de carence fruste. Les symptômes de déficience en vitamine B6 sont de divers types :

- Neuropsychiques : fatigue, apathie, insomnie, états dépressifs avec troubles du métabolisme du tryptophane, neuropathies périphériques
- dermatologiques : glossite, stomatite
- hématologiques : rarement anémie hypochrome avec hypersidérémie

- métaboliques : augmentation de la synthèse d'acide oxalique, normalement métabolisé en glycine en présence de la vitamine B6 et augmentation de l'homocystéine plasmatique, facteur de risque cardiovasculaire.

La pyridoxine se trouve dans l'orge (3 à 4 µg/g), dont la teneur est augmentée de 50 % par le maltage. Au brassage, malgré l'apport de pyridoxine par le houblon (10 µg/g), on note une légère perte de cette vitamine que l'on retrouve dans les drêches. Durant la fermentation, la levure s'enrichit en vitamine B6.

Les besoins en vitamine B6 de l'adulte sont de 1 à 2 mg/jour, ceux de la femme enceinte de 3 à 7 mg/jour. Un litre de bière en contenant 0,4 à 1,7 mg, sa consommation peut couvrir 25 à 100 % des besoins journaliers et constitue donc un apport conséquent de vitamine B6.

## **6. Vitamine B9 ou Acide Folique**

Le terme d'acide folique ou de folates désigne parfois l'acide folique lui-même, mais le plus souvent un groupe de composés non synthétisés par l'homme auquel ils sont indispensables car ils interviennent notamment, sous forme réduite (acide tétrahydrofolique), dans la synthèse des bases puriques et de l'ADN. Des études récentes ont démontré que cette vitamine joue un rôle important dans le métabolisme de l'homocystéine en méthionine, facteur de risque cardiovasculaire.

La déficience en acide folique se traduit par des troubles hématologiques avec apparition d'une anémie mégaloblastique par perturbation de la synthèse d'ADN, par divers troubles neurologiques peu spécifiques et par des troubles digestifs. La déficience en acide folique chez la femme enceinte augmente le risque d'avortement ou de malformations, du tube neural notamment. Les signes biologiques de la carence sont une diminution de la concentration des folates dans le sérum et dans les globules rouges. Les déficiences constatées peuvent être

secondaires à un apport insuffisant ou à des besoins augmentés : apport insuffisant d'origine alimentaire ou par insuffisance d'absorption, besoins augmentés :

- chez la femme enceinte, chez le prématuré et chez le nouveau-né
- au cours des traitements par les anticonvulsivants où l'on peut observer une anémie mégaloblastique consécutive à une déficience en folates
- chez les alcooliques.

Il existe, de plus, des anomalies héréditaires du métabolisme des folates : déficience en méthionine synthétase, en glutamate formimino-transférase, en dihydrofolate réductase, etc.

On retrouve de l'acide folique dans l'orge, le malt et le moût de bière (0,1 à 1,3 g/g). L'apport quotidien recommandé est de l'ordre de 0,4 mg chez l'adulte, de 0,6 mg chez la femme qui allaite et de 0,8 mg chez la femme enceinte. L'apport d'un litre de bière en acide folique étant de 0,1 à 1,3 mg, elle constitue une source très intéressante de vitamine B9.

## **7. Vitamine B12 ou Cobalamine**

Historiquement, la mise en évidence de la vitamine B12 fut le résultat de la démonstration de l'action antianémique du foie de veau, capable d'arrêter l'évolution de la maladie de Biermer ou anémie pernicieuse. Cette anémie a pour origine une perturbation de la sécrétion gastrique de facteur intrinsèque entraînant un défaut d'absorption de la vitamine B12 ou facteur extrinsèque.

La carence en vitamine B12 a deux causes principales : un apport alimentaire insuffisant, par exemple en cas de régime végétarien total ou une insuffisance d'absorption digestive par défaut de sécrétion du facteur intrinsèque par la muqueuse gastrique ou en raison de troubles digestifs. La carence en vitamine B12 entraîne des troubles hématologiques et neurologiques :

- Elle se traduit par une anémie mégaloblastique.
- Le principal trouble neurologique est une neuropathie sensitive bilatérale et symétrique avec paresthésies débutant le plus souvent au niveau des membres inférieurs. On observe des altérations des axones.

Le traitement par l'acide folique même en cas de déficience en vitamine B12 peut améliorer l'anémie mais n'améliore pas les symptômes neurologiques et peut même les aggraver. Il est donc indispensable de traiter une déficience en vitamine B12 par la vitamine B12 elle-même, administrée par voie injectable. En plus de l'atteinte hématologique et neurologique, il existe également une atteinte cutané-muqueuse caractérisée essentiellement par une glossite.

La vitamine B12 est retrouvée dans l'orge en germination, les radicules de malt et la levure (5,5 µg/g). Les besoins journaliers de l'homme en vitamine B12 sont de l'ordre de 2 µg, le double chez la femme enceinte. Un litre de bière en fournit 90 à 140 µg, ce qui constitue une source d'apport importante.

## **8. Vitamine H ou Biotine**

La biotine est également appelée vitamine H ou B8. La biotine un des principaux coenzymes et intervient, au niveau de la production d'énergie, dans le métabolisme des glucides et de certains acides aminés. Elle intervient aussi dans le métabolisme lipidique et dans la synthèse des acides gras. De plus, elle protège la peau, les muqueuses, les nerfs, les glandes sudoripares, ainsi que la moelle osseuse.

Les carences en biotine sont très rares chez l'adulte. Elles se voient seulement au cours des nutritons parentérales ou en présence d'une alimentation riche en avidine (blanc d'œuf cru). Chez l'enfant, il existe des anomalies métaboliques d'origine génétique, curables par la biotine. Les symptômes de carence sont nombreux et divers :

- généraux : asthénie, anorexie
- neurologiques : hypotonie, ataxie, retard psychomoteur
- dermatologiques : alopecie, glossite, chéilite et, fréquemment, candidoses cutané-muqueuses.

Cette vitamine thermostable et oxydable n'est décelée qu'à de très faibles doses dans l'orge et le malt et provient essentiellement du houblon. Les bactéries de la flore digestive permettent la synthèse d'une petite quantité de biotine. Les besoins journaliers de l'homme sont de l'ordre de 0,2 à 0,5 mg. Un litre de bière en contient environ 2 à 15  $\mu\text{g}$  ce qui représente 1 à 3 % des besoins journaliers.

## VII- L'ALCOOL

---

### 1. Teneur en alcool de la bière

Comme pour les autres constituants de la bière, l'alcool y est présent à des quantités très variables. La teneur en alcool d'une bière dépend en effet de son type, et pour un même type de bière, elle dépend du mode de fabrication et de la concentration du moût. Il peut d'ailleurs y avoir de légères variations au sein d'une même marque. Retenons d'emblée que la bière est une boisson faiblement alcoolisée. Notre propos sera axé tout au long de ce paragraphe sur les bières les plus couramment consommées, c'est-à-dire des bières titrant 4,5 à 5,5 % d'alcool en volume ce qui correspond à environ 36 à 44 g d'alcool par litre.

Précisons d'autre part que l'alcool contenu dans la bière est uniquement de l'alcool éthylique, seul alcool réellement alimentaire. Dans le vin par exemple, on note la présence de méthanol à côté de l'éthanol, aux doses moyennes variant de 50 mg/L à 120 mg/L et 250 mg/L selon qu'il s'agit respectivement de vins allemands, français ou italiens.

### 2. Comparaison de la teneur en alcool de la bière et des vins et spiritueux

Le Tableau VII, page suivante, nous donne le taux d'alcool (en g/L) de différentes boissons alcoolisées. A la lecture de ce tableau, nous notons que la bière est la boisson dans laquelle l'alcool est le plus dilué. Le taux d'alcool se situe entre 85 et 200 g/L pour les vins et les vins cuits et entre 335 et 429 g/L pour les divers autres spiritueux.

D'après ce tableau, il apparaît que l'ingestion d'un demi-litre de bière correspond à l'absorption d'environ 20 g d'alcool et que l'ingestion d'un quart de litre de vin ou de 4 cl de whisky suffit pour absorber cette même quantité d'alcool. Ceci confirme donc bien notre allégation de départ : la bière est une boisson faiblement alcoolisée.

**Tableau VII : Taux d'alcool de diverses boissons alcoolisées (en g/L)**

<b>TYPE DE BOISSONS ALCOOLISEES</b>	<b>TAUX D'ALCOOL (en g/L)</b>
<b>BIERE</b>	
Pilsen Cat. Luxe	40
<b>VINS</b>	
Blanc	90
Rouge	95
<b>VINS APERITIFS</b>	
Vermouth	140
Sherry	160
Porto	200
<b>ALCOOLS APERITIFS</b>	
Apéritifs anisés	375
Gin	410
Vodka	410
Rhum	423
Bourbon	428
Whisky	429
<b>ALCOOLS DIGESTIFS</b>	
Grand Marnier	335
Genièvre	380
Cognac	388
Calvados	425
Kirsch	428

### **3. Métabolisme**

La pharmacocinétique de l'alcool dépend des capacités d'absorption, de distribution et d'élimination de l'organisme. Après ingestion orale, l'alcool est presque totalement absorbé par l'intestin grêle, par diffusion passive. Lors de son ingestion, l'alcool ne franchit pas les muqueuses buccale et œsophagienne. Il est faiblement assimilé au niveau de l'estomac dont la paroi contient de petites quantités d'alcool déshydrogénase. L'alcool, ingéré par l'estomac vide, est très rapidement absorbé avec un pic de concentration survenant entre la 30<sup>ème</sup> et la 90<sup>ème</sup> minute. La vitesse d'absorption, après administration orale, est très largement influencée par la nature et la concentration de la boisson alcoolique, la vitesse d'ingestion,

l'état à jeun ou nourri, la nature et la composition de l'alimentation et la vitesse de vidange gastrique ainsi que des facteurs génétiques et environnementaux. L'élimination de l'alcool se fait essentiellement par voie métabolique hépatique, avec de petites quantités excrétées par la respiration (0,7 %), la transpiration (0,1 %) et dans l'urine (0,3 %).

Plusieurs facteurs peuvent influencer le métabolisme de l'alcool : la prise d'alcool par elle-même, l'alimentation, les drogues et les médicaments, le sexe, le poids corporel, la composition corporelle ainsi que des déterminants génétiques qui agissent sur les enzymes du métabolisme de l'alcool. Après absorption au niveau de l'intestin grêle, l'éthanol diffuse dans la circulation porte et parvient au foie où trois voies métaboliques sont possibles :

- la voie de l'alcool déshydrogénase, mise à profit lorsque les doses d'alcool sont modérées (80 à 100 mg d'alcool/kg/heure). L'alcool est transformé en acétaldéhyde par l'alcool déshydrogénase, puis en acétate par l'acétaldéhyde déshydrogénase et enfin en acétyl-coenzyme A grâce à une coenzyme de l'alcool déshydrogénase, la NAD (Nicotinamide Adénine Dinucléotide).
- Le système microsomique MEOS (*Microsomal Ethanol Oxidizing System*), dont le constituant principal est le cytochrome P 450, oxyde l'éthanol et le méthanol. Cette voie est utilisée concomitamment à la voie précédente, en cas de consommation modérée d'alcool et/ou lorsque la boisson alcoolisée contient du méthanol en petites quantités (cas du vin).
- La voie de la catalase peroxydase est mise en œuvre lorsqu'il y a saturation des deux précédentes voies, en particulier en cas de consommation abusive d'alcool. Cette voie provoque, outre l'oxydation de l'éthanol, une oxydation des acides nucléiques hépatiques et donc des lésions importantes des hépatocytes.

Il faut rappeler que l'oxydation a lieu principalement dans le foie, qu'il n'existe pas de mécanisme de stockage comme, par exemple, le glycogène pour le glucose et qu'il n'y a pas de rétro-contrôle de l'oxydation de l'éthanol. Les expériences de SHELMET *et al.* (1988) sur l'ingestion de 24 g d'éthanol montrent que l'alcool est oxydé en acétate. Cela conduit à une

inhibition de la lipolyse dans le tissu adipeux, comme le prouve la baisse des acides gras libres. D'ailleurs, ADDOLORATO *et al.* (1998) ont comparé le poids et le métabolisme énergétique de 32 alcooliques (consommation moyenne d'alcool supérieure à 100 g par jour, pendant 5 ans, sans insuffisance hépatique, rénale, cardiaque ou pneumologique) à ceux de 32 volontaires sains appariés pour le sexe, l'âge, la taille, le tabac et l'activité physique, consommant au maximum 40 g d'alcool par jour. Les alcooliques étaient plus minces, essentiellement en raison d'une réduction de la masse grasse, une valeur de la dépense énergétique de repos plus élevée (ajustée sur la masse non grasse) et une utilisation préférentielle des lipides comme substrat énergétique. Ceci va donc dans le sens d'une modification du métabolisme lipidique.

#### **4. Valeur énergétique**

La valeur énergétique de la bière dépend essentiellement de deux facteurs :

- sa teneur en alcool,
- sa teneur en glucides et en protéines.

Le calcul des calories fournies par la bière s'opère selon la formule suivante :

$$\text{kcal pour 100 ml} = \text{poids spécifique} \times [(4 \times \% \text{ extrait réel}) + (7 \times \% \text{ alcool en poids})]$$

Ainsi, pour une bière de 11,5 % P et 3,9 g/100 g d'alcool, le nombre de calories dégagées sera de :

$$0,8 \times [(4 \times 11,5) + (7 \times 3,9)] = 58,64 \text{ kcal/100 ml}$$

En moyenne, la valeur énergétique de la bière est de l'ordre de 400 à 500 kcal/L. Cependant, certaines bières notamment celles dénommées « Spéciales », plus fortement alcoolisées et riches en extrait sec, peuvent fournir jusqu'à 600 kcal/L et même au-delà.

a- Alcool = calorie = énergie ?

L'alcool est un nutriment énergétique et apporte 7,1 kcal/g ou 29,7 kJ/g. Cette valeur a été obtenue en bombe calorimétrique et publiée en 1902 par ATWATER et BENEDICT. Elle reste utilisée en routine pour calculer la contribution de l'alcool à la prise énergétique. Celle-ci est quasiment égale à son énergie métabolisable car les pertes sont minimales (moins de 2 %). L'alcool contribue en proportion significative à l'apport énergétique total dans de nombreux pays. Cependant, les études épidémiologiques montrent que la consommation d'alcool ne produit pas le gain de poids attendu en poids corporel (INSERM, 2001). Celui-ci peut représenter de 10 à 30 g par jour, soit 3 à 9 % de la prise énergétique quotidienne. Chez les grands buveurs, l'alcool remplace largement la prise alimentaire.

Cependant, en fonction du type de boissons alcoolisées, l'apport calorique n'est pas le même (Tableau VIII) :

**Tableau VIII : Apport calorique de différentes boissons alcoolisées**

<b>Un verre de</b>	<b>apporte</b>
Vin à 10° (125 ml)	93 kcal
Bière à 5° (250 ml)	110 kcal
Whisky à 45° (70 ml)	252 kcal
Limonade (125 ml)	60 kcal

La bière a la spécificité de contenir un peu d'alcool et des glucides. Elle a été autrefois considérée comme un aliment car source de glucides.

b- Rôle de la quantité d'alcool

La quantité d'alcool consommée a un rôle fondamental sur l'équilibre nutritionnel et sur les pathologies associées. L'excès d'alcool peut avoir un effet direct sur le statut nutritionnel en entraînant une malnutrition par substitution aux autres aliments ou, inversement, un surpoids

par addition. Il peut également induire des modifications du comportement alimentaire (INSERM, 2001).

Mais, paradoxalement, une étude réalisée chez des femmes suédoises obèses (LINDROOS *et al.*, 1997), comparées à des femmes normo-pondérales d'âge semblable, montre une consommation alcoolique plus faible chez les femmes obèses. De plus, leur consommation énergétique quotidienne était plus élevée ( $2730 \pm 78$  kcal *versus*  $2025 \pm 85$  kcal,  $p < 0,0001$ ) du fait d'une consommation de lipides bien plus importante.

### c- Interaction alcool et autres nutriments

Quand l'alcool est consommé par des animaux, la prise alimentaire diminue en relation avec le contenu calorique de l'alcool. Ceci avait déjà fait l'objet d'une publication (RICHTER, 1926). Si le choix des macronutriments est possible, l'alcool diminue surtout la consommation des glucides (FORSANDER, 1998).

L'interaction entre alcool et prise alimentaire va dans les deux sens, la prise de différents aliments influençant aussi la consommation d'alcool. Par exemple, un régime riche en glucides et pauvre en protéines diminue la consommation d'alcool, alors qu'un régime pauvre en glucides et riche en protéines l'augmente (FORSANDER, 1998).

La question est de savoir si la consommation d'alcool constitue un facteur de risque supplémentaire à la prise de poids en modifiant le métabolisme des autres nutriments. Beaucoup d'auteurs ont suggéré que l'alcool pourrait être impliqué dans le développement de la surcharge pondérale en raison de ses effets sur l'oxydation des substrats. Pour mieux appréhender ce problème, reprenons les explications de Y. SCHUTZ données dans sa revue (SCHUTZ, 2000). L'obésité est définie comme un excès de masse grasse. L'équation physiologique de la balance en lipides peut être écrite ainsi :

$$\text{Equilibre lipidique} = \frac{\text{Consommation de graisses} + \text{synthèse endogène de graisses}}{\text{Oxydation totale des graisses}}$$

La consommation d'éthanol peut constituer un facteur de risque potentiel pour des changements de la graisse corporelle en fonction de l'action de celui-ci sur certains facteurs comme :

- la consommation passive d'énergie sous forme de graisse lorsque de l'alcool est consommé au cours d'un repas. Cela entraîne une augmentation des apports de graisses exogènes.
- L'amplitude de la thermogenèse de l'éthanol, c'est-à-dire l'efficacité nette de l'utilisation de l'énergie dans le métabolisme intermédiaire.
- La diminution de l'oxydation totale des graisses en présence d'éthanol et l'influence potentielle de l'éthanol sur la synthèse endogène de lipides (lipogenèse *de novo*).

L'alcool, consommé avec une alimentation équilibrée, pourrait conduire à un stockage des lipides puisqu'il économise les graisses de l'oxydation. Mais, des études cliniques contrôlées, au cours desquelles les hydrates de carbone ont été substitués de façon isoénergétique par l'alcool, décrivent une perte de poids. Aussi, une alimentation équilibrée, supplémentée en alcool et comparée à une alimentation sans apport d'alcool, n'entraîne pas de prise de poids des sujets (LANDS, 1995).

Pourtant, les études métaboliques seraient plus en faveur d'une prise de poids. En 1992, SUTER *et al.* a étudié l'effet de l'éthanol sur les taux d'oxydation des substrats sur 24 heures chez 8 hommes normaux pendant des sessions de 48 heures en chambre métabolique par calorimétrie indirecte. Pour chaque session, les premières 24 heures ont servi de période de contrôle. Le deuxième jour d'une session, un ajout de 25 % des besoins énergétiques totaux étaient apportés avec l'éthanol ( $96 \pm 4$  g par jour). Durant l'autre session, 25 % des besoins

énergétiques totaux étaient remplacés par de l'éthanol qui substituait de façon isocalorique les lipides et les glucides. A la fois la substitution par de l'éthanol et l'addition d'éthanol ont réduit l'oxydation des lipides des 24 heures. Ceci ne survenait que lors de la journée durant laquelle l'éthanol était consommé. L'oxydation des glucides et des protéines n'a pas été altérée et une augmentation de la dépense énergétique induite par la prise d'alcool est également décrite. Ceci a conduit les auteurs à conclure que l'éthanol, qu'il soit ajouté ou substitué à d'autres aliments, augmente la dépense énergétique des 24 heures et diminue l'oxydation des lipides et que, en conséquence, une consommation habituelle en excès d'énergie favorise probablement le stockage des lipides et la prise de poids.

Une étude française s'est interrogée sur l'existence possible de différences d'habitudes alimentaires en fonction de la consommation d'alcool (KESSE *et al.*, 2001). Il s'agit de la cohorte française E3N-EPIC (European Prospective Investigation Into Cancer and Nutrition). Soixante-treize mille questionnaires alimentaires de femmes nées entre 1925 et 1950 ont été analysés et les femmes, classées dans 7 catégories de consommation d'alcool. Après ajustement de l'énergie issue de l'alcool, la part de l'énergie apportée par les lipides et les protéines croît avec la quantité d'alcool, alors que celle apportée par les hydrates de carbone décroît.

Une étude déjà ancienne (BEBB *et al.*, 1971) avait démontré des variations dans la prise alimentaire des nutriments en fonction de la consommation d'alcool chez des hommes et des femmes. Lorsque la proportion de calories issues de l'alcool augmentait, la proportion de calories venant des protéines ne changeait presque pas, mais les proportions venant des lipides et des glucides diminuaient.

Par ailleurs, l'administration aiguë d'éthanol stimule le système nerveux sympathique et altère le métabolisme hépatique du glucose. Il abaisse la glycémie en diminuant la production hépatique de glucose par inhibition de la néoglucogenèse hépatique. La consommation d'éthanol influence aussi la sensibilité à l'insuline, mais cet effet est dépendant de la quantité d'éthanol consommé. Les buveurs modérés réguliers ont tendance à avoir substantiellement une meilleure insulino-sensibilité que les abstinents, un effet qui est associé à une diminution

des taux sériques d'insuline à jeun et post-prandiale. Pour MAC CARTY (2000), une hypothèse serait que l'acétate produit par l'oxydation hépatique de l'alcool serait largement métabolisé par le muscle squelettique, processus qui produirait de l'AMP (Adénosine Mono Phosphate). Ceci permettrait de favoriser l'effet insulino-sensibilisateur.

#### d- Alcool : stimulant de l'appétit

Chez les deux sexes, l'impact immédiat d'une boisson alcoolisée prise avant les repas est une augmentation des calories consommées au cours du repas, suggérant que l'alcool agit comme un stimulant de l'appétit (WESTERTERPS-PLANTENGA et VERWEGEN, 1999). L'alcool est moins satiétogène qu'il ne devrait l'être si l'on considère l'énergie métabolique qui en dérive, peut-être parce que l'alcool par lui-même agit sur le cerveau pour stimuler la prise alimentaire.

Une étude écossaise (HETHERINGTON *et al.*, 2001) s'est intéressée à ce phénomène chez 26 hommes. Le protocole était répété à trois reprises. Les sujets recevaient un petit-déjeuner standard. Les évaluations de la faim, de l'envie de manger et la sensation de plénitude (cotations de l'appétit) d'avant le petit-déjeuner jusqu'à leur retour au laboratoire pour le déjeuner ont été mesurées par échelle visuelle analogique. Trente minutes avant le déjeuner, soit les sujets se reposaient, soit ils recevaient 330 ml d'une bière blonde sans alcool (264 kJ) ou 330 ml d'une bière blonde agrémentée de 24 g d'alcool (969 kJ). Les cotations de l'appétit étaient mesurées avant et après la pré-charge ou la période de repos, et encore avant et toutes les heures après le repas. Le repas test consistait en un buffet avec grand choix de nourriture et de l'eau glacée. La prise alimentaire *ad libitum* au déjeuner (excluant l'énergie d'alcool) était significativement plus élevée ( $7301 \pm 442$  kJ) après prise d'une vraie bière qu'après un repos ( $6365 \pm 334$  kJ) ou une prise de bière sans alcool ( $6479 \pm 289$  kJ). Les cotations de l'appétit n'étaient pourtant pas différentes dans les trois groupes. La prise totale d'énergie (y compris l'alcool) a été augmentée dans le groupe alcool de 30 %, suggérant que l'énergie provenant de l'alcool n'est pas compensée à court terme et peut avoir un effet stimulant de la prise alimentaire. Les mécanismes ne sont pas connus. Les auteurs émettent l'hypothèse que la stimulation de l'appétit se ferait par l'augmentation du désir de manger une fois le repas

commencé ou par la limitation du développement de la satiété. De plus, il semble que lorsque les sujets pensent consommer de l'alcool, cela conduit à une désinhibition et augmente la prise alimentaire des sujets restreints (POLIVY et HERMAN, 1976).

## **5. Bière et poids : revue de la littérature spécifique**

### **a- Contribution de l'alcool à la masse corporelle**

Les grandes enquêtes épidémiologiques, en particulier l'étude sur la santé des infirmières (*Nurse's Health Study*, COLDITZ *et al.*, 1991), montrent que l'index de masse corporelle (IMC) tend à être significativement plus bas chez les femmes qui sont des consommatrices modérées d'alcool que chez les abstinences. Parmi les 90 000 infirmières qui ont complété le questionnaire de fréquence alimentaire, l'IMC moyen des femmes consommant régulièrement 1 à 2 verres par jour était de 15 % inférieur à celui des abstinences et aussi, d'une certaine manière, plus bas que celui des fortes buveuses. Cette relation persistait même en prenant compte les facteurs confondants comme l'âge ou le tabac. La prise calorique quotidienne rapportée par les buveuses modérées était remarquablement plus élevée que celle des non-buveuses, suggérant qu'une augmentation de leur thermogenèse était responsable d'un IMC plus bas.

Deux autres grandes études américaines sur les femmes (NAHNES II et *Behavioral Risk Factor Survey*, WILLIAMSON *et al.*, 1987) montrent une importante association indépendante entre la prise d'alcool et un plus faible poids corporel. De plus, les IMC moyens des différents sous-groupes d'hommes avec des quantités croissantes de prises d'alcool n'augmentaient pas avec l'augmentation totale de la prise énergétique.

La reprise de 31 études différentes par HELLERSTEDT *et al.* (1990) n'est pas en faveur du concept selon lequel réduire la consommation d'alcool aiderait à maintenir un poids plus faible.

Une question se pose alors : sommes-nous, tout comme les animaux, capables d'ajuster nos apports énergétiques en fonction des nutriments consommés pour rester en poids stable ? Une équipe finlandaise a cherché à connaître les corrélations qui pouvaient exister entre consommation de boissons alcooliques et macronutriments, antioxydants et index de masse corporelle (MÄNNISTÖ *et al.*, 1997). Ont été étudiés chez 985 femmes et 863 hommes de 25 à 64 ans les habitudes alimentaires, les facteurs socio-économiques, l'activité physique, le tabagisme et la consommation alcoolique. Les différences dans les habitudes alimentaires étaient plus marquées entre les abstinents et les buveurs d'alcool qu'entre les consommateurs de différentes boissons alcooliques. Parmi les buveurs, la prise de lipides exprimée en pourcentage d'énergie était plus élevée et la prise d'hydrates de carbone plus faible que chez les abstinents. A l'exception de ceux qui préféraient les spiritueux, l'énergie de l'alcool ne s'ajoutait pas à celle de l'alimentation mais semblait se substituer à certains aliments chez les hommes comme chez les femmes. Cependant, pour des consommations énergétiques quotidiennes totales similaires, une dépense énergétique journalière et un index d'activité physique comparables, les hommes buveurs étaient plus minces que les abstinents.

Les études expérimentales animales, en particulier chez le rat, montrent que la consommation de bière n'entraîne pas de variation pondérale significative (BORYS *et al.*, 1994). Le rat est capable de réguler sa prise alimentaire en l'ajustant sur la valeur énergétique des aliments qu'il consomme.

Dans l'étude du Professeur DEBRY, décrite par BORYS *et al.* aux Entretiens de Bichat de 1994, 13 hommes de poids normal ( $IMC = 22 \pm 4 \text{ kg/m}^2$ ) ont consommé 660 ml de bière (soit 268,4 kcal/j) lors de déjeuners et de dîners contrôlés pendant 4 semaines puis, après une période libre, n'ont consommé que de l'eau dans les mêmes conditions expérimentales. Le poids n'a pas varié de manière significative durant toute l'étude (Figure 24). L'apport calorique global, de même que les consommations de lipides, glucides, protéines ont été similaires lors des deux périodes. Par contre, la répartition de l'apport énergétique au cours de la journée a varié en fonction du type de boisson ingérée. Lors de la période bière, les sujets ont eu moins d'apports énergétiques en dehors des deux repas principaux.

**Figure 24 : Evolution pondérale chez 13 hommes sains de poids normal et stable (BORYS *et al.*, 1994)**

b- Etudes spécifiques sur la bière et paramètres morphologiques

L'index de masse corporelle, le rapport taille / hanche, ainsi que la mesure des plis cutanés et les facteurs influençant la masse graisseuse ont été étudiés chez 5115 jeunes adultes (18-30 ans) américains (SLATTERY *et al.*, 1992). La prise d'alcool a été estimée par un questionnaire et exprimée en grammes d'alcool consommés par jour et des précisions ont été obtenues sur la qualité des alcools. L'alcool total consommé était associé positivement avec le rapport taille sur hanche. L'effet de la source d'alcool sur les relations observées entre alcool et rapport taille sur hanche a été évalué. Dans les 4 groupes de sexe et d'ethnie, une plus forte consommation de bière était associée à un plus grand rapport taille sur hanche. Par contre, aucune association n'a été retrouvée entre IMC et consommation d'alcool.

DUNCAN *et al.* (1995) s'est intéressé à une population plus âgée (45-64 ans) de 12145 américains. Ceux-ci ont rempli un questionnaire sur leur consommation alcoolique habituelle et celle-ci a ensuite été exprimée en verres d'alcool par semaine. Leur rapport taille sur hanche a été mesuré. La prise de bière et de spiritueux était plus fréquente que celle de vin (14 % sous forme de vin, 48 % de bière et 38 % de spiritueux). Ceux consommant plus de 6 verres par semaine sous forme de bière avaient un rapport taille sur hanche plus élevé que ceux consommant moins d'un verre par semaine de cette boisson. Mais les résultats n'ont pas été étudiés en relation avec le contexte socio-économique. Les auteurs posent eux-mêmes la

question : la différence vient-elle de la boisson ou du consommateur ? Ceci explique peut-être pourquoi d'autres études ont retrouvé des résultats totalement discordants.

Dans une population suédoise de 1137 femmes âgées de 40 ans (ROSMOND et BJORNTORP, 1999), le rapport taille sur hanche était négativement corrélé avec la consommation de vin ou de bière alors que l'IMC était augmenté chez les abstinents et inversement corrélé chez les buveuses de vin. La consommation de bière n'avait pas d'influence sur l'IMC. Mais souvent, les études ne prennent pas en compte le rôle des déterminants génétiques et comportementaux sur le rapport taille sur hanche et le tour de taille. Une étude américaine (ROSE *et al.*, 1998) s'est intéressée à ce sujet et a utilisé des femmes jumelles âgées de 31 à 90 ans dont 59 % étaient des vraies jumelles et 41 % des fausses. Il faut rappeler que la mesure du tour de taille est le paramètre qui est le plus corrélé à la masse grasseuse totale ainsi qu'à la graisse viscérale. C'est donc un bon paramètre de prédiction du risque cardio-vasculaire. Dans cette étude, une adiposité centrale augmentée était associée à une activité physique moindre, au tabagisme, à un plus grand nombre de grossesses et à une ménopause non substituée mais pas à la consommation d'alcool. L'influence de la génétique représentait 40 à 60 % de la variation du rapport taille sur hanche et jusqu'à 80 % de la variation du tour de taille.

Pour une population plus spécifiquement buveuse de vin, comme une partie de la population française décrite dans l'étude MONICA (DALLONGEVILLE *et al.*, 1998), il n'a pas été retrouvé chez les hommes de corrélation entre la prise d'alcool et l'IMC ou le poids corporel alors que chez les femmes, la consommation d'alcool était inversement corrélée avec l'IMC ( $p < 0,0001$ ) ou au poids corporel ( $p < 0,0002$ ). Chez les hommes, la consommation totale d'alcool était corrélée positivement au rapport taille sur hanche ( $p < 0,0002$ ) et au tour de taille ( $p < 0,004$ ), indépendamment de l'IMC. De même, chez les femmes, des corrélations positives ont été retrouvées entre prise d'alcool et rapport taille sur hanche ( $p < 0,0001$ ) et tour de taille ( $p < 0,0001$ ) indépendamment de l'IMC. Les auteurs ont analysé les relations entre le type de boisson et le rapport taille sur hanche après ajustement sur des paramètres comme l'IMC, le tabagisme, l'âge, l'activité physique. Chez les hommes, la consommation rapportée soit du vin, soit de la bière ou des spiritueux, était peu corrélée au rapport taille sur hanche alors que chez les femmes, la consommation de vin ( $p < 0,0008$ ) et de bière ( $p < 0,001$ ) était positivement

corrélée au rapport taille sur hanche. Des résultats similaires avaient été retrouvés pour le tour de taille.

Il est important de noter que la composition corporelle peut être modifiée par l'alcoolisme chronique. Une équipe italienne (ADDOLORATO *et al.*, 2000) a comparé un groupe de 34 hommes alcooliques chroniques âgés de 41 ans en moyenne avec un IMC à 23,8 kg/m<sup>2</sup> à 43 hommes sains. Les alcooliques consommaient en moyenne 194 ± 62,4 g d'alcool par jour, alors que les sujets témoins en consommaient 35,7 ± 5,2 g. Bien que les poids dans les deux groupes ne soient pas différents, les alcooliques avaient un pourcentage de masse grasse plus faible et un contenu en masse grasse plus faible. Les alcooliques avaient un rapport taille sur hanche plus élevé que les témoins ( $p < 0,01$ ). Les sujets avaient un apport calorique alimentaire identique excepté pour l'alcool.

#### c- Limite des études

MAC DONALD *et al.* (1993) nous rappelle dans sa revue de la littérature sur l'alcool et surpoids que de nombreux paramètres doivent être pris en compte pour analyser le plus objectivement possible la relation alcool et poids. Les premières études sur le sujet ne prenaient pas en compte le tabagisme alors qu'il est démontré qu'il existe une relation négative entre poids et consommation tabagique et une relation positive entre consommation alcoolique et consommation tabagique.

De plus, KLATSKY *et al.*, en 1977, avait retrouvé que la corrélation entre consommation d'alcool et poids corporel pouvait varier en fonction de l'ethnie. Cette corrélation était positive chez les hommes blancs mais pas chez les hommes noirs. Les femmes noires ou blanches abstinentes avaient un poids corporel plus élevé que les buveuses. Cependant, aucune relation n'était observée chez les sujets orientaux.

La nature de la boisson étudiée est également importante. Une étude (JACOBSEN et THELLE, 1987) avait trouvé, chez les hommes et les femmes (quand le quartile le plus élevé

de l'IMC était exclu), une association positive entre la consommation de spiritueux et l'IMC alors qu'il y avait une relation négative avec la bière (pour les hommes) et le vin (pour les femmes).

L'étude PRIME (MARQUES-VIDAL *et al.*, 2000) a comparé les schémas de consommation d'alcool chez des hommes de 50-59 ans vivant soit en France, soit en Irlande du Nord (centres d'études MONICA). Globalement, les sujets obèses et hypertendus ont une plus grande consommation d'alcool que les non obèses et les normotendus, mais le type d'alcool consommé était différent selon les pays. Les irlandais ont un peu plus bu ( $326 \pm 333$  ml/j) que les français ( $318 \pm 249$  ml/j,  $p < 0,01$ ) mais la répartition hebdomadaire de consommation est totalement différente. Les irlandais ont une consommation préférentielle de fin de semaine, alors que les français boivent un peu chaque jour. L'obésité était associée à la consommation de bière et de spiritueux chez les français et à celle de vin et d'alcools forts chez les irlandais. Cette étude met en évidence la difficulté de comparer des populations. En effet, ont été choisies deux populations totalement différentes dans le choix des alcools et dans le mode de consommation, même si la quantité globale consommée par l'individu est presque identique. Il est donc important, avant de tirer des conclusions sur l'effet de l'alcool ou de la bière, de prendre en compte tous les paramètres pouvant influencer le mode de consommation et la qualité des boissons consommées.

#### d- Des études à faire

La question toujours non résolue est de savoir si l'énergie de l'alcool est dissipée en chaleur ou si elle a une valeur physiologique. Peut-on envisager un protocole simple qui permettrait d'examiner l'efficacité de l'utilisation de l'énergie ?

De même, se pose la question de la probable différence d'utilisation de l'alcool en fonction de la quantité consommée. Il semble que l'alcool pris en grand volume conduit à une utilisation plus faible de l'énergie et à une modification des choix alimentaires.

Les boissons alcooliques sont peut-être différentes dans leur utilisation énergétique et métabolique en fonction des autres nutriments qu'elles contiennent. Il a été écrit qu'un minimum d'apport en hydrates de carbone est nécessaire pour rester en bonne santé quand l'alcool est ingéré. Des suppléments de métabolites des glucides, le pyruvate et la dihydroxyacétone, préviennent la stéatose hépatique induite par des régimes riches ou pauvres en graisses (STANKO *et al.*, 1978). Ceci donne à penser que la bière qui allie alcool et glucides est peut-être, de ce point de vue, préférable aux autres boissons alcooliques. De même, nous ne savons pas quel est l'impact spécifique de la consommation de bière sur la consommation des hydrates de carbone alimentaires.

Les études à entreprendre sont des études d'intervention. Les études épidémiologiques sont trop globales et les paramètres trop subjectifs pour que des conclusions précises puissent être apportées. Cependant, peut-on concevoir de donner à des personnes souhaitant perdre du poids de la bière dont les calories seraient comprises dans leur programme alimentaire et de les comparer à des personnes appariées et ne consommant pas de bière ? Une étude sur ce principe existe sur vin et poids. Des auteurs américains (CORDAIN *et al.*, 1997) ont étudié l'influence d'une consommation modérée quotidienne de vin sur la régulation du poids et le métabolisme de 14 hommes sains. Au terme de 6 semaines de la consommation de 2 verres de vin le soir, et comparés à 6 semaines d'abstinence, les sujets étant leurs propres témoins, aucun paramètre étudié (poids, mesures de plis cutanés, pourcentage de masse grasse estimée par la pesée hydrostatique, métabolisme de base) n'a été modifié.

#### e- Conclusions

Au vu des résultats, il apparaît que l'alcool consommé en quantité modérée pourrait promouvoir la minceur chez les femmes et pourrait être une aide à la perte de poids chez les femmes non-buveuses (MAC CARTY, 2000). Il existe, comme pour les relations entre alcool et maladies métaboliques, une courbe en U avec un index de masse corporelle minimal pour une consommation modérée (1 à 3 verres par jour). Mais il est difficile de conseiller aux femmes abstinences voulant perdre du poids de consommer de l'alcool. Cependant, il n'y a pas d'argument à ce jour pour interdire totalement la prise de boissons alcoolisées dans un

programme de prise en charge alimentaire. Simplement, l'excès est à bannir. Des quantités acceptables en terme de santé ont été définies : 2 à 3 verres par jour chez la femme (soit 20 à 30 g d'alcool pur) et 3 à 4 verres par jour chez l'homme (soit 30 à 40 g). DOUCET et TREMBLAY (1997) défendent l'hypothèse que dans un programme de réduction pondérale, chaque substrat énergétique a son rôle à jouer puisque la prise aiguë d'alcool inhibe l'oxydation des lipides et n'entraîne pas une compensation énergétique. Cela peut vouloir dire que l'alcool peut induire une balance énergétique positive dans des conditions de vie habituelles.

Les études épidémiologiques ne montrent pas de relation claire entre la consommation journalière d'alcool et le poids corporel. Cependant, la plupart des études rapporte que les personnes ne compensent pas l'énergie apportée par l'alcool en diminuant leurs apports alimentaires autres. Hormis chez les alcooliques, l'énergie issue de l'alcool s'ajoute habituellement à l'énergie alimentaire quotidienne totale. De plus, les consommateurs modérés ont tendance à consommer plus d'énergie que les abstinents. Pourtant, il est souvent conclu que la consommation d'alcool en supplément de l'alimentation peut être considérée comme un facteur de risque pour le développement de l'obésité. Cette conclusion n'est pas concordante avec les études cliniques ou épidémiologiques. En effet, que cela soit chez les hommes ou chez les femmes, pour des consommations modérées, l'index de masse corporelle n'est pas plus élevé. Une étude française bien détaillée (DEBRY, 1994), ne montre aucun effet délétère. Le seul phénomène retrouvé est que la prise totale d'alcool est corrélée au rapport taille sur hanche dans les études chez les hommes, mais pas obligatoirement dans les études chez les femmes. Ceci est retrouvé pour toutes sortes d'alcool, bière autant que vin. Malheureusement, ces études ne sont pas toujours précises dans la caractérisation de leurs sujets.

L'impression est que l'alcool ne rend pas les sujets minces obèses mais plutôt entraîne les obèses à devenir encore plus obèses. L'énergie de l'alcool est convertie en masse corporelle de façon très variable selon les individus sans que l'on sache pourquoi. Il reste donc à déterminer si la prise de doses modérées d'alcool (moins de 5 % de la prise totale quotidienne d'énergie) agit pour stimuler la prise de poids par des changements à long terme sur l'utilisation des substrats ou par des augmentations subtiles de la prise calorique. En effet,

l'alcool n'est pas seulement une substance pharmacologique mais aussi un nutriment. Comme nutriment, il influence le métabolisme de la plupart des tissus de l'organisme puisqu'il influence l'homéostasie glucidique, diminue l'oxydation des lipides et favorise le stockage des graisses. Beaucoup reste à faire pour mieux comprendre les interactions poids, bière et alcool, mais rien ne nous permet de conclure qu'une consommation modérée et régulière de bière fasse grossir.

**6.**

## Bière et alcoolémie

### a- Cinétique de l'alcoolémie

WIDMARK a établi une courbe permettant d'analyser l'évolution dans le temps de la concentration d'alcool dans le sang. Le graphique ci-dessous (Figure 25) indique, en abscisse le temps en heures, en ordonnée la concentration d'alcool dans le sang en g/L. Ce graphique nous indique clairement les 4 phases essentielles de l'évolution de l'alcoolémie en fonction du temps :

- Phase A : augmentation de la concentration d'alcool dans le sang, correspondant à l'absorption de l'éthanol au niveau du duodénum et du jéjunum.
- Phase B : palier de concentration.
- Phase C : diffusion de l'alcool dans l'organisme.
- Phase D : diminution de l'alcoolémie faisant suite à l'oxydation de l'éthanol par le foie et donc à sa disparition de l'organisme

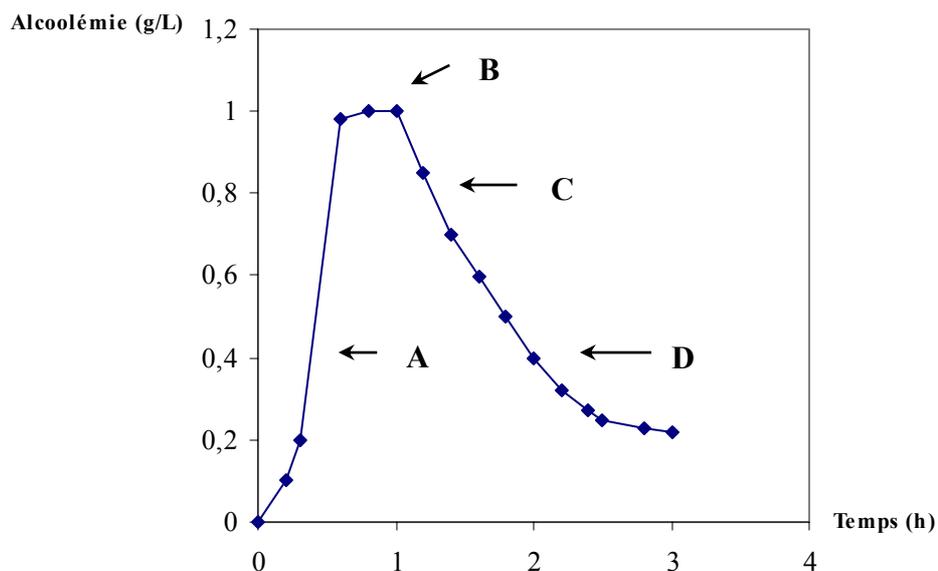


Figure 25 : Courbe de WIDMARK

Cependant, toutes les boissons alcoolisées n'ont pas les mêmes cinétiques d'absorption et d'élimination et présentent donc des courbes de WIDMARK différentes. De nombreuses études ont été effectuées à ce sujet comparant l'alcoolémie provoqué par des boissons alcooliques « fortes » et celle induite par la bière.

#### b- Alcoolémie comparée entre bière, vin et spiritueux

En préambule comme en résumé, notons que l'alcool apporté par la bière n'a pas le même devenir ni les mêmes effets sur l'organisme que lorsqu'il est apporté par le vin ou d'autres boissons alcoolisées.

##### *α) Etudes de J. TREMOLIERES sur les alcoolémies comparées*

Dès 1975, le Professeur J. TREMOLIERES, spécialiste de la nutrition humaine, a initié des études à ce sujet, en particulier une étude multicentrique menée en parallèle à Paris et à Lille : 14 sujets sains, des deux sexes, ont consommé, à jeun, une quantité d'alcool pur identique (0,5 g/kg de poids corporel) sous forme soit de bière, de vin ou de whisky. Sur la Figure 26, on note qu'à la soixantième minute, l'alcoolémie limite admise, soit 0,5 g/L, n'est jamais atteinte pour la bière, alors qu'elle est dépassée pour le vin (0,65 g/L) et pour le whisky (0,8 g/L). L'alcoolémie, deux heures après l'ingestion d'alcool, renseigne sur sa diffusion dans l'organisme et sur sa vitesse d'oxydation. Avec la bière, on constate que l'oxydation de l'alcool est 2 fois plus rapide qu'avec le vin et 7 fois plus rapide qu'avec le whisky. Cette augmentation de la vitesse de métabolisation avec la bière est attribuée au glucose contenu.

Quelle que soit la boisson ingérée, l'alcool à cette dose, administré à jeun, produit constamment une augmentation des ratios lactate/pyruvate et bêtahydroxybutyrate/acétoacétate plasmatiques. Toutefois, selon la nature des boissons, ces rapports se modifient différemment. Dans le cas de la bière, on remarque une chute importante des pyruvates, à rapprocher de l'hyperglycémie et de la chute des triglycérides constatées. Il y a donc sans doute, par rapport au vin, une meilleure utilisation métabolique de l'acétyl-coenzyme A et du pyruvate aboutissant à l'oxaloacétate. L'augmentation de ces ratios

traduit la diminution d'environ 10 mV des potentiels d'oxydoréduction, c'est-à-dire les niveaux énergétiques auxquels se déroulent les réactions d'oxydation. La variation de ces potentiels d'oxydoréduction est de nature à modifier les équilibres de toute une série de réactions et peut être interprétée comme une augmentation globale des rapports NADH/NAD cytoplasmiques et mitochondriaux. Il y a là une clé possible d'un certain nombre d'effets secondaires de l'alcool.

Cette étude a mis en évidence que la métabolisation de l'alcool de la bière se fait en bloquant davantage, par rapport au whisky et au vin, l'utilisation des acides gras, sans doute par l'acétate qui bloquerait leur libération dans les tissus adipeux. Elle utilise par contre davantage la glycolyse et stimule la synthèse des triglycérides dans le tissu adipeux. A cette dose de 0,5 g d'alcool par kg de poids, on ne note pas d'élévation des activités peroxydasiques du plasma, qui serait signe de toxicité. De même, les transaminases ne varient pas. Par contre, les perturbations mentales et psychomotrices observées sont en général moindre pour la bière que pour le whisky ou le vin et peuvent apparaître dès 0,5 g/L d'alcool dans le sang.

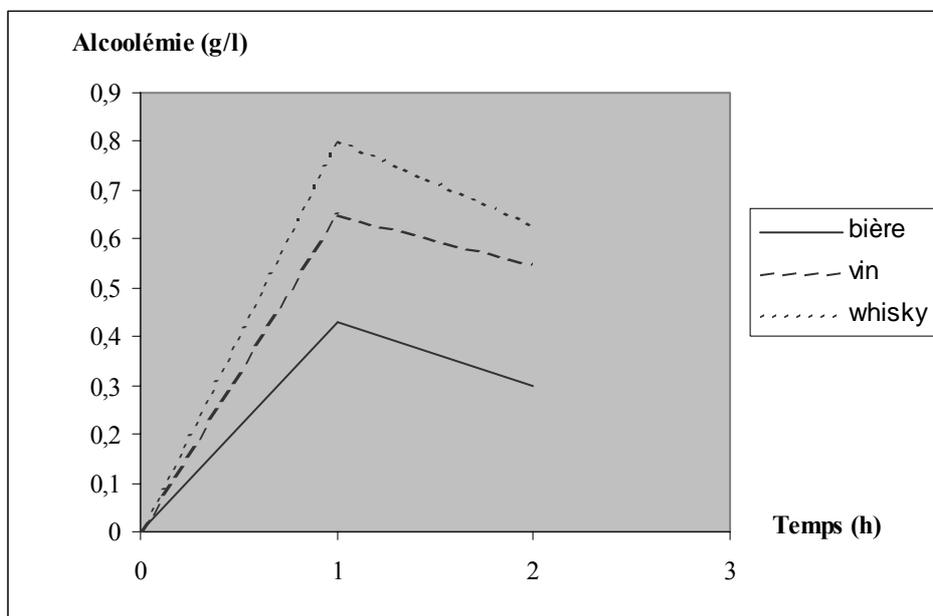


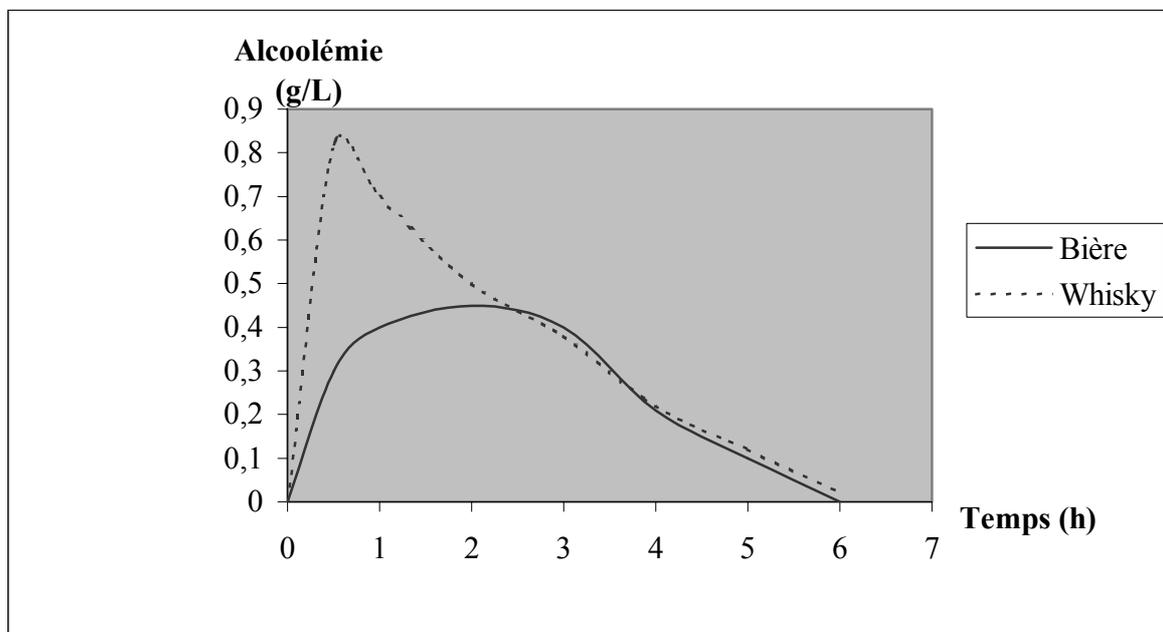
Figure 26 : Comparaison des alcoolémies provoquées par différentes boissons (TREMOLIERES, 1975)

*β)*

Etude de A. PIENDL

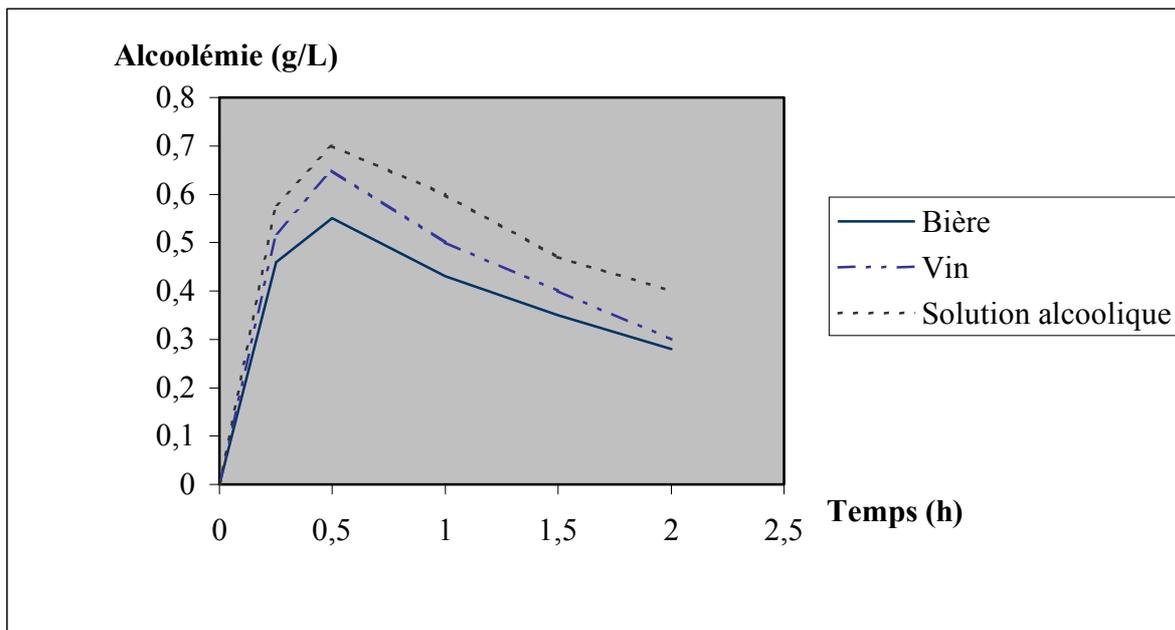
Le Docteur A. PIENDL a réalisé en 1978 une synthèse des données bibliographiques concernant 16 études expérimentales menées chez l'homme et comparant l'alcoolémie provoquée par des bières de différentes densités et d'autres boissons alcoolisées telles le Brandy, la vodka, un mélange de whisky canadien et de ginger ale, du vin, soit sous forme d'une quantité donnée d'alcool pour l'ensemble des liquides, soit sous forme d'un certain poids d'alcool par kg de poids corporel. L'objectif de ces études était de comparer les cinétiques de l'alcoolémie en fonction de la nature des alcools consommés. La dose administrée variait entre 0,5 et 1 g d'alcool par kg de poids corporel, soit 35 à 70 g d'alcool pur pour un adulte de 70 kg.

Nous retiendrons pour illustration les études effectuées par HAGGARD (Figure 27), LEREBoullet (Figure 28) et GOLDBERG (Figure 29). La Figure 27 nous montre les courbes d'alcoolémie obtenues après ingestion d'une dose de 44 g d'alcool sous forme de whisky ou de bière. L'étude porte sur 50 sujets pesant entre 65 et 79 kg. Le pic d'alcoolémie de la courbe Bière est nettement inférieur à celui de la courbe Whisky. Cette figure ressemble fort au graphique obtenu lors de l'expérience de J. TREMOLIERES (Figure 26).



**Figure 27 : Evolution des alcoolémies après ingestion d'une même dose d'alcool sous forme de bière ou de whisky (HAGGARD)**

La Figure 28 fait état de 3 courbes d'alcoolémie établies après l'absorption de 0,5 g d'alcool sous forme d'une solution alcoolique à 12,5 %, d'un vin à 11 % ou d'une bière à 5,5 % d'alcool en volume. La courbe Bière montre clairement une ascension plus lente, un pic inférieur et une disparition plus rapide de l'alcool consommé, que pour les courbes Vin ou Solution alcoolique.



**Figure 28 : Evolution des alcoolémies après ingestion d'alcools de différents titres (LEREBoulLET, 1970)**

La Figure 29 compare les courbes d'alcoolémies obtenues après ingestion de 0,5 g d'alcool par kg de poids corporel, sous forme de brandy par rapport à des bières à 4,5 %, 3 % et 1,8 % d'alcool en volume. La bière la plus forte maintient toujours un niveau d'alcoolémie bien plus faible que le brandy et une résorption plus rapide. Evidemment, les bières moins alcoolisées sont encore plus performantes.

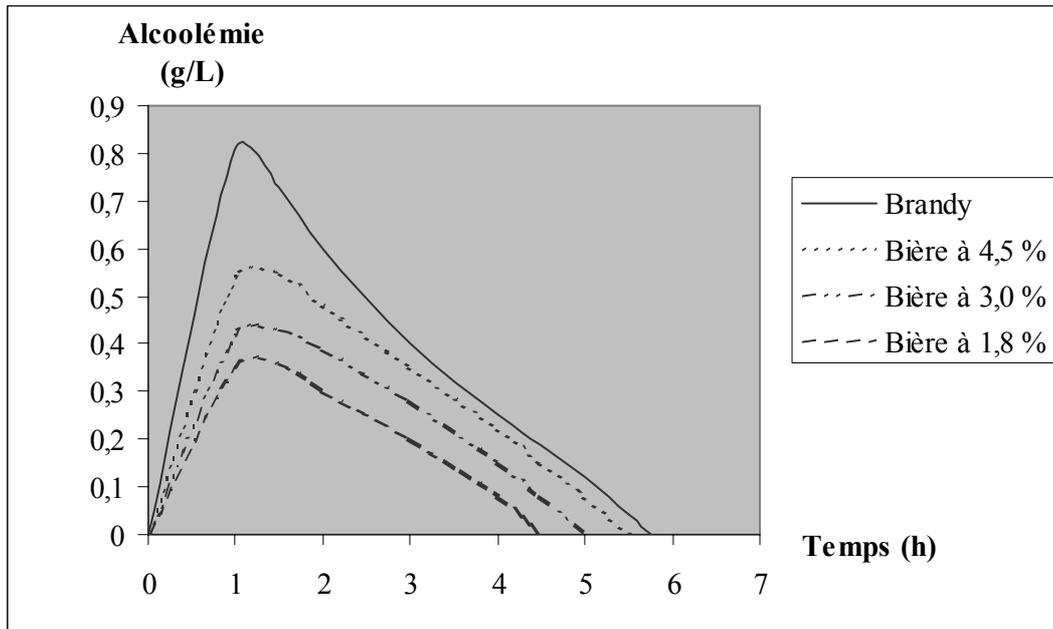


Figure 29 : Comparaison des alcoolémies obtenues après ingestion de brandy ou de bières de différents titres (GOLDBERG, 1965)

### *χ) Conclusion*

- Dans tous les cas, l'alcoolémie est directement corrélée à la concentration d'alcool de la boisson ingérée, à dose égale d'alcool pur absorbée.
- L'ascension de l'alcoolémie est plus lente après consommation de bière par rapport à d'autres boissons alcoolisées.
- Après ingestion de bière, le pic de la courbe d'alcoolémie, c'est-à-dire la concentration maximale d'éthanol dans le sang, est toujours inférieur à celui obtenu avec d'autres boissons alcoolisées.
- La décroissance de l'alcoolémie est toujours plus rapide pour la bière que pour les autres boissons étudiées.

Notons que l'évolution de l'alcoolémie après consommation de vin se situe à un niveau intermédiaire entre la bière et les alcools forts.

### *δ) Explication des différences observées*

- lorsque l'on consomme une bière classique de luxe, on ne consomme pas uniquement 40 g/L d'alcool mais aussi environ 920 g/L d'eau. L'alcool pur est donc fortement dilué.
- Le taux d'extrait contenu dans la bière, soit environ 40 g/L, équilibre le taux d'alcool.
- Les autres constituants de la bière, à un niveau important, tels que minéraux, peptides, acides organiques, produits du houblon et vitamines, ont un effet tampon important.
- Les conditions de consommation sont également importantes. En effet, si l'estomac est vide, l'éthanol arrive rapidement dans l'intestin et diffuse dans le sang en 20 à 30 minutes. Par contre, au cours d'un repas, absorption et diffusion sont ralenties, atteignant le double de temps. Le temps de vidange gastrique a donc intérêt à être le plus long possible afin de retenir l'alcool dans l'estomac avec les autres aliments, rendant l'alcoolémie plus faible. La présence des autres constituants de la bière contribue au ralentissement du temps de vidange gastrique. Il existe par ailleurs une réelle différence de transfert dans l'estomac de l'alcool provenant de spiritueux et celui provenant de la bière. Ce dernier est beaucoup plus lent du fait que la bière accumulée diffuse à la surface de l'estomac et que son parcours vers l'intestin se trouve donc ralenti.

## **7. Bière et diabète**

Pour traiter ce thème, il importe de bien distinguer les effets de la consommation modérée de boissons alcoolisées sur la diminution du risque cardio-vasculaire chez le patient diabétique d'une part et sur la prévention de la survenue d'un diabète de type 2 d'autre part.

Quelques travaux récents ont été réalisés sur les relations entre l'effet de l'éthanol et l'insulinosécrétion ou l'insulinorésistance chez des sujets normaux et chez des sujets diabétiques de type 2 (non insulino-dépendants). Les interactions entre alcool et diabète sont

très rarement étudiées dans le diabète de type 1 ou insulino-dépendant, dont l'origine est essentiellement génétique.

a- Effet de l'éthanol sur l'insulinorésistance

L'insulinorésistance est un facteur de risque cardio-vasculaire bien connu. Elle a un rôle important dans la pathogénésie de l'hypertension artérielle, des dyslipidémies et a été incriminée dans la survenue plus fréquente de maladies cardio-vasculaires chez les diabétiques de type 2.

Des auteurs australiens (FLANAGAN *et al.*, 2000) ont étudié quelles étaient les relations entre la consommation modérée d'alcool, l'insulinorésistance et les autres paramètres de la tolérance glucidique chez 154 hommes et femmes jeunes. Ce d'autant que d'autres études suggéraient qu'une consommation modérée de boissons alcoolisées était associée à une réduction des insulïnémies à jeun et stimulée. Les sujets ont rempli un questionnaire sur la fréquence et la quantité de leur consommation d'alcool, et notamment de bière, puis l'insulinosensibilité et la tolérance au glucose ont été mesurées par un test de tolérance au glucose intraveineux avec une analyse selon le modèle minimal. L'insulinosensibilité était négativement corrélée à l'index de masse corporelle. Les femmes étaient moins sensibles que les hommes. L'insulinosensibilité était corrélée positivement avec la quantité d'éthanol ingéré même après ajustement sur l'IMC et le sexe.

b- Effet cardio-protecteur de l'éthanol chez les diabétiques de type 2

Une association inverse entre consommation modérée d'alcool et maladie coronarienne a été clairement établie par les études épidémiologiques.

L'étude sur les médecins américains, 87 938 recrutés dont 2 790 diabétiques (*Physicians' Health Study*, AJANI *et al.*, 2000) a suivi ceux indemnes à l'inclusion de pathologies cardio-vasculaires, hépatiques ou de cancers pendant en moyenne cinq ans. Dans cette population, la consommation modérée de boissons alcoolisées, dont celle de la bière ou du vin, a été associée à une diminution du risque cardio-vasculaire identique chez les hommes diabétiques et les non diabétiques.

Quand seuls les diabétiques de type 2 (2 419 hommes) d'une cohorte de professionnels de santé (*Health Professionals' Follow-up Study*, 51 529 sujets) ont été étudiés (TANASESCU *et al.*, 2001), la consommation d'alcool était inversement associée au risque cardio-vasculaire.

Chez les femmes, l'étude sur la santé des infirmières (*Nurses' Health Study*) arrive à la même conclusion (SOLOMON *et al.*, 2000) toujours pour des consommations modérées : 5 à 15 g d'alcool par jour.

En janvier 2002 sont parus les recommandations et principes nutritionnels de l'Association Américaine du Diabète (ADA). L'alimentation est un élément majeur du traitement du diabète et les auteurs (FRANZ *et al.*, 2002) ont passé en revue les effets des macro- et micro-nutriments dans les diabètes de type 1 et 2. En ce qui concerne l'alcool, ils rappellent que des quantités modérées peuvent stimuler l'action hypoglycémiant de l'insuline exogène et de certains hypoglycémiant oraux mais que, dans de nombreuses études, à ces doses et consommé avec des aliments, il n'y a pas d'effet sur les glycémies et les insulémies. L'effet protecteur cardio-vasculaire existe également chez les diabétiques de type 2. Les recommandations de l'ADA sont d'avoir une consommation modérée et régulière (un verre par jour pour les femmes, deux verres par jour pour les hommes) de la boisson alcoolisée de son choix. La consommation de 250 à 500 ml de bière par jour, et notamment pendant les repas, peut donc être encouragée chez le diabétique de type 2.

c- Effet d'une faible quantité d'éthanol sur le risque de survenue d'un diabète de type 2

L'étude sur les médecins américains (AJANI *et al.*, 2000) a également examiné l'association entre une consommation faible à modérée d'alcool et l'incidence du diabète de type 2 chez les hommes. Il s'agissait d'un travail prospectif réalisé sur 20 951 participants, âgés de 40 à 84 ans, indemnes à l'inclusion de maladies cardiovasculaires, de cancer ou de diabète et qui avaient correctement remplis un questionnaire sur leur consommation de boissons alcoolisées, dont la bière ou le vin. Le risque relatif de développer un diabète même après ajustement sur l'âge, le tabagisme, l'activité physique et l'IMC était plus faible chez les consommateurs modérés de boissons alcoolisées.

Une autre équipe américaine a étudié une cohorte de 8 663 hommes âgés de 30 à 79 ans sans maladies cardio-vasculaires ou métaboliques connues à l'inclusion (WEI *et al.*, 2000) pendant en moyenne 6 ans. Ils ont trouvé une association en U entre la consommation d'alcool et la survenue du diabète de type 2 avec l'incidence la plus basse pour le quintile 61,9 à 122,7 grammes d'alcool par semaine.

CONIGRAVE *et al.* (2001) a repris les résultats de l'étude sur les médecins américains mais en s'intéressant aux schémas de consommation et aux types de boissons consommées avec un recul de douze ans. Il a ainsi montré que la fréquence de consommation est inversement corrélée avec le diabète. Comparés aux abstinents, les hommes buvant 15 à 29,9 g d'alcool par jour ont un risque relatif de 0,80 (0,67-0,96) après ajustement sur différents paramètres dont l'âge et l'IMC. La bière comme toutes les boissons était inversement corrélée au risque de diabète de type 2.

En conclusion, la bière, consommée en quantité modérée, grâce à l'éthanol qu'elle contient, a un effet protecteur sur le risque cardio-vasculaire, mais aussi sur celui de survenue d'un diabète de type 2.

## PARTIE IV :

### ROLES PHYSIOLOGIQUES ET PHARMACOLOGIQUES

---

La bière, comme bien d'autres breuvages fermentés, a été au service de la médecine dès l'Antiquité. Remède contre les fièvres et diurétique selon Hippocrate, la bière a aussi été utilisée à des fins dermatologiques ou cosmétiques. Nos ancêtres les Gaulois la considéraient comme une boisson reconstituante. Les Vikings, infatigables et téméraires marins, brassaient la bière à bord des drakkars et évitaient ainsi pellagre et scorbut. Le fait de bouillir l'eau pour fabriquer la bière a contribué à limiter la propagation des épidémies. Au Moyen Age où les brasseurs sont promus au rang d'apothicaire, Paracelse préconise la bière pour lutter contre les troubles gastriques, mais bien d'autres vertus lui sont attribuées : bière à l'œillet contre les troubles neurologiques, bière à la sauge pour lutter contre les infections ORL, bière au genièvre contre l'ascite, etc.

Plus de 13 recettes de bière médicinale sont colligées dans le Répertoire Général du Pharmacien Pratique élaboré au 19<sup>ème</sup> siècle, siècle de la codification de la fabrication de la bière. En 1859, Pasteur décrypte les processus de fermentation dont il fait « un acte chimique... phénomène corrélatif d'un acte vital ». Au début de ce siècle, la bière de nourrice, faiblement alcoolisée, disponible en pharmacie, apporte aux femmes allaitantes vitamines et minéraux.

A l'heure où les nutritionnistes semblent accepter l'idée qu'une consommation modérée et régulière de boissons alcoolisées constitue un élément probable de la protection des maladies cardio-vasculaires athéromateuses, existe-t-il une place pour la consommation de bière ? Cette boisson réputée faire grossir constitue pourtant l'essentiel de la consommation dans les études épidémiologiques menées dans les pays anglo-saxons qui ont contribué à établir l'effet

protecteur éventuel de l'alcool. Pourtant, c'est le vin qui en retire l'essentiel du bénéfice en terme d'image. Certains proposent d'ailleurs d'expliquer le fameux paradoxe français correspondant à la moindre prévalence des maladies ischémiques du cœur en France par le fait que nos concitoyens sont des consommateurs de vin. Boisson reine des régions septentrionales, riche d'histoire et fleuron des terroirs, la bière mérite d'être mieux connue par les médecins.

Quoiqu'ayant déjà mis en exergue bien des qualités de la bière sur le plan nutritionnel, nous approfondirons dans cette section certains aspects physiologiques encore plus proches de la préoccupation des consommateurs.

## I- LA BIÈRE ET SA FONCTION DIGESTIVE

---

La bière, agréable à la vue comme au palais, munie de ses propriétés nutritives décrites dans la précédente section, est en outre aisément acceptée par l'estomac, car quasiment prédigérée de par la technique même de son élaboration. On peut également constater qu'elle stimule l'appétit.

Les deux facteurs qui entrent en jeu sont les principes amers du houblon et le dioxyde de carbone, en dehors de l'alcool et d'autres éléments. L'ingestion de la bière affecte l'ensemble du tube digestif au sein duquel cette boisson exerce trois actions : apéritive, digestive et sur la flore intestinale.

### 1. Action apéritive

L'ouverture de l'appétit est surtout favorisée par les humulones et les lupulones, principes amers de base du houblon qui, en tant qu'éléments toniques et apéritifs, stimulent les sécrétions salivaires et gastriques. Par ailleurs, l'action sédative du lupulin diminue l'excitabilité des muscles du tube digestif et de l'estomac. Ils ont donc une double action antispasmodique et tonique.

Contribuent également à l'appétence, les divers acides organiques et esters, le phosphate de magnésium ainsi que la présence combinée de certains acides aminés, principalement la lysine. Tous ces éléments agissent dans le même sens sur le tube digestif : la production d'enzymes digestives.

## **2. Action digestive**

La dualité de l'action du houblon citée plus haut peut également être considérée au niveau de l'estomac comme agent équilibrant le tonus nerveux sympathique du tube digestif entier. De plus, les matières azotées de la bière neutralisent l'acidité gastrique.

Par ailleurs, le dioxyde de carbone combiné aux protéines est naturel dans la bière et non simplement mis en solution comme c'est le cas des boissons gazeuses artificielles. Il ne donne donc pas lieu comme celles-ci à un dégagement brutal de gaz dans l'estomac mais engendre une action stimulante sur les sécrétions de suc gastrique.

En outre, l'alcool stimule lui aussi les fonctions digestives en augmentant la sécrétion des enzymes protéolytiques produites par la muqueuse de l'estomac. Il a de surcroît une action indirecte importante sur les autres aliments de la ration, principalement sur les matières grasses.

Il apparaît que la bière agit en qualité de catalyseur dans le processus de digestion des aliments solides. La bière consommée en même temps que les autres aliments diminue la vitesse de passage du bol alimentaire de l'estomac vers l'intestin et permet une meilleure imprégnation du bol alimentaire par les sucs digestifs. La bière aurait aussi une action faiblement cholérétique et cholagogue, favorisant la digestion. D'autre part, la bière possède un pH acide et peut donc faciliter la digestion de certains sujets dyspeptiques. C'est donc grâce à ses constituants et à sa composition spécifique que la bière exerce une influence favorable sur la digestion et l'assimilation des aliments ingérés en même temps qu'elle. Son influence bénéfique sur l'appétit et les fonctions digestives permet de la faire entrer dans l'alimentation des sujets qui, pour des raisons diverses, sont déminéralisés ou dévitaminés.

### **3. Action sur la flore intestinale**

De par son contenu en levure, la bière permet de corriger une flore intestinale déséquilibrée. Ainsi, on peut considérer que, introduite dans la diététique du patient, elle aura des effets bénéfiques sur les infections intestinales.

## II- BIERE ET FONCTION RENALE

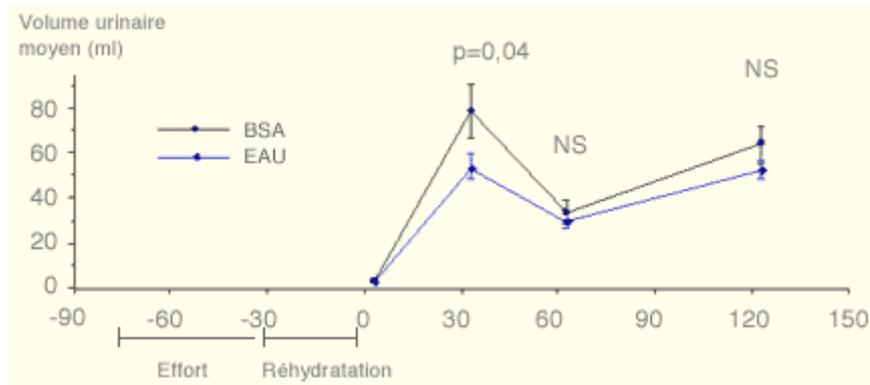
---

De part son apport en eau, la bière contribue à calmer la soif, à désaltérer. Son amertume et sa pétillance, ainsi que sa richesse en éléments qui participent à la sensation de saveur « fraîche » sont autant de propriétés qui la rendent agréable à boire. Mais en dehors de cet aspect hédoniste, la bière possède une qualité physiologique importante : elle est diurétique.

### 1. Constat d'études

En 1975, le Professeur TREMOLIERES a montré, chez des sujets sains des deux sexes consommant à jeun 0,5 g/kg de poids corporel de bière, de vin ou de whisky, qu'il existait une diurèse aqueuse plus importante avec la bière. Une observation clinique faite chez des sujets sains des deux sexes a démontré qu'en réponse à l'ingestion d'un litre de bière à jeun, l'évacuation urinaire était de 1012 ml pour la bière contre seulement 385 ml pour l'eau.

Les bières dites sans alcool possèdent-elles ce pouvoir diurétique ? Vingt-trois sportifs, footballeurs professionnels, ont reçu, à la fin de deux matchs d'entraînement, 750 ml de bière dite sans alcool ou d'eau. Les boissons sont attribuées (de façon randomisée) afin de corriger les déperditions hydriques induites par l'effort. Les paramètres cliniques (poids, pression artérielle et fréquence cardiaque) ne diffèrent pas entre les deux groupes "bière sans alcool" et "eau". Comme le montre la Figure 30, la diurèse, recueillie durant les deux heures après le match, est significativement plus importante dans le groupe « bière sans alcool » ( $168 \pm 19,9$  ml ;  $127,8 \pm 5,9$  ml dans le groupe « eau » ;  $p = 0,04$ ). La reprise de la diurèse apparaît dès la trentième minute dans le groupe « bière sans alcool » qui a éliminé 22 % de la quantité ingérée (contre 17 % dans le groupe « eau »). La densité et l'osmolalité urinaires ont tendance à être plus faibles dans le groupe « bière sans alcool » mais ces différences ne sont pas significatives. La natriurèse et la chlorurèse s'élèvent parallèlement quelle que soit la boisson consommée tandis que la kaliurèse est plus faible dans le groupe « bière sans alcool » par rapport au groupe « eau », et ce de manière significative (respectivement  $68,1 \pm 5,6$  mEq/l et  $84,2 \pm 6,6$  mEq/l à la trentième minute de la réhydratation ;  $p = 0,003$ ).



**Figure 30 : Evolution du volume urinaire moyen selon la boisson consommée (TREMOLIERES, 1975)**

D'après les travaux rapportés WEILL et GOT en 1997, l'alcoolémie secondaire à la consommation de quantités notables de bières dites sans alcool n'est pas décelable chez 50 % des sujets, et, chez les autres, elle atteint au maximum 0,008 g/L. La quantité d'éthanol circulante est donc très faible et ne peut être considérée, dans ce travail, comme responsable du pouvoir diurétique des bières dites sans alcool.

## **2. Causes et effets**

Le pouvoir diurétique s'avère en partie indépendant de la diurèse aqueuse normale produite par toute absorption d'alcool. Ce pouvoir diurétique de la bière, s'il est scientifiquement reconnu et quantifiable, reste cependant mal défini. Pour certains physiologistes, cette activité diurétique est à attribuer à la présence de composés phénoliques dans la bière. Pour d'autres, ce mécanisme serait dû au fait que la bière provoquerait un blocage de l'hormone antidiurétique.

Toujours est-il qu'absorbée dans des limites raisonnables, la bière agissant sur l'excrétion rénale, permet d'éliminer les déchets organiques issus du métabolisme des composés azotés,

tels les urates, les oxalates, etc., dans des proportions plus importantes que toute autre boisson. On avance aussi que les anglo-saxons et les scandinaves, dont la bière est la boisson courante, sont moins sujets aux calculs rénaux que les méditerranéens, buveurs de vin.

### III- BIÈRE ET SYSTÈME CARDIOVASCULAIRE

---

#### **1. Point sur les études épidémiologiques : une consommation modérée d'alcool est associée à une moindre mortalité coronarienne et totale**

Il existe un lien inverse établi entre coronaropathie et consommation de boissons alcoolisées prises en quantité modérée. Actuellement, aucune étude ne met véritablement en évidence *in vivo* de valeur protectrice supérieure d'une boisson alcoolisée consommée modérément par rapport à une autre.

SAINT-LEGER *et al.*, dans les résultats d'une étude de cohorte issue de 18 pays, a révélé une relation inverse entre la prise de boissons alcoolisées consommées en quantité modérée et la mortalité cardiovasculaire. Ces données ont ensuite été illustrées par de nombreux travaux reposant sur des études d'observation, des études cas-témoins et des études prospectives de suivi de cohortes. Cinq études d'observation menées entre 1969 et 1992 ont été rapportées par RENAUD *et al.* (BRUMMER, 1969 ; SAINT-LEGER, 1979 ; LA PORTE, 1980 ; HEGSTED, 1988 ; RENAUD, 1992) et confirment cette relation négative entre alcool et incidence des maladies cardio-vasculaires. Une étude prospective sur 1 500 italiens a montré que les sujets ayant une consommation régulière bénéficient d'une espérance de vie prolongée de deux ans par rapport aux abstinents et aux gros buveurs (FASCHI *et al.*, 2000).

La fréquence des maladies coronariennes varie selon le niveau de consommation d'alcool : les consommateurs de petites quantités de boissons alcoolisées ont un risque inférieur à celui des abstinents (dix études cas témoins sur onze). Aucune étude n'a mis en évidence de risque supérieur chez les consommateurs modérés par rapport aux abstinents et aux consommateurs excessifs. Seize études de cohorte montrent que le risque de maladies coronariennes est plus bas pour les consommateurs de faibles quantités d'alcool par rapport aux abstinents. La mortalité, quelle qu'en soit la cause, les décès par coronaropathies et l'incidence des pathologies coronariennes sont supérieurs chez les abstinents à ceux des consommateurs modérés, après contrôle des autres facteurs de risque cardiovasculaire.

Certains auteurs ont soulevé la question des sujets abstinents, suggérant que la modeste augmentation de la morbidité et de la mortalité cardiovasculaire de cet échantillon était le fait du recrutement de sujets anciens consommateurs devenus secondairement abstinents. A cette critique, l'étude de RIMM a montré que, lors du suivi de 51 520 hommes sains pendant deux ans, 350 événements coronariens sont survenus (RIMM *et al.*, 1991). La consommation modérée reste liée à un risque plus faible d'infarctus du myocarde mortel, d'infarctus non mortel, de pontage ou d'angioplastie après exclusion des non consommateurs habituels et des sujets ayant une pathologie liée aux coronaropathies (diabète, HTA notamment) et qui pourraient avoir réduit leur consommation.

L'étude réalisée par THUN a porté sur 490 000 hommes et femmes âgés de 30 à 104 ans (THUN *et al.*, 1993). Cette étude analyse les relations entre consommation d'alcool (bière et vin) et mortalité globale. Chez les hommes et les femmes buvant au moins 1 verre de boisson alcoolisée par jour en comparaison aux non-buveurs, le taux de mortalité par maladies cardiovasculaires est réduit de 30 à 40 %. Une protection cardiovasculaire apparaît dès le premier verre. Elle est encore plus marquée chez la femme. Le risque relatif chez l'homme est de 0,7 et chez la femme de 0,6, pour ceux qui boivent au moins 1 verre de boisson par jour par rapport aux non-buveurs. La plus forte réduction en termes de risque absolu et de risque relatif sur la mortalité cardiovasculaire est observée chez les sujets qui ont des facteurs de risque : lésion coronarienne, antécédents d'accident vasculaire cérébral, ou autres facteurs de risque cardiovasculaire. Ce sous-groupe constitue environ 1/3 de la population de l'étude, mais contribue pour les 3/4 aux décès par maladies cardiovasculaires. Dans cette population américaine, la première cause de mortalité est cardiovasculaire (35 % des décès chez les hommes et 37 % chez les femmes). Ce pourcentage diminue lorsque la consommation de boissons alcoolisées augmente. Les auteurs observent également une diminution de la mortalité totale. Pour eux, environ 20 % de la réduction du taux de la mortalité de toutes causes chez des buveurs réguliers est attribuable à la réduction de la mortalité cardiovasculaire.

Une étude publiée dans la revue JAMA confirme le bénéfice d'une consommation modérée et régulière chez les patients à haut risque que sont les diabétiques (VALMADRID *et al.*, 1999). 983 sujets atteints d'un diabète non insulino-dépendant et âgés de 68 ans en moyenne ont été

suivis pendant 12 ans. Chez ces sujets, on retrouve une relation inverse entre alcool et mortalité d'origine coronaire, relation qui persiste lorsque l'on prend en compte tous les facteurs susceptibles de biaiser les résultats.

L'ensemble de ces travaux épidémiologiques permet actuellement de reconnaître à la consommation modérée d'alcool un rôle protecteur sur l'incidence des maladies coronariennes. La réduction du risque d'infarctus du myocarde par une consommation modérée d'alcool est de 35 % chez les médecins américains (CAMARGO *et al.*, 1997). Ces mêmes études définissent la modération comme un apport de moins de 30 à 40 grammes d'alcool pur par jour (HAMMAR *et al.*, 1997) soit environ un litre de bière de consommation courante, de préférence au cours des repas, ce qui représente un à deux verres standards par repas. Un verre standard apporte en moyenne 10 grammes d'alcool pur (250 ml pour la bière). Cette quantité correspond également aux limites à ne pas dépasser pour éviter des lésions hépatiques. Une méta-analyse confirme la dose-seuil à ne pas dépasser : 4 verres par jour. Boire quotidiennement de une à quatre unités d'alcool diminue le risque d'infarctus du myocarde. A partir de 5 verres, le bénéfice disparaît. L'impact favorable de l'alcool sur le risque coronarien est retrouvé quel que soit le type de boisson : il est comparable qu'il s'agisse de vin, de bière ou de spiritueux (CLEOPHAS, 1999). Une autre méta-analyse fixe un seuil de protection cardiovasculaire plus élevé. Des études sont donc encore nécessaires afin de déterminer, en fonction de paramètres individuels, les doses d'alcool à ne pas dépasser (CORRAO *et al.*, 2000). Il semble en effet que l'on n'observe aucune modification des paramètres hépatiques lorsque la consommation de boissons alcoolisées est inférieure à 2 verres par jour (VOLPI *et al.*, 1998). Certains auteurs sont même plus précis et estiment à 30 g d'alcool par jour, la valeur en deçà de laquelle le risque de cirrhose est quasi nul (BELLENTANI *et al.*, 1997). POIKOLAINEN a réalisé une méta-analyse montrant que cette relation suit une courbe en L : les abstinents ont une mortalité un peu supérieure à celle des consommateurs modérés, les consommateurs abusifs au-delà des recommandations de la modération ont une mortalité supérieure à celle des abstinents et des consommateurs modérés (POIKOLAINEN, 1995). Si les consommateurs excessifs ne sont pas pris en compte, la courbe est plutôt une courbe en U. La plus faible mortalité des consommateurs modérés est principalement due à une réduction des décès d'origine coronarienne.

Une grande étude prospective américaine, la *Physicians' Health Study*, illustre l'importance de la notion de modération. Si des sujets faibles consommateurs de boissons alcoolisées augmentent leur consommation, leur risque cardiovasculaire diminue. En revanche, chez les buveurs modérés, une augmentation des quantités d'alcool ne s'accompagne pas du même bénéfice. Il existe donc un seuil au-delà duquel l'alcool n'a plus aucun effet protecteur et bien sûr, en cas d'excès, apparaissent toutes les complications liées à l'abus d'alcool et à l'alcoolisme (SESSO *et al.*, 2000). L'*American Cancer Society* confirme que le risque de décès le plus faible est observé chez les consommateurs d'un verre par jour (BOFFETTA et GARFINKEL, 1990). Quel que soit le type de boisson alcoolisée, dans une étude prospective centrée sur l'athérosclérose et ses risques (étude de BRUNECK), les consommateurs modérés de 20 à 50 g par jour, ont une protection par rapport aux abstinents et aux consommateurs supérieurs, et ce quelque soit le type de boisson (KIECHL *et al.*, 1998). Au-delà de ces consommations, l'effet protecteur de l'éthanol s'annihile et apparaît au contraire une élévation importante de la mortalité totale, des mortalités par cancer (notamment des voies aéro-digestives supérieures), par cirrhose, par accident ou par maladie cérébro-vasculaire (Mc ELDUFF et DOBSON, 1997).

## **2. Pour être protectrice la consommation doit être modérée et régulière**

Les études concordent sur les quantités d'alcool nécessaires pour avoir une meilleure protection cardiovasculaire. Deux à quatre verres par jour semblent une quantité optimale pour offrir la meilleure protection cardiovasculaire.

Une étude récente menée chez 490 000 personnes confirme la protection cardiovasculaire liée à la consommation régulière d'alcool (THUN *et al.*, 1993). Pour les auteurs, cette protection cardiovasculaire apparaît dès le premier verre d'alcool, et est encore persistante au-delà de 6 verres par jour. L'effet optimal est, là aussi, observé entre 2 et 4 verres par jour, surtout chez les personnes à risque cardiovasculaire. Au-delà de 4 verres par jour, les effets négatifs de la consommation excessive de l'alcool contrebalancent le bénéfice d'une consommation modérée. Dans une étude cas témoins concernant un faible échantillon de population, une faible consommation d'alcool est un prédicteur d'une moindre mortalité cardiovasculaire. Une

consommation inférieure à 12,5 g/jour n'est pas protectrice (KLAUSEN *et al.*, 1997). Une étude a été menée chez 11 511 australiens âgés de 35 à 69 ans. Les hommes et femmes qui consomment un à deux verres d'alcool, 5 à 6 jours par semaine, ont une réduction du risque coronarien par rapport aux abstinents. La notion de consommation régulière et modérée est majeure dans cette étude par rapport à la quantité absolue de consommation (Mc ELDUFF et DOBSON, 1997).

Le mode de consommation de l'alcool en quantité régulière mais modérée est confirmé. Dans une étude menée en Suède, les auteurs ont observé une réduction de la survenue d'infarctus du myocarde de l'ordre de 40 % chez les buveurs modérés mais réguliers par rapport aux non-buveurs ainsi que chez les femmes. Le fait de boire de manière occasionnelle n'entraîne aucune protection cardiovasculaire par rapport à une consommation même en plus grande quantité mais de manière régulière (HAMMAR *et al.*, 1997). Des chercheurs britanniques ont confirmé que la protection coronaire est indépendante du type de boissons mais dépend du mode de consommation : seuls les buveurs réguliers sont protégés. L'étude a porté sur 7 735 hommes âgés de 40 à 59 ans suivis pendant plus de 15 ans. Dans une population anglaise (10802 hommes et femmes du Royaume-Uni âgés de 16 à 79 ans et suivis pendant 13 ans), les auteurs n'observent pas d'effet protecteur de la consommation d'alcool. Ceci peut s'expliquer par le type de consommation anglo-saxon avec une concentration sur les jours de fin de semaine de la consommation de boissons alcoolisées. Celle-ci n'est donc pas régulière, ni modérée ces jours-là (MANN *et al.*, 1997). La même notion est retrouvée dans une étude récente réalisée en Finlande chez 1 924 sujets parmi lesquels l'incidence de la mortalité est deux fois moindre chez les buveurs d'alcool réguliers par rapport aux buveurs du week-end (MÄNTTÄRI *et al.*, 1997).

Des données issues d'Europe de l'Est montrent que la consommation excessive épisodique a, au contraire, un effet délétère sur l'appareil cardiovasculaire (BRITTON et McKEE, 2000). Rappelons qu'il est toujours préférable de boire pendant les repas qu'en dehors, comme le montre une étude sur plus de 15 000 sujets, hommes et femmes, âgés de 30 à 59 ans (TREVISAN *et al.*, 2001).

### **3. La bière est aussi efficace que le vin**

Des études rapportées par RENAUD révèlent que les deux populations au monde dont l'espérance de vie est la plus longue sont les Crétois et les Japonais d'une petite île (RENAUD et De LORGERIL, 1992). Ces deux cohortes sont aussi des consommateurs réguliers mais modérés de boissons alcoolisées : les Crétois sous forme de vin (environ 20 g/j), les Japonais sous forme de bière (28 g/j).

Une étude récente chez des coronariens buveurs de bière suggère une action spécifique de la bière dans la protection cardio-vasculaire. Il s'agit d'une étude cas témoins portant sur 312 sujets âgés de 40 à 68 ans atteints d'une coronaropathie stable et 479 témoins en bonne santé. Le risque de développer une maladie coronaire est diminué de 45 % chez les consommateurs de boissons alcoolisées par rapport aux non-buveurs. La réduction du risque est particulièrement importante chez les buveurs de bière. La relation inverse entre consommation de bière et atteinte coronaire persiste même lorsque l'on prend en compte les modifications favorables induites par l'alcool sur les lipides. Pour les auteurs, ces résultats confirment que l'effet protecteur d'une consommation modérée d'alcool vis-à-vis des maladies des artères coronaires passe en partie par les bénéfices de l'alcool sur les facteurs lipidiques et sur l'hémostase, mais l'effet préventif assuré par la bière serait en outre dû à une action spécifique supplémentaire (BRENNER *et al.*, 2001). De 1978 à 1991, sept études ont comparé le risque de maladies cardiovasculaires selon la nature de la boisson alcoolisée ne mettant en évidence aucune différence entre bière et vin en termes de morbi-mortalité cardiovasculaire (RENAUD *et al.*).

Dans l'étude de FRAMINGHAM, il existe une réduction de la mortalité coronarienne chez les consommateurs de vin et de bière par rapport aux consommateurs de spiritueux (FRIEDMAN et KIMBALL, 1986). Dans cette étude de référence qui suit depuis 1948 une cohorte de 5 209 sujets, aucune boisson n'affirme de supériorité par rapport à une autre chez les hommes.

KLATSKY confirme que le risque de maladie coronarienne est moindre chez les consommateurs de boissons alcoolisées quelle que soit la nature de la boisson : bière ou vin (KLATSKY et ARMSTRONG, 1993).

POIKOLAINEN a publié en 1995 une méta-analyse à partir de 29 publications scientifiques. Il n'existe pas de différence entre consommations de bière, de vin ou de liqueur sur le risque de maladie coronarienne ou d'accident vasculaire cérébral. Le risque le plus faible de décès semble correspondre à un apport moyen d'un verre standard quotidien. Une revue de 12 études d'observation, 3 études cas contrôles et 10 études de cohorte a été publiée par RIMM *et al.* en 1996. Il n'existe aucune preuve formelle de la supériorité d'une boisson par rapport aux autres. C'est la molécule éthanol qui semble être responsable de cette action favorable lors d'un apport modéré. Plusieurs études le démontrent. Réalisée en Allemagne avec la bière, l'une d'elles a établi une relation inverse entre consommation de bière et risque coronarien dans une population du Sud chez 1 071 hommes et 1 013 femmes pour une consommation moyenne de 40 g d'alcool par jour (KEIL *et al.*, 1997). Le rôle de la bière en tant que facteur protecteur cardiovasculaire est donc confirmé.

Dans la même étude, les auteurs mettent en évidence une moindre mortalité globale chez les buveurs modérés de bière entre 20 et 49 g d'alcool par jour. La mortalité est huit fois plus élevée chez les non-buveurs par rapport à ces buveurs modérés (BRENNER *et al.*, 1997).

Dans un symposium organisé par la Fondation NOVARTIS, un expert de renommée internationale, CRIQUI, confirme que l'action cardioprotectrice n'est pas liée à une boisson particulière. Pour lui le composant clé des boissons alcoolisées est justement l'alcool et ses effets sur les lipides et la coagulation sanguine (CRIQUI, 1998).

L'étude qui clôt le débat est indiscutablement celle réalisée par KLATSKY et publiée en 1993. Cet auteur a réalisé une étude prospective chez 128 934 adultes hommes et femmes dont il connaissait parfaitement le type de consommation de boissons alcoolisées. 3 931 personnes de la cohorte ont été hospitalisées pour maladie coronarienne. Parmi tous ces

sujets, 1 757 personnes ont eu un infarctus du myocarde, 848 une autre atteinte coronarienne, 753 une angine de poitrine, et 573 une maladie coronarienne ischémique chronique. Dans cette étude, les buveurs ont reçu des questionnaires séparés concernant le nombre de jours par semaine durant lesquels ils buvaient du vin, des spiritueux ou de la bière. Parmi les buveurs de vin, les auteurs ont séparé les buveurs de vin blanc, de rouge ou des deux. Les hommes boivent plus et plus fréquemment de spiritueux ou de bière. Les femmes boivent plus fréquemment du vin et de manière plus modérée. La proportion de personnes âgées était plus importante chez les buveurs de spiritueux et moindre chez ceux de bière. Les buveurs de vin ont, pour la plupart, un niveau d'éducation supérieure et sont moins fumeurs. Les hommes préfèrent plutôt le vin rouge et les femmes plutôt le vin blanc. Le risque cardiovasculaire diminue progressivement avec la consommation totale d'alcool, et ce, dans les deux sexes. Lorsque l'on analyse le risque coronarien par rapport à chaque boisson (vin, spiritueux ou bière), il existe une relation inverse entre le risque cardiovasculaire et chaque boisson, tout particulièrement avec la bière chez l'homme et le vin chez la femme. Lorsque l'analyse prend en compte l'ensemble des facteurs de risques cardiovasculaires connus, la consommation de bière chez l'homme reste significativement protectrice ainsi que la consommation de vin dans les deux sexes. Lorsque les auteurs analysent la consommation totale d'alcool, il n'y a pas de différence entre l'usage de vin, de bière ou de spiritueux. La consommation de boissons alcoolisées est protectrice (moins 30 % d'infarctus du myocarde) et ce, encore plus chez les personnes à risque coronarien (moins 40 %). La protection d'une boisson alcoolisée sur le risque d'infarctus du myocarde est identique quel que soit le type de boisson alcoolisée.

Ceci a été une nouvelle fois démontré dans une étude récente publiée dans *l'American Journal of Cardiology* de 1999 par GAZIANO *et al.*. Dans cette étude cas témoin concernant 344 sujets, le risque relatif d'infarctus du myocarde est globalement de 0,54 chez les buveurs modérés de bière (0,37 à 0,79), 0,55 (0,31 à 0,97) chez les buveurs de vin et 0,59 (0,38 à 0,91) chez les buveurs de spiritueux. Ces bénéfices comparables paraissent essentiellement liés aux effets de l'éthanol sur le HDL cholestérol qui est plus élevé chez tous les buveurs de boissons alcoolisées par rapport aux non buveurs. Chez les personnes buvant un à deux verres par jour (buvants modérés), la relation inverse entre le risque coronarien et la consommation n'est observée que chez les buveurs de bière. Il n'y a par contre pas d'effet protecteur chez ceux qui boivent moins d'1 verre par jour. Ces résultats confirment donc l'effet protecteur de manière générale d'une consommation modérée et régulière de boissons alcoolisées. Chaque boisson a

un effet protecteur. La bière a un effet protecteur légèrement supérieur au vin dans cette étude chez l'homme, mais pas chez la femme. Pour les consommations très modérées (1 à 2 verres par jour), la bière semble se révéler supérieure. La plus faible proportion de femmes qui boivent de la bière peut expliquer la moindre relation favorable observée chez elles sur la protection cardiovasculaire. Il est à noter également que les femmes ont un moindre risque cardiovasculaire. Le bénéfice le plus important des boissons alcoolisées, en quantités modérées, sur le risque cardiovasculaire, est surtout observé chez les personnes qui ont plusieurs facteurs de risque. La conclusion majeure de cette étude est que les différents types de boissons protègent de manière équivalente contre le risque de maladies coronariennes, sans que l'une d'entre elles se détache de manière significative. Il n'y a pas de raison de recommander une consommation modérée exclusive de vin, la bière ayant les mêmes effets.

#### **4. Mécanismes liant la consommation de bière en quantité modérée et son rôle dans la protection des maladies cardiovasculaires**

De nombreuses hypothèses ont été soulevées, l'explication physiopathologique étant sans doute multifactorielle. Deux sites d'action de la bière semblent cependant jouer un rôle prédominant : les lipoprotéines et l'hémostase. L'apport de bière en vitamines du groupe B et en folates pourrait intervenir sur le taux d'homocystéine.

##### **a- Action sur les lipides**

Dans la *Lipid Research Prevalence Study*, CRIQUI *et al.* estime qu'une augmentation du taux de HDL cholestérol est responsable de la moitié de l'effet protecteur de l'alcool sur le risque de maladies coronariennes (CRIQUI *et al.*, 1987). La consommation d'alcool s'accompagne d'une augmentation du taux de cholestérol HDL et d'une réduction du taux de cholestérol LDL. Pour LANGER *et al.*, dans le *Honolulu Heart Program*, 50 % de l'effet protecteur des boissons alcoolisées sur les maladies coronariennes est lié à l'élévation du HDL cholestérol et 18 % à la baisse du LDL (LANGER *et al.*, 1992).

Une étude russe montre que la consommation modérée d'alcool a un effet bénéfique anti-athérogène sur l'ensemble des lipoprotéines sériques (SERDYUK *et al.*, 2000). Cet impact favorable sur les lipides a été confirmé par une méta-analyse regroupant les études sur les effets d'une consommation modérée d'alcool. Celle-ci augmente les paramètres favorables, notamment le HDL cholestérol, et diminue les facteurs de risque non seulement d'athérome mais aussi de thrombose (RIMM *et al.*, 1999). Bière et vin auraient les mêmes effets sur les lipides lorsqu'ils sont pris en cours de repas (LONGNECKER, 1999).

#### *α) Action sur le cholestérol HDL*

La consommation modérée d'alcool amplifie le transport du cholestérol des tissus vers le foie en stimulant la production des apolipoprotéines A1 et A2 conduisant ainsi à une augmentation des taux de HDL 3. L'alcool pris en quantité modérée augmente la LpA1, particule HDL protectrice (BRANCHI *et al.*, 1997). La simple prise d'un verre de boisson alcoolisée par jour suffit pour augmenter le HDL chez les hommes et chez les femmes, mais n'a pas d'effet significatif sur les marqueurs de l'hémostase (Mc CONNELL *et al.*, 1997). Le type de boissons alcoolisées n'influence pas cet effet de l'alcool.

La bière et les liqueurs sont également associées à un cholestérol HDL élevé chez les hommes et les femmes (PARKER *et al.*, 1996). Quel que soit le type de boisson alcoolisée consommé chez les femmes et chez les hommes, il existe une association positive entre la consommation d'alcool et le cholestérol HDL (PARKER *et al.*, 1996). L'apport en alcool est le principal producteur du cholestérol HDL dans une étude évaluant l'influence des facteurs environnementaux sur les paramètres lipidiques. Trente et un pour cent des variations du HDL cholestérol sont expliqués par la prise d'alcool (DADAN *et al.*, 1996).

L'augmentation du cholestérol HDL due à la consommation modérée de boissons alcoolisées est observée quels que soient le taux de cholestérol initial et le poids des sujets. Seules l'activité physique et la consommation modérée d'alcool sont susceptibles d'élever le bon cholestérol, qui est la cible majeure dans la recherche actuelle pour la prévention des maladies cardio-vasculaires (GINSBERG, 2000 ; HENDRIKS *et al.*, 2001).

La hausse du HDL-cholestérol attribuée à l'alcool a néanmoins ses limites. Au-delà de 40 g/j, tous les paramètres lipidiques augmentent à l'exception du LDL-cholestérol (SILLANAUKKEE *et al.*, 2000).

*β) Action sur le cholestérol LDL*

L'alcool a également un effet sur les particules LDL. Une consommation d'alcool modifie la taille des particules LDL (athérogènes), elle les rend plus grosses et moins susceptibles d'être athéro-thrombogènes (WILLIAMS et KRAUSS, 1997).

Bière ou vin ont le même effet sur les paramètres lipidiques dans une étude publiée en 1998 (VAN TOL *et al.*, 1998). Il n'y a aucune différence entre les effets d'une boisson alcoolisée, vin, bière ou spiritueux sur le taux de triglycérides plasmatiques. La consommation de 40 g par jour d'alcool entraîne une augmentation modérée et post-prandiale des triglycérides et une diminution des particules LDL. Ces effets sont transitoires. Le cholestérol HDL est augmenté par l'alcool à tous les moments.

b- Action sur l'hémostase

L'alcool intervient aussi sur les mécanismes d'hémostase et de thrombose en réduisant la concentration du fibrinogène plasmatique (10 g d'alcool par jour diminuent sa concentration de 1 % et le risque coronarien de 4 %). D'autres travaux ont montré que la consommation modérée pendant cinq semaines serait responsable d'une diminution de l'agrégation plaquettaire (RENAUD, 1992).

Le mécanisme moléculaire de l'effet de l'alcool sur la coagulation commence à être compris. Une étude expérimentale chez le rat a montré que la baisse du fibrinogène observée chez les animaux auxquels on administre de l'alcool serait due à une diminution de la transcription des gènes codant pour cette protéine (WANG *et al.*, 1999). Il semble en outre qu'une petite dose d'alcool ait un effet anti-ischémique quasi immédiat, selon les résultats d'une étude

expérimentale réalisée sur des myocytes de rats. Une brève exposition (équivalent à une ou deux unités d'alcool chez l'homme) protège les cellules cardiaques des effets d'une ischémie prolongée. Le mécanisme d'action passerait par la protéine kinase C (CHEN *et al.*, 1999).

Une consommation modérée d'alcool diminue l'activité plaquettaire non seulement juste après l'ingestion, mais aussi à distance alors qu'aucune trace d'alcool n'est retrouvée dans le sang (LACOSTE *et al.*, 2001).

La consommation de bière entraîne une réduction du fibrinogène plasmatique ce qui peut contribuer à la protection contre les maladies coronariennes et vasculo-cérébrales (DIMMITT *et al.*, 1998). Dans une étude de VORSTER, sur régime alimentaire et hémostasie, les auteurs confirment un effet anticoagulant et préventif sur la thrombose d'une consommation modérée d'alcool (VORSTER *et al.*, 1997). Une autre étude confirme l'intérêt d'une consommation modérée d'alcool sur la fibrinolyse et les taux de lipides (BROMMER *et al.*, 1997). En 1994, HENDRIKS *et al.* a étudié les effets d'une consommation modérée d'alcool sur la fibrinolyse, chez huit hommes sains âgés de 45 à 55 ans, non-fumeurs. Chaque sujet a reçu au dîner de manière randomisée de l'eau ou 40 g d'alcool sous forme de bière, de vin ou de gin. Les auteurs mettent en évidence au matin une activation de la fibrinolyse, compatible avec une réduction du risque coronarien chez les consommateurs modérés, quel que soit le type de la boisson.

L'alcool entraîne une inhibition de l'agrégation plaquettaire (DONG *et al.*, 1997). Une étude a été menée spécifiquement sur la bière et l'influence de la consommation modérée sur les paramètres de la coagulation chez des patients à haut risque d'infarctus. C'est ainsi que 22 patients ont consommé 330 ml de bière contenant 20 g d'alcool pendant une période d'un mois en continuant leurs traitements habituels. Ils ont été comparés à des patients ne prenant pas de boisson alcoolisée. Chez les patients qui boivent de la bière, les facteurs de la coagulation sont significativement améliorés avec une moindre coagulation et donc un moindre risque de former un caillot sanguin. Cette diminution de l'activité thrombogénique peut être une des causes majeures de diminution de mortalité chez les patients avec des maladies coronariennes en particulier les buveurs de quantités modérées de bière (GORINSTEIN *et al.*, 1997).

A concentration modérée, l'alcool améliore la micro-circulation en augmentant la capacité des globules rouges à se déformer (OONISHI et SAKASHITA, 2000).

### c- Bière et homocystéine

L'hyper-homocystéinémie est un facteur de risque cardiovasculaire de plus en plus pris en compte, en sus des quatre « classiques » que sont le tabac, l'hypertension artérielle, l'hypercholestérolémie et le diabète. Des taux élevés d'homocystéine sont particulièrement observés chez les sujets carencés en vitamines B6, B12 et en folates (BLACHER *et al.*, 2001). La richesse de la bière en ces vitamines pourrait contribuer à la protection cardiovasculaire, mais ceci reste un mécanisme hypothétique.

Les conclusions d'une étude, publiée en juillet 2001 dans le journal *Epidemiology*, font apparaître une baisse de 45% du risque d'infarctus du myocarde chez les buveurs modérés de bière. Ces conclusions s'expliqueraient non seulement par l'action de l'éthanol sur les lipides et les facteurs hémostatiques, mais également par certains mécanismes spécifiques à la bière, comme une action œstrogénique et antioxydante ainsi qu'une prévention de l'élévation du taux d'homocystéine liée à l'absorption d'alcool, par la vitamine B6 contenue dans la bière. L'originalité de cette publication repose par ailleurs sur l'étude spécifique d'une population majoritairement ou exclusivement consommatrice de bière et non plus seulement sur une population de consommateurs de boissons alcoolisées (BRENNER *et al.*, 2001).

Une étude hollandaise tend à créditer l'impact favorable de la bière sur l'homocystéine (DE BREE *et al.*, 2001). Elle établit en effet un lien direct entre consommation de bière et baisse du taux d'homocystéine. L'étude a permis d'identifier une absence d'élévation du taux d'homocystéine chez les consommateurs de bière, alors que les boissons alcoolisées provoquent une augmentation de ce taux. Cette absence d'élévation s'expliquerait par la présence dans la bière de folates (vitamines B9), de riboflavines (vitamines B2) et de pyridoxines (vitamines B6), trois groupes de vitamines essentiels dans le processus de conversion enzymatique de l'homocystéine.

RIMM *et al.* a publié dans le JAMA de février 1998, une étude sur le contenu en folates et vitamines B6 de la bière, et ses relations avec le risque de maladies coronariennes chez les femmes. Cette étude est issue de la cohorte de 80 000 femmes de la *Nurses Health Study*. Le risque relatif est de 0,69 pour le quintile supérieur des consommatrices de folates et de 0,67 pour le quintile supérieur des consommatrices de vitamines B6. Cet effet est encore plus bénéfique lorsque les folates sont associés à une consommation modérée de boissons alcoolisées (1 fois ou 1 verre par jour) avec un risque de maladies cardiovasculaires diminué de 39 %. L'association d'une consommation modérée de boissons alcoolisées avec une alimentation riche en folates et vitamines B6 est donc un facteur protecteur. La bière a donc potentiellement des avantages intéressants dans ce type de population puisqu'elle contient folates et vitamines B6. L'association d'une consommation importante de folates et de vitamine B6 réduit le risque vasculaire et ce d'autant plus s'ils sont associés à une boisson alcoolisée, ce qui peut expliquer un bénéfice secondaire des micro-nutriments présents dans la bière.

Une autre étude, réalisée en Tchéquie sur une population de 292 hommes et 251 femmes et publiée dans le *European Journal of Clinical Nutrition*, conforte l'idée d'une action favorable des vitamines B de la bière sur le taux d'homocystéine sanguin (MAYER *et al.*, 2001). La consommation de bière y est en effet associée à une augmentation de la concentration de folates (vitamines B9) et de cobalamine (B12) dans le sang ainsi qu'à une moindre homocystéinémie. Le protocole comporte cependant une limite : il repose sur une consommation quotidienne de 4 unités / jour, soit 4 demis de bière, ce qui est légèrement au-delà des recommandations liées à une consommation raisonnable.

Enfin, une étude américaine réalisée chez des personnes âgées montre que, par rapport aux buveurs réguliers, les abstinents ont une homocystéinémie supérieure et une relation entre folates et homocystéine moins forte (KOEHLER *et al.*, 2001).

Plus récemment, le 16 janvier 2003, étaient présentés les résultats des études SU.VI.MAX et COBRA, portant sur les relations entre consommation d'alcool et homocystéinémie, lors des V<sup>èmes</sup> Journées de Nutrition Appliquées à la Santé. Des travaux réalisés sur une population

française de 2 691 personnes issue de l'étude SU.VI.MAX (pour SUpplémentation en Vitamines et Minéraux AntioXydants), à la demande du Centre d'Information Scientifique sur la Bière, avaient pour objectif d'évaluer si la relation entre consommation d'alcool et homocystéine était dépendante du type de boisson alcoolique consommée. Les résultats indiquent que la consommation de bière ne semble pas avoir d'effet ou avoir un effet inverse sur l'homocystéinémie, alors que la consommation de vin pourrait l'augmenter. Par ailleurs, l'étude COBRA (pour COnsommation de Bière et Risque Artériel) portait sur l'analyse des effets d'une consommation modérée de bière ou de vin sur l'homocystéinémie dans une population à risque cardiovasculaire élevé de l'Ile-de-France. Principal résultat de cette étude, la consommation modérée et régulière de bière est associée à une diminution du taux sanguin d'homocystéine (MENNEN *et al.*, 2003).

La recherche permet progressivement de mettre en évidence l'influence de constituants des boissons alcooliques sur certains facteurs de risque cardiovasculaire. Cependant, il faut savoir que la consommation excessive de boissons alcooliques n'a pas ces effets et que recommander la consommation de telles boissons aux abstinents ne se justifie en aucun cas.

#### d- Effet antioxydant

Des Coréens ont mis en évidence dans *Saccharomyces cerevisiae* un antioxydant particulier : un argument de plus pour penser que la bière exerce une protection cardiovasculaire spécifique (HUH *et al.*, 1998). Un verre de bière apporte d'ailleurs autant d'antioxydants que sept verres de jus de pomme ou deux verres de jus d'orange (PAGANGA *et al.*, 1999). Chez l'homme sain, le pouvoir antioxydant de différentes boissons alcoolisées (bière, vin, spiritueux) est identique alors que leur composition diffère. Il faut donc tenir compte de la biodisponibilité des antioxydants contenus dans les aliments. Ce n'est pas tant la composition que l'effet biologique final qui est important (VAN DER GAAG *et al.*, 2000).

## **5. Impact de la consommation modérée d'alcool sur les autres sites vasculaires**

### a- Sur les artères

La consommation modérée d'alcool n'a pas simplement un effet bénéfique sur les artères du cœur mais aussi sur les autres artères. C'est ainsi que dans une étude américaine concernant 22000 médecins américains, le fait de boire au moins un verre de boisson alcoolisée par jour réduit de 32 % le risque d'avoir une atteinte des artères des membres inférieurs. L'action de l'éthanol à petites doses est donc bénéfique de manière globale sur tous les vaisseaux et pas uniquement sur les artères coronariennes (CAMARGO *et al.*, 1997).

Dans une étude cas témoins menée à New York, la consommation modérée supérieure à 2 verres par jour est significativement protectrice du risque d'accident vasculaire cérébral après ajustement sur les autres facteurs confondants (SACCO *et al.*, 1999). Le risque relatif est de 0,51. Cet effet s'observe à la fois chez les sujets jeunes et âgés, chez les hommes et les femmes, quel que soit le groupe ethnique. A l'inverse, une consommation supérieure à 7 verres ou plus par jour, augmente le risque relatif qui passe à 2,96 (1,05 à 8,29). Ces résultats sont confirmés par une publication de la même équipe en 2000. Les chercheurs ont mis en évidence une relation en forme de U entre alcool et accident vasculaire cérébral (BODEN-ALBALA et SACCO, 2000). Dans une étude réalisée chez des femmes jeunes, une équipe américaine a montré l'effet protecteur d'une consommation modérée contre la survenue d'un accident vasculaire cérébral (MALARCHER *et al.*, 2001).

La consommation modérée d'alcool protège également des lésions de revascularisation, tout particulièrement chez les patients ayant fait un infarctus du myocarde et étant des buveurs modérés. C'est un argument supplémentaire pour ne pas décourager les coronariens à avoir une consommation modérée et régulière de boissons alcoolisées (MIYAMA *et al.*, 1997).

Chez les buveurs modérés, les artères sont moins abîmées par rapport aux abstinents et le risque de lésion rénale est moins important : de l'ordre d'une réduction de 76 % d'après une étude réalisée à Honolulu (BURCHFLIEL *et al.*, 1997). Il existe d'ailleurs, selon les données de l'étude de FRAMINGHAM, une relation inverse entre alcool (à doses modérées) et artérite des membres inférieurs. L'effet préventif est maximum entre une et deux unités d'alcool par jour chez l'homme et une demie à une chez la femme (DJOUSSE *et al.*, 2000). Une expérience réalisée chez des souris soumises à un régime très riche en graisses, source d'athérosclérose, a montré que l'alcool inhibe le développement des plaques d'athérome (EMESON *et al.*, 2000).

#### b- Sur la pression artérielle

Les effets de l'alcool sur la pression artérielle ont fait l'objet de nombreuses publications. La consommation excessive d'alcool entraîne une augmentation de la pression artérielle, ce qui peut réduire le bénéfice de la consommation d'alcool. L'alcool augmente la pression artérielle de manière proportionnelle à sa consommation. C'est un facteur de risque cardiovasculaire qui, au-delà de quatre verres, contrebalance en partie le bénéfice observé au niveau coronarien (YORK et HIRSCH, 1997).

Chez les buveurs modérés, l'alcool est associé à une augmentation de la pression artérielle systolique chez l'homme et diastolique uniquement chez la femme (YORK et HIRSCH, 1997). Néanmoins, à doses modérées d'alcool (moins de 40 g/jour), le bénéfice persiste largement (STAMLER *et al.*, 1997).

### **6. Les effets d'une consommation modérée de bière chez le diabétique**

Contrairement à certaines idées reçues, les diabétiques non insulino-dépendants (diabète de type 2) peuvent consommer sans risque un peu d'alcool. Une consommation régulière peut même leur être conseillée, comme le montrent les résultats d'une étude américaine sur plus de 1 200 patients (CARUSO *et al.*, 2000).

L'alcool, toujours à doses raisonnables, aurait de plus un effet préventif vis-à-vis du diabète de type 2. Dans la célèbre étude prospective menée chez des médecins américains (*Physicians' Health Study*), le risque relatif de développer un diabète est diminué de moitié chez les buveurs modérés par rapport aux abstinents (AJANI *et al.*, 2000).

Autre nouveauté très importante : une consommation modérée est associée à une baisse de l'insulinorésistance, ce qui signifie un moindre risque de diabète et de maladies cardiovasculaires (FLANAGAN *et al.*, 2000). La relation entre sensibilité à l'insuline et consommation d'alcool présente une courbe en U (BELL *et al.*, 2000), relation qui n'est cependant pas retrouvée chez les obèses (CORDAIN *et al.*, 2000).

## **7. Les effets d'une consommation modérée d'alcool chez l'insuffisant cardiaque**

La consommation excessive d'alcool peut être responsable d'une détérioration cardiaque appelée cardiomyopathie. En revanche, en petites quantités, l'alcool n'a pas d'effet néfaste sur le cœur même chez des malades souffrant d'une insuffisance cardiaque. L'alcool pourrait même améliorer leur pronostic. Telles sont les conclusions d'une étude portant sur plus de 5000 cardiaques séparés en deux groupes : les consommateurs modérés (de 1 à 14 unités d'alcool par semaine) et les abstinents. La consommation d'alcool diminue le taux de mortalité, en particulier les décès par infarctus du myocarde. Le risque de développer une défaillance cardiaque ou de mourir d'un trouble du rythme est comparable dans les deux groupes. On admet donc aujourd'hui que la consommation de petites doses d'alcool n'est pas dangereuse pour l'insuffisant cardiaque (COOPER *et al.*, 2000).

## IV- AUTRES EFFETS PHYSIOLOGIQUES DE LA BIÈRE

---

### 1. Bière et ostéoporose

L'ostéoporose est une maladie systémique progressive du squelette caractérisée par une faible masse osseuse et une détérioration architecturale du tissu osseux avec, comme résultante, une augmentation de la fragilité osseuse et de la susceptibilité aux fractures. Les causes de l'ostéoporose sont multifactorielles, mais le facteur génétique exerce un rôle prépondérant (70 - 80 %) sur le contrôle de la masse et de la qualité osseuse.

Les hormones, et en particulier les œstrogènes, sont également impliquées dans cette pathologie, ce qui explique que les femmes ménopausées y soient particulièrement exposées et qu'une des indications du traitement préventif de l'ostéoporose chez les femmes soit le traitement hormonal de la ménopause (HUOPIO *et al.*, 2000). Néanmoins, les facteurs environnementaux, comme l'alimentation, l'exposition au soleil et le style de vie avec une action préventive de l'exercice physique et délétère du tabac peuvent également avoir une influence sur cette pathologie. La nutrition est un autre facteur modifiable important dans le développement et le maintien de la masse osseuse, mais aussi dans la prévention et le traitement de l'ostéoporose.

Environ 80 à 90 % du contenu minéral de l'os est composé de calcium et de phosphore, mais d'autres composants alimentaires comme les protéines, les oligo-éléments (magnésium, zinc, cuivre, fer, fluor) et les vitamines (A, D, C, K) sont nécessaires au métabolisme de l'os. D'autres substances comme la caféine, l'alcool, les phyto-œstrogènes ainsi que peut-être des nutriments non encore identifiés peuvent également avoir un impact.

Lorsque l'on interroge les bases de données avec pour mots-clés « bière », « alcool », « ostéoporose », « densité osseuse », il apparaît une littérature sur le risque de fracture ostéoporotique et la prise d'alcool, mais exceptionnellement une référence précise à un type de

boisson est mentionnée. Les articles s'intéressent préférentiellement aux femmes autour de la ménopause et aux facteurs de risque de diminution de la densité minérale osseuse.

Une étude de population comme celle de SMEETS-GOEVAERS *et al.* publiée en 1998 a choisi une population de 5 896 femmes hollandaises de 46 à 54 ans et a étudié la prévalence de l'ostéopénie (27,3 %) et de l'ostéoporose (4,1 %). Une augmentation du risque d'avoir une densité minérale osseuse basse était associée à l'âge, à la ménopause et au tabac alors que la consommation d'alcool, un IMC élevé et l'utilisation d'œstrogènes avaient un effet protecteur.

De même, l'étude française EPIDOS (GANRY *et al.*, 2000) sur l'épidémiologie de l'ostéoporose auprès de 7 598 femmes de plus de 75 ans concluait à un effet bénéfique d'une dose modérée d'alcool (11-29 g/jour) sur la densité minérale osseuse. Une étude prospective de suivi sur douze mois de 200 160 femmes ménopausées, âgées de plus de 50 ans (SIRIS *et al.*, 2001) retrouve un effet protecteur de l'alcool. De même, dans une étude cas-témoins (BARON *et al.*, 2001), la consommation modérée d'alcool avait une relation inverse avec le risque de fracture de hanche chez des femmes ménopausées.

L'équipe de RAPURI publie en 2000 une étude menée chez 489 femmes âgées de 65 à 77 ans qui note une réduction des marqueurs du remodelage osseux et de l'ostéocalcine sérique avec la consommation d'alcool, ce qui suggère que l'augmentation de la densité minérale osseuse avec la prise d'alcool pourrait être due à une réduction du remodelage osseux. Ils ont également noté que les concentrations sériques de parathormone (hormone impliquée dans le métabolisme du calcium) étaient significativement plus basses chez les buveuses comparées aux abstinentes et que cela pouvait être une des causes de diminution de la résorption osseuse.

Lorsque l'ensemble d'une population est étudié, les auteurs (DENG *et al.*, 2000) trouvent qu'une consommation d'alcool a des effets significativement bénéfiques sur la densité minérale osseuse des hanches dans les deux sexes. Des auteurs danois (HOIDRUP *et al.*, 1999) ont étudié de façon prospective sur 17 868 hommes et 13 917 femmes l'association entre la quantité d'alcool et le risque de fracture de hanche. Une consommation faible à

modérée (1 à 27 verres chez l'homme et 1 à 13 chez la femme pendant une semaine) n'était pas associée au risque de fracture, par contre le risque relatif s'accroissait graduellement avec la quantité hebdomadaire consommée si elle dépassait 28 verres chez l'homme.

Une étude prospective sur cinq ans menée auprès d'une population exclusivement masculine montre que les facteurs de risques potentiels d'ostéoporose chez l'homme sont une faible densité osseuse fémorale, une faiblesse des quadriceps, des chutes dans les douze mois précédents, des antécédents de fractures dans les cinq ans précédents, une perte de poids et, comme facteurs protecteurs, l'utilisation des diurétiques thiazidiques, une activité physique et une consommation modérée d'alcool (NGUYEN *et al.*, 1996).

Enfin, on sait que l'excès d'alcool est un facteur de risque d'ostéoporose puisque, chez l'alcoolique, on retrouve souvent une masse osseuse faible, une diminution du taux de formation osseuse et une augmentation de l'incidence des fractures. En conclusion, une quantité faible à modérée d'alcool semble avoir un effet bénéfique sur la densité minérale osseuse et donc, un rôle potentiellement protecteur contre l'ostéoporose. Rares sont les articles qui mentionnent une spécificité de boissons, mais il est intéressant de noter qu'un extrait de houblon issu du brassage de la bière, l'humulone, inhibe *in vitro* l'activité catalytique de la cyclo-oxygénase 2 et donc la résorption osseuse (YAMAMOTO *et al.*, 2000 ; (TOBE *et al.*, 1997). Des travaux plus précis sont à entreprendre sur le rôle spécifique de cette substance contenue dans la bière.

## **2. Bière et effet lactogène**

Peu de travaux se sont intéressés à l'effet lactogène de la bière (SAWADOGO *et al.*, 1989). Pourtant, la consommation de bières dites de nourrices a pendant longtemps été conseillée aux femmes allaitantes, tout comme certaines plantes connues pour avoir des effets lactogènes. Dans les années 80-90, des chercheurs ont essayé d'isoler des produits spécifiques stimulant la lactation. Une purification partielle a fait apparaître que les fractions les plus actives étaient

dans tous les cas riches en pectines. Les pectines pures de diverses origines reproduisent les effets des extraits de plantes étudiées. Elles seraient le principe actif des plantes lactogènes.

La bière, boisson issue des céréales, possède des propriétés lactogènes et ses principes actifs sont des  $\beta$ -glucanes. Des travaux de montrent que, chez la brebis, les  $\beta$ -glucanes sont capables de stimuler directement la sécrétion de prolactine par l'hypophyse (SAWADOGO, 1989 ; SEPEHRI, 1990). L'effet lactogène de la bière résulterait donc de sa capacité à stimuler la sécrétion de prolactine par l'hypophyse. Depuis, il n'y a pas eu d'étude systématique sur ce sujet. Cependant, il est établi que l'effet lactogène de la bière est sans relation avec la présence d'alcool puisque, dans toutes les expériences décrites, ce composé était éliminé lors de la préparation des extraits (KOLETZKO et LEHNER, 2000).

De nombreuses cultures encouragent les femmes à boire un verre de boisson alcoolisée pour optimiser la production de lait et la nutrition de l'enfant. Ces recommandations ne peuvent se justifier, en raison du passage de l'alcool à l'enfant et des conséquences délétères sur son développement. De plus, plusieurs études ont démontré que la consommation d'alcool par la mère induisait une diminution de la production de lait (MENNELLA, 2001). MENNELLA a également démontré que des enfants allaités par des mères venant de consommer de l'alcool prenaient moins de lait dans les quatre heures suivantes. Une prise compensatoire s'effectuait seulement si la mère ne consommait plus de boissons alcoolisées dans les 8 à 16 heures suivantes. Ces résultats permettent de conseiller aux femmes allaitantes de consommer quelques verres de bière, à condition qu'elle soit sans alcool.

### **3. Bière et mortalité globale**

#### **a- Les études**

Plusieurs études récentes mettent en évidence l'intérêt d'une consommation régulière et modérée de bière sur la mortalité globale. Les buveurs modérés sont ceux qui ont les meilleurs paramètres de santé comparés aux buveurs abstinents ou aux buveurs excessifs,

dans une méta-analyse concernant 10 études de population générale, et reprenant les renseignements sur les causes de mortalité et les consommations de boissons alcoolisées (FILLMORE *et al.*, 1998). Par ailleurs, une enquête sur près de 20 000 néerlandais montre que les buveurs modérés se sentent en meilleure santé que les abstinents (SAN JOSE *et al.*, 1999).

*α) Etude de KEIL et al. (1997)*

C'est le cas d'une étude prospective menée en Allemagne de 1984 à 1992 sur 1 071 hommes et 1 013 femmes âgés de 45 à 64 ans. 87 % des hommes et 56 % des femmes ont une consommation de boissons alcoolisées avec en moyenne 42 g par jour chez les hommes dont 33 g provenant de la bière. Les femmes qui boivent ont un apport moyen d'alcool de 16 g par jour dont la moitié par la bière et l'autre moitié par le vin.

Après ajustement sur un certain nombre de facteurs confondants, chez les hommes, le risque relatif d'événements coronariens pour les buveurs comparativement aux non-buveurs est de 0,51. Cet effet protecteur s'observe dès la dose de 10 g d'alcool par jour et ne change pas avec des apports plus élevés. Chez les hommes, le risque relatif de mortalité globale pour les différents groupes consommant de l'alcool comparativement aux non-buveurs est de 0,59. Il existe une courbe en U avec un risque relatif de 0,46 pour une consommation de boissons alcoolisées de 20 à 39,9 g par jour. Il y a un risque relatif de 1,04 pour une consommation d'alcool supérieure à 80 g par jour. Chez les femmes, le risque de mortalité globale pour celles buvant 19,9 g par jour d'alcool comparativement aux non-buveurs est de 0,46.

*β) Etude de BRENNER et al. (1997)*

Cette même courbe en U est retrouvée en Allemagne dans une étude de BRENNER. Cette étude a porté sur 8 000 sujets âgés de 25 à 64 ans. Dans la période concernée, 172 hommes décédèrent. La mortalité est 8 fois plus élevée chez les non-buveurs que chez les hommes qui consomment 14,9 g d'alcool par jour. Il existe également une surmortalité chez les gros buveurs.

*χ) Etude de MASKARINEC et al. (1998)*

Selon une autre étude épidémiologique publiée en 1998 et menée chez 40 000 américains, les hommes et les femmes ayant une faible consommation d'alcool, 1 à 7 verres par semaine, ont une réduction de 20 % de la mortalité totale. Les effets protecteurs de l'alcool sont limités à la mortalité coronarienne.

*δ) Etude de CHOU et al. (1998)*

Dans une population générale américaine, avec le vin et la bière, les effets protecteurs sur la mortalité pour les consommations très modérées sont identiques, apportant un bénéfice par rapport aux abstinents. Les sujets qui prennent des spiritueux ont une morbidité plus élevée.

*ε) Etude de THUN et al. (1997)*

L'étude fondamentale, publiée dans le *New England Journal of Medicine*, a porté sur 490 000 hommes et femmes âgés de 30 à 64 ans et fait le point sur la relation entre mortalité globale et consommations peu alcoolisées dont la bière. Cette étude a été menée dans le cadre de la *Cancer Prevention Study* commencée en 1982 et concernant un million d'adultes. Actuellement, l'analyse porte sur 490 000 personnes : 251 420 femmes et 238 206 hommes. La moyenne d'âge est de 56 ans. Par rapport à la population américaine, les sujets ont un niveau socioculturel un peu plus élevé, sont plus fréquemment mariés, appartiennent aux classes moyennes et sont plus souvent de race blanche. Seulement 2 % des sujets ont été perdus de vue et 0,2 % d'entre eux n'ont pu fournir de données interprétables. En 1991, 12 % de la population était décédée et les certificats de décès ont été obtenus pour 98 % d'entre eux.

La consommation d'alcool a été estimée par des questionnaires portant séparément sur la bière, le vin et les spiritueux. Les personnes qui ont changé de type de consommation durant les dix ans l'ont précisé. Les non-buveurs sont des personnes qui ne boivent aucun type de boisson alcoolisée et n'ont jamais bu. Les auteurs ont défini une catégorie de patients « moins d'une boisson par jour », buvant deux ou trois fois par semaine. Les personnes rapportant la consommation d'au moins un verre de boisson alcoolisée par jour sont considérées comme des

buveurs (de un à plus de six verres par jour). La population qui indique une consommation d'alcool sans en préciser les quantités a été exclue de l'analyse.

Sur les 490 000 sujets, 98 000 d'entre eux ont en plus rempli un questionnaire alimentaire très détaillé. Dans ce sous-groupe, 95 % des non-buveurs en 1982 continuaient à être abstinents 10 ans plus tard, 78 % des buveurs de boissons alcoolisées continuaient à boire le même type de boisson.

Comparés aux non-buveurs, les buveurs sont plus fréquemment des fumeurs et ont un niveau d'éducation plus élevé. La consommation de tabac augmente avec celle d'alcool : de 22 % pour les hommes et les femmes buvant moins d'un verre par jour à 37 % pour ceux en consommant quatre ou plus.

La consommation d'alcool est associée à une augmentation du taux de décès par cirrhose et cancer des voies aéro-digestives supérieures. Ce taux de mortalité est multiplié par trois à sept à la fois chez les hommes et chez les femmes qui boivent au moins quatre verres de boisson alcoolisée par jour par rapport aux non-buveurs. Pour les hommes, mais pas pour les femmes, la mortalité par mort violente ou suicide est de 30 % plus importante pour ceux qui boivent au moins quatre verres de boisson alcoolisée, par rapport aux non-buveurs (augmentation du risque de 30 %). Le taux de décès par cancer du sein est de 30 % plus important chez les femmes buvant au moins un verre de boisson alcoolisée par rapport aux non-buveurs (risque relatif 1,3 ; intervalle de confiance 1,1 à 1,6). A l'opposé, la mortalité par décès de toutes les maladies cardiovasculaires combinées est de 30 à 40 % plus faible chez les hommes et chez les femmes qui boivent au moins un verre de boisson par jour par rapport aux non-buveurs (risque relatif chez l'homme : 0,7 ; chez la femme : 0,6).

La plus forte réduction en termes de risque absolu et de risque relatif survient sur la mortalité par maladie coronarienne chez les buveurs qui avaient précédemment des lésions coronariennes ou un accident vasculaire cérébral ou d'autres facteurs de risque cardiovasculaires. Ce sous-groupe contient environ un tiers de la population de l'étude, mais contribue pour les trois quarts aux décès par maladie cardiovasculaire.

Les auteurs n'ont trouvé aucune relation entre la consommation d'alcool et le décès par cancer colo-rectal, par cancer du colon ou par cancer du rectum. Il n'y a pas non plus de relation entre

la consommation d'alcool et les accidents vasculaires cérébraux, pneumopathies et maladies respiratoires.

Globalement, la mortalité cardiovasculaire intervient pour 45 % des décès totaux chez les hommes et 37 % chez les femmes tandis que les pathologies liées à l'alcool interviennent pour 7 % de l'ensemble des décès chez les hommes et 15 % chez les femmes. Le pourcentage des décès dus aux maladies cardiovasculaires diminue lorsque la consommation d'alcool augmente.

Le taux des décès de toutes causes est plus bas à la fois chez l'homme et chez la femme qui boivent au moins un verre de boisson alcoolisée par jour. Cette diminution est d'environ 20 % par rapport aux non-buveurs. Il existe une courbe en J observée chez les sujets à faible risque, à la fois hommes et femmes âgés de 30 à 59 ans, confirmant des études précédentes. Ceci signifie que chez les buveurs modérés, il existe une diminution du risque de mortalité totale par rapport aux abstinents, mais dès que la consommation d'alcool dépasse quatre verres par jour, les courbes de mortalité se croisent à nouveau et il existe alors une surmortalité pour les buveurs excessifs. Dans cette étude, le fait de boire de l'alcool ne compense pas l'augmentation du risque produit par le tabac : alors que la consommation modérée d'alcool réduit le risque de mortalité entre 35 et 69 ans, le tabagisme le double.

Pour les hommes et les femmes âgés de 30 à 59 ans qui sont à faible risque de maladie cardiovasculaire, le taux de décès de toutes causes pour ceux buvant quatre verres ou plus de boissons alcoolisées dépasse le taux de décès des non-buveurs. Dans les sous-groupes ayant un risque intermédiaire de maladie cardiovasculaire, âgés de 30 à 59 ans avec des facteurs de risque cardiovasculaire ou de 60 à 79 ans sans facteur de risque cardiovasculaire, les causes de décès de toutes causes chez les buveurs de quatre verres ou plus sont sensiblement égales à ceux des non-buveurs. Dans le sous-groupe à haut risque cardiovasculaire (personnes âgées de 60 à 79 ans avec des facteurs de risque préexistants), le taux de mortalité de toutes causes chez les buveurs reste significativement inférieur à celui des non-buveurs même pour les sujets buvant plus de quatre verres par jour. Dans la population générale, le nombre de décès pour 100 000 personnes chez les non-buveurs est de 1 483 toutes causes confondues. Il est de 1 116 pour une consommation moyenne d'un verre par jour, 1 210 pour deux verres, 1 247 pour trois verres, 1 334 pour quatre à cinq verres et 1 431 au-delà de six verres. Pour la mortalité cardiovasculaire, la réduction est nette dès le premier verre et se poursuit au-delà de

six verres. On observe les mêmes tendances chez la femme avec un croisement de la courbe de mortalité toutes causes confondues au niveau de quatre à cinq verres par jour. Environ, 20 % de la réduction du taux de mortalité de toutes causes chez les buveurs réguliers est attribuable à la diminution de la mortalité cardiovasculaire.

#### *φ) Morbidité*

Par rapport aux buveurs excessifs et aux abstinents, les consommateurs modérés ont un moindre recours aux services de soins, mais font davantage appel aux tests de dépistage. Autrement dit, ils sont en meilleure santé et essaient de le rester. Telles sont les conclusions d'une vaste enquête sur 41 000 adultes du Sud de l'Angleterre (CRYER *et al.*, 1999).

#### b- Dernières données

##### *α) Une courbe en U*

Selon les résultats d'une étude prospective danoise sur plus de 11 ans, la relation entre alcool et mortalité aurait plutôt la forme d'un U (GRONBAECK *et al.*, 2000). 16 304 personnes de plus de 50 ans ont répondu à un questionnaire concernant notamment leur consommation d'alcool. Le nombre de décès survenus dans cette population a pu être comptabilisé grâce au registre national de mortalité. On observe que la mortalité est significativement plus basse chez les sujets qui ont une consommation régulière et modérée, que chez les abstinents à une extrémité et les buveurs excessifs de l'autre. L'impact de l'alcool est identique chez les 50-64 ans et chez les plus âgés. Il est comparable dans les deux sexes.

##### *β) Avec modération et régularité*

Une enquête allemande réalisée auprès d'un échantillon représentatif de la population a montré que 8 hommes sur 10 et 5 femmes sur 10 consomment régulièrement de l'alcool. Dans la majorité des cas, il s'agit d'une consommation modérée. Ces buveurs réguliers et tempérés

ont une baisse de près de 50 % de leur taux de mortalité sur une période de suivi de 7 années. Ils présentent en outre, comme cela a déjà été largement montré, une augmentation de leur HDL cholestérol (HOFFMEISTER *et al.*, 1999).

Au Danemark, il apparaît que les consommateurs de bière sont des buveurs réguliers contrairement à ceux qui boivent du vin, un mode de consommation meilleur pour la santé que les prises occasionnelles. Il serait intéressant dans le cadre d'un projet européen de comparer l'état de santé des différents types de consommation (GRONBAECK *et al.*, 2000).

## CONCLUSION

---

La bière est la boisson fermentée la plus ancienne sur terre. Son histoire s'imbrique dans celle de l'Humanité et en a suivi les mouvements. Les améliorations apportées par le XX<sup>ème</sup> siècle ont conduit au développement d'une bière plutôt fade et sans relief. L'arrivée des micro-brasseurs en Amérique du Nord et la relance des brasseries artisanales en Europe suscitent un nouvel intérêt à son égard.

La bière est une boisson naturelle, faiblement alcoolisée, élaborée à partir de matières premières sélectionnées, dont le processus de fabrication et de conditionnement est soumis aux contrôles les plus rigoureux et les plus sophistiqués, lui conférant une garantie de qualité absolue.

D'une valeur énergétique incontestable, sa digestibilité est parfaite. Sa teneur en acides aminés essentiels est un apport qualitatif non négligeable pour la ration quotidienne en protéines de l'organisme humain. Elle ne contient pas de matières grasses, dont l'excès est toujours à craindre dans l'alimentation, et très peu de sodium, néfaste pour la tension artérielle.

Les résultats des études que nous avons répertoriées dans les précédents chapitres sont la preuve que la consommation de bière n'est en aucun cas liée à l'augmentation du poids corporel. L'apport en sels minéraux et oligo-éléments représente un pourcentage de couverture des besoins quotidiens fort intéressant. Quant aux vitamines hydrosolubles, la bière, contrairement aux autres boissons alcoolisées, en est une source incontournable pour l'organisme humain.

Sur le plan physiologique, la bière favorise l'appétence et exerce une influence favorable sur la digestion et l'assimilation des aliments. Elle est de plus diurétique et sédative. Les études les plus récentes mettent en exergue son rôle protecteur contre les maladies cardiovasculaires, sous condition d'une consommation modérée mais régulière, de par son action sur les lipides et le cholestérol, la coagulation sanguine, la pression artérielle et l'homocystéinémie.

La bière consommée régulièrement et avec modération est un véritable atout pour la santé !!!

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

Addolorato G, Capristo E, Marini M, Santini P, Scognamiglio U, Attilia ML, Messineo D, Sasso GF, Gasbarrini G, Ceccanti M

***Body composition changes induced by chronic ethanol abuse: evaluation by dual energy x-ray absorptiometry.***

Am J Gastroenterol 2000, 95:23223-7.

Addolorato G, Capristo E, Greco AV, Stefanini GF, Gasbarrini G

***Influence of chronic alcohol abuse on body weight and energy metabolism: is excess ethanol consumption a risk factor for obesity or malnutrition.***

J Intern Med 1998;244:387-95.

Ajani UA, Hennekens CH, Spelsberg A, Manson JE

***Alcohol consumption and risk of type 2 diabetes mellitus among US male physicians.***

Arch Intern Med 2000 Apr 10;160(7):1025-30

Ajani UA, Gaziano JM, Lotufo PA, Liu S, Hennekens CH, Buring JE, Manson JE

***Alcohol consumption and risk of coronary heart disease by diabetes status.***

Circulation 2000 ; 102 : 500-5

Atwater WO, Benedict FG

***An experimental inquiry regarding the nutritive value of alcohol.***

Memoirs Natl Acad Sci 1902; 8:231-397.

Baron JA, Farahmand BY, Weiderpass E, Michaelsson K, Alberts A, Persson I, Ljunghall S

***Cigarette smoking, alcohol consumption, and risk of hip fracture in women.***

Arch Intern Med. 2001 ; 161 (7) : 983-8

Beaudaux S

La bière: historique, fabrication, classification

Thèse du Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université d'Auvergne, 1994

Bebb HT, Houser HB, Witschi JC, Littell AS, Fuller RK

***Calorie and nutrient contribution of alcoholic beverages to the usual diets of 155 adults.***

Am J Clin Nutr 1971;24:1042-52.

Bell RA, Mayer-Davis EJ, Martin MA, D'Agostino RB Jr, Haffner SM  
***Associations between alcohol consumption and insulin sensitivity and cardiovascular disease risk factors: the Insulin Resistance and Rtherosclerosis Study***  
Diabetes Care 2000 Nov;23(11):1630-6

Bellentani S, Saccoccio G, Costa G, Tiribelli C, Manenti F, Sodde M, Saveria Croce L, Sasso F, Pozzato G, Cristianini G, Brandi G  
***Drinking habits as cofactors of risk for alcohol induced liver damage.***  
Gut 1997 Dec;41(6):845-850

Blacher J., Ducimetière P., Safar M.  
***Homocystéine et athéro-thrombose.***  
Diabétologie, Nutrition et facteurs de risque 2001, Vol 7.57 : 74-8

Boden-Albala B, Sacco RL  
***Lifestyle Factors and Stroke Risk: Exercise, Alcohol, Diet, Obesity, Smoking, Drug Use, and Stress.***  
Curr Atheroscler Rep 2000 Mar;2(2):160-166

Boffetta P., Garfinkel L.  
***Alcohol drinking and mortality among men enrolled in an American Cancer Society prospective study.***  
Epidemiol 1990, 1 : 342-348

Borys JM, Bagrel A, Pelletier X, Debry G  
***Bière et poids : la fin des idées reçues ?***  
Entretiens de Bichat 1994

Branchi A; Rovellini A; Tomella C; Sciariada L; Molgora M; Sommariva D  
***Association of alcohol consumption with HDL subpopulations defined by apolipoprotein A-I and apolipoprotein A-II content.***  
Eur J Clin Nutr, 1997 Jun, 51:6, 362-5

de Bree A, Verschuren WM, Blom HJ, Kromhout D.  
***Alcohol consumption and plasma homocysteine : What's brewing?***  
Int J Epidemiol 2001 Jun;30(3):626-7

de Bree A, Verschuren WM, Blom HJ, Kromhout D.  
***Association between B vitamin intake and plasma homocysteine concentration in the general Dutch population aged 20-65 y.***  
Am J Clin Nutr 2001 Jun;73(6):1027-1033

Brenner H., Amdt V., Rothenbacher D., Schuberth S, Fraisse E, Fliedner T.M.  
***The association between alcohol consumption and all-cause mortality in a cohort of male employees in the German construction industry***  
International Journal of Epidemiology 26 (1). 1997. 85-91.

Brenner H, Rothenbacher D, Bode G, Marz W, Hoffmeister A, Koenig W.  
***Coronary heart disease risk reduction in a predominantly beer-drinking population.***  
Epidemiology 2001 Jul;12(4):390-5

Britton A, McKee M  
***The relation between alcohol and cardiovascular disease in eastern europe: explaining the paradox.***  
J Epidemiol Community Health 2000 May;54(5):328-32

Brommer-E-J, Gevers-Leuven-J-A, Brakman-P.  
***Lifestyle, fibrinolysis and lipids.***  
Pharm-World-Sci 1997 Apr, VOL: 19 (2), P: 82-8,

Burchfiel CM; Tracy RE; Chyou PH; Strong JP  
Arterioscler Thromb Vasc Biol, 1997 Apr, 17:4, 760-8

Camargo CA Jr; Stampfer MJ; Glynn RJ; Gaziano JM; Manson JE; Goldhaber SZ  
***Prospective study of moderate alcohol consumption and risk of peripheral arterial disease in US male physicians.***  
Circulation, 1997 Feb 4, 95:3, 577-80.

Camargo CA Jr ; Stampfer MJ ; Glynn RJ ; Grodstein F ; Gaziano JM ; Manson JE;  
***Moderate alcohol consumption and risk for angina pectoris or myocardial infarction in U.S. male physicians.***  
Ann Intern Med, 1997 Mar 1, 126:5, 372-5

Caruso LB, Silliman RA, Demissie S, Greenfield S, Wagner EH  
***What can we do to improve physical function in older persons with type 2 diabetes?***  
J Gerontol A Biol Sci Med Sci 2000 Jul;55(7):M372-7

Chen CH, Gray MO, Mochly-Rosen D  
***Cardioprotection from ischemia by a brief exposure to physiological levels of ethanol : Role of epsilon protein kinase C***  
Proc Natl Acad Sci USA 1999 oct 26 ; 96(22) : 12784-12789

Chou SP, Grant BF, Dawson DA  
***Alcoholic beverage preference and risks of alcohol related medical consequences : a preliminary report from the National Longitudinal Alcohol Epidemiologic Survey***  
Alcohol Clin Exp Res 1998 oct ; 22 (7) : 1450 - 5

C.I.S.B. (Centre d'Information Scientifique sur la Bière)  
6, rue Guillaume Tell 75017 Paris  
<http://www.cisb-infos.com>

Cleophas TJ

***Wine, beer and spirits and the risk of myocardial infarction : a systematic review***

Biomed Pharmacother 1999 Oct ; (3(9)) :417-23

Colditz GA, Giovannucci E, Rimm EB, Stampfer MJ, Rosner B, Speizer FE, Gordis E, Willett WC

***Alcohol intake in relation to diet and obesity in women and men***

Am J Clin Nutr 1991;54:49-55.

Coisne-Wallart A.

La bière d'hier et d'aujourd'hui : fabrication, contrôle et propriétés physiologiques

Thèse du Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université de Lille, 1995

Conan V.

Etude historique, pharmacologique et propriétés diététiques d'une boisson alcoolisée: la bière

Thèse du Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université de Nantes, 1990

Conigrave KM, Hu BF, Camargo CA Jr, Stampfer MJ, Willett WC, Rimm EB.

***A prospective study of drinking patterns in relation to risk of type 2 diabetes among men.***

Diabetes 2001 ; 50 : 2390-5

Cooper HA, Exner DV, Domanski MJ

***Light-to-moderate alcohol consumption and prognosis in patients with left ventricular systolic dysfunction.***

J Am Coll Cardiol 2000 Jun;35(7):1753-9

Cordain L, Melby CL, Hamamoto AE, O'Neill DS, Cornier MA, Barakat HA, Israel RG, Hill JO

***Influence of moderate chronic wine consumption on insulin sensitivity and other correlates of syndrome X in moderately obese women.***

Metabolism 2000 Nov;49(11):1473-8

Cordain L, Bryan ED, Melby CL, Smith MJ.

***Influence of moderate daily wine consumption on body weight regulation and metabolism in healthy free-living males***

J Am Coll Nutr 1997;16:134-9.

Corrao G, Rubbiati L, Bagnardi V, Zambon A, Poikolainen K

***Alcohol and coronary heart disease: a meta-analysis.***

Addiction 2000 Oct;95(10):1505-23

Criqui M.H., Cowan L.D., Tyroler H.A., Bangdiwalas et coll.

***Lipoproteins as mediators for the effects of alcohol consumption and cigarette smoking on cardiovascular mortality results from the Lipid Research Clinics follow up Study.***

Am J Epidemiol 1987, 126 : 629-637

Criqui MH

***Do known cardiovascular risk factors mediate the effect of alcohol on cardiovascular disease ?***

Novartis Found Symp 1998 ; 216 :159-67 ; discussion 167-72

Cryer PC, Jenkins LM, Cook AC, Ditchburn JS, Harris CK, Davis AR, Peters TJ

***The use of acute and preventative medical services by a general population: relationship to alcohol consumption.***

Addiction 1999 Oct;94(10):1523-32

Dadan S, Aicardi V, Kauffmann R, Bunout D

***Cardiovascular risk factors in healthy adult men : influence of physical activity and dietary habits***

Rev-Med Chil 1996 Aug, Vol : 124 (8), P : 911-7

Dallongeville J, Marecaux N, Ducimetiere P, Ferrieres J, Arveiler D, Bingham A, Ruidavets JB, Simon C, Amouyel P

***Influence of alcohol consumption and various beverages on waist girth and waist-to-hip ratio in a sample of French men and women***

Int J Obes Relat Metab Disord 1998 Dec;22(12):1178-83

D'Eer M.

Ales, lagers et lambics : la bière.

Ed. du Trécarré (St Laurent, Québec, Canada) ; Ed. BièreMAG (Chambly, Québec, Canada), 1998

De Blauwe J.J.

La bière, un atout pour la santé

Editions Ellébore (Paris), 2002

Debry G.

Bière et poids : la fin des idées reçues ?

Entretiens de Bichat, 1994. Thérapeutiques/Tables rondes

Deng HW, Chen WM, Conway T, Zhou Y, Davies KM, Stegman MR, Deng H, Recker RR

***Determination of bone mineral density of the hip and spine in human pedigrees by genetic and life-style factors.***

Genet Epidemiol 2000 ; 19 (2) : 160-77

van Der Gaag MS, den Berg R, den Berg H, Schaafsma G, Hendriks HF

***Moderate consumption of beer, red wine and spirits has counteracting effects on plasma antioxidants in middle-aged men.***

Eur J Clin Nutr 2000 Jul;54(7):586-591

Dimmitt SB, Rakic V, Puddey IB, Baker R, Oostryck R, Adams MJ, Chesterman CN, Burke V, Beilin LJ

***The effects of alcohol on coagulation and fibrinolytic factors : a controlled trial***

Blood coagul Fibrinolysis 1998 Jan ; 9 (1) : 39 - 45.

Djousse L, Levy D, Murabito JM, Cupples LA, Ellison RC

***Alcohol consumption and risk of intermittent claudication in the framingham heart study.***

Circulation 2000 Dec 19;102(25):3092-7

Dong QS; Karanian JW, Wesely L; Myers AK

***Inhibition of platelet aggregation in whole blood after exposure of rats to alcohol by inhalation.***

Alcohol, 1997 Jan-Feb, 14:1, 49-54

Doucet E, Tremblay A

***Food intake, energy balance and body weight control***

Eur J Clin Nutr 1997;51:846-55

Duncan BB, Chambless LE, Schmidt MI, Folsom AR, Szklo M, Crouse JR 3rd, Carpenter MA

***Association of the waist-to-hip ratio is different with wine than with beer or hard liquor consumption. Atherosclerosis Risk in Communities Study Investigators.***

Am J Epidemiol 1995 Nov 15;142(10):1034-8

Emeson EE, Manaves V, Emeson BS, Chen L, Jovanovic I

***Alcohol inhibits the progression as well as the initiation of atherosclerotic lesions in C57Bl/6 hyperlipidemic mice.***

Alcohol Clin Exp Res 2000 Sep;24(9):1456-6

Faschi G., Fidanza F., Giampaoli S., Mariotti S., Menotti A

***Alcohol and survival in the Italian rual cohorts of the seven Study***

Int J Epidemiol 2000 Aug ; 29(4) :667-671

Fillmore KM., Golding JM., Graves KL., Knieps S., Leino EV., Romelsjo A., Shoemaker C., Ager CR., Allebeck P., Ferrer HP

***Alcohol consumption and mortality I. Characteristics of drinking groupes***

Addiction 93(2) 1998; 183-204

Flanagan DE, Moore VM, Godsland IF, Cockington RA, Robinson JS, Phillips DI

***Alcohol consumption and insulin resistance in young adults.***

Eur J Clin Invest 2000 Apr;30(4):297-301

Forsander OA.

***Dietary influences on alcohol intake: a review.***

J Stud Alcohol 1998;59:26-31

Franz MJ, Bantle JP, Beebe CA, Brunzell JD, Chiasson JL, Garg A, Holzmeister LA, Hoogwerf B, Mayer-Davis E, Mooradian AD, Purnell JQ, Wheeler M; American Diabetes Association

***Evidence-based nutrition principles and recommendations for the treatment and prevention of diabetes and related complications.***

Diabetes Care. 2002 ; 25 : 148-98

Friedman L. A., Kimball A. W.

***Coronary heart disease mortality and alcohol consumption in Framingham.***

Am J Epidemiol 1986 ; 124 : 481-489

Garry O, Baudoin C, Fardellone P

***Effect of alcohol intake on bone mineral density in elderly women: The EPIDOS Study. Epidemiologie de l'Osteoporose.***

Am J Epidemiol 2000 ; 151 (8) : 773-80

Gaziano JM, Hennekens CH, Godfried SL, Sesso HD.

***Type of alcoholic beverage and risk of myocardial infarction***

American Journal of Cardiology 1999, Janv 1 ; 83 (1) : 52-7

Gin H, Rigalleau V, Caubert O, Masquelier J, Aubertin J

***Effects of red wine, tannic acid, or ethanol on glucose tolerance in non-insulin-dependent diabetic patients and on starch digestibility in vitro***

Metabolism 1999 Sep ; 48(9) : 1179-83

Ginsberg HN.

***Nonpharmacologic management of low levels of high-density lipoprotein cholesterol.***

Am J Cardiol 2000 Dec 21;86(12A):41L-45L

Glover B.

Le grand livre de la bière

Ed. Manise (Genève, Suisse), 1998

Goldberg L

***Swedish Research in Malt Beverages***

Meddelande Nr 15 fran Institute for Maltdryksforskning. Stockholm, 1965 : 17-20.

Gorinstein S; Zemser M; Lichman I; Berebi A; Kleipfish A; Libamn I; Trakhtenberg S; Caspi A

***Moderate beer consumption and the blood coagulation in patients with coronary artery disease.***

J Intern Med, 1997 Jan, 241:1, 47-51

Gorinstein-S, Zemser-M, Berliner-M, Goldstein-R, Libman-I, Trakhtenberg-S, Caspi-A.  
***Moderate beer consumption and positive biochemical changes in patients with coronary atherosclerosis.***

Journal-of-Internal-Medicine 242 (3). 1997. 219-224

Gronbaek M, Tjonneland A, Johansen D, Stripp C, Overvad K  
***Type of alcohol and drinking pattern in 56, 970 danish men and women***  
Eur J Clin Nutr 2000 Feb ; 54(2) : 174-6

Hammar N ; Romelsjö A ; Alfredsson L  
***Alcohol consumption, drinking pattern and acute myocardial infarction. A case referent study based on the Swedish Twin Register.***

J Intern Med, 1997 Feb, 241:2, 125-31

Hellerstedt WL, Jeffery RW, Murray DM  
***The association between alcohol intake and adiposity in the general population***  
Am J Epidemiol 1990;132:594-611.

Hendricks H. F. J., Veenstra J., Velthuis-te Wierik E. J. M., Schaafsma G., Kluit C.  
***Effect of moderate dose of alcohol with evening meal on fibrinolytic factors.***  
BMJ 1994, 308 : 1003-1006

Hendriks HF, van Haaren MR, Leenen R, Schaafsma G.  
***Moderate alcohol consumption and postprandial plasma lipids in men with different risks for coronary heart disease.***  
Alcohol Clin Exp Res 2001 Apr;25(4):563-70

Hetherington MM, Cameron F, Wallis DJ, Pirie LM  
***Stimulation of appetite by alcohol***  
Physiology & Behavior 2001;74:283-9.

Hoffmeister H, Schelp FP, Mensink GB, Dietz E, Bohning D  
***The relationship between alcohol consumption, health indicators and mortality in the German population***  
Int J Epidemiol 1999 Dec ; 28(6) : 1066-72

Hoidrup S, Gronbaek M, Gottschau A, Lauritzen JB, Schroll M.  
***Alcohol intake, beverage preference, and risk of hip fracture in men and women. Copenhagen Centre for Prospective Population Studies.***  
Am J Epidemiol 1999 ;149 (11) : 993-1001

Huh WK, Lee BH, Kim ST, Kim YR, Rhie GE, Back YW, Hwang CS, Lee JS, Kang SO  
***D-Erythroascorbic acid in an important antioxidant molecule in Saccharomyces cerevisiae***  
Mol Microbiol 1998 Nov ; 30(4) : 895-903

Huopio J, Kroger H, Honkanen R, Saarikoski S, Alhava E.  
***Risk factors for perimenopausal fractures: a prospective study.***  
Osteoporos Int 2000 ; 11 (3) : 219-27

INSERM, expertise collective : Alcool, effets sur la santé, 2001

Jacobsen BK, Thelle DS.  
***The Tromso Heart Study: the relationship between food habits and the body mass index***  
J Chronic Dis. 1987;40(8):795-800.

Janssens JP, Shapira N, Debeuf P, Michiels L, Putman R, Bruckers L, Renard D, Molenberghs G.  
***Effects of soft drink and table beer consumption on insulin response in normal teenagers and carbohydrate drink in youngsters***  
Eur J Cancer Prev 1999 Aug ; 8(4) : 289-95

Kawabata-K, Imaki-M, Tanada-S.  
***Evaluation of the effects of lifestyle on serum triglyceride levels in Japanese factory workers.***  
Japanese-Journal-of-Health-and-Human-Ecology 63 (1). 1997. 54-62

Keil U., Chambless L.E., Doring A., Filipiak B., Stieber J.  
***The relation of alcohol intake to coronary heart disease and all-cause mortality in a beer-drinking population.***  
Epidemiology 1997 Mar, Vol : 8 (2), P: 150-6.

Kesse E, Clavel-Chaperon F, Slimani N, van Liere M  
***Do eating habits differ according to alcohol consumption ? Results of a study of the French cohort of the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (E3N-EPIC)***  
Am J Clin Nutr 2001 74:279-80.

Kiechl S., Willeit J., Rungger G., Oberhollenzer F., Bonora E.,  
***Alcohol consumption and atherosclerosis : what is the relation ? Prospective results from the Bruneck Study***  
Stroke 1998 May, 29(5):900-907

Klatsky AL, Friedman GD, Siegelau AB, Gerard MJ.  
***Alcohol consumption among white, black or oriental men and women***  
Am J Epidemiol 1977;195:311-23.

Klatsky A. L., Armstrong M. A.  
***Alcoholic beverage choice and risk of coronary artery disease mortality : do red wine drinkers fare best ?***  
Am J Cardiol 1993, 71 : 467-469

Klausen JC, Sjol A, Hansen PS, Gerdez LU, Moller L, Lemming L, Schroll M, Faergman O  
***Apolipoprotein(a) isoforms and coronary heart disease in men : a nested case-control study***  
Atherosclerosis 1997 Jul 11, Vol 132 (1), P : 77-84

Koehler KM, Baumgartner RN, Garry PJ, Allen RH, Stabler SP, Rimm EB  
***Association of folate intake and serum homocysteine in elderly persons according to vitamin supplementation and alcohol use***  
Am J Clin Nutr 2001 Mar;73(3):628-637

Koletzko B, Lehner F.  
***Beer and breastfeeding.***  
Adv Exp Med Biol 2000 ; 478 : 23-8.

Lacoste L, Hung J, Lam JY  
***Acute and delayed antithrombotic effects of alcohol in humans***  
Am J Cardiol 2001 Jan 1;87(1):82-85

Lands WEM  
***Alcohol and energy intake***  
Am J Clin Nutr 1995;62:101-6S.

Langer R.D., Criqui M.H., Reed D.M.  
***Lipoproteins and blood pressure as biological pathways for effects of moderate alcohol consumption on coronary heart disease.***  
Circulation 1992, 85 : 910-915

Lazarus-R, Sparrow-D, Weiss-S-T.  
***Alcohol intake and insulin levels: The Normative Aging Study.***  
American-Journal-of-Epidemiology 145 (10). 1997. 909-916.

Lereboullet J  
Bull. Acad. Nationale de Médecine, 1970, 154 : 427

Lindroos A-K, Lissner L, Mathiassen ME, Karlsson J, Sullivan M, Bengtsson C, Sjöström L  
***Dietary intake in relation to restrained eating, disinhibition and hunger in obese and non obese Swedish women.***  
Obes Res 1997;3:175-82.

Longnecker MP  
***The Framingham results on alcohol and breast cancer***  
Am J Epidemiol 1999 Jan 15 ; 149(2) : 102-4 : discussion 105

Malarcher AM, Giles WH, Croft JB, Wozniak MA, Wityk RJ, Stolley PD, Stern BJ, Sloan MA, Sherwin R, Price TR, Macko RF, Johnson CJ, Earley CJ, Buchholz DW, Kittner SJ  
***Alcohol Intake, Type of Beverage, and the Risk of Cerebral Infarction in Young Women.***  
Stroke 2001 Jan;32(1):77-83

Mann-J-I, Appleby-P-N, Key-T-J, Thorogood-M.  
***Dietary determinants of ischaemic heart disease in health conscious individuals.***  
Heart, 1997, v78, n5, nov, pp 450-455

Männistö S, Uusitalo K, Roos E, Fogelholm M, Pietinen P  
***Alcohol beverage drinking, diet and body mass index in a cross-sectional survey***  
Eur J Clin Nutr 1997;51:326-32.

Mänttari M; Tenkanen L; Alikoski T; Manninen V  
***Alcohol and coronary heart disease : the roles of HDL-cholesterol and smoking.***  
J Intern Med, 1997 Feb, 241:2, 157-63

Marques-Vidal P, Arveiler D, Evans A, Montaye M, Bingham A, Ruidavets JB, McMaster D, Haas B, Amouyel P, Ducimetiere P  
***Patterns of alcohol consumption in middle-aged men from France and Northern Ireland. The PRIME study***  
Eur J Clin Nutr 2000 Apr;54(4):321-8

Maskarinec G, Meng L, Kolonel LN  
***Alcohol intake, body weight and mortality in a multi ethnic prospective cohort***  
Epidemiology 1998 Nov ; 9 (6) : 654 - 61

Mayer Jr O, Simon J and Rosolova H  
***A population study of the influence of beer consumption on folate and homocysteine Concentrations***  
European Journal of Clinical Nutrition (2001) 55, 605 609

McCarty MF  
***The insulin-sensitizing activity of moderate alcohol consumption may promote leanness in women***  
Medical Hypotheses 2000: 54: 794-7.

McConnell MV, Vavouranakis I, Wu LL, Vaughan DE, Ridker PM  
***Effects of a single, daily alcoholic beverage on lipid and hemostatic markers of cardiovascular risk.***  
American Journal of Cardiology 1997, 80:1226-8.

MacDonald I, Debry G, Westerterp K Alcohol and overweight in Verschuren PM (ed.)  
***Health Issues Related to Alcohol consumption***  
ILSI Europe, Brussels 1993;263-79.

McElduff-P, Dobson-A-J.

***How much alcohol and how often ? Population based cas-control study of alcohol consumption and risk of a major coronary event.***

BMJ 314 (7088). 1997. 1159-1164

Meeking DR; Cavan DA

***Alcohol ingestion and glycaemic control in patients with insulin-dependent diabetes mellitus.***

Diabet Med, 1997 Apr, 14:4, 279-83

Mennella JA.

***Regulation of milk intake after exposure to alcohol in mothers' milk.***

Alcohol Clin Exp Res 2001 25 : 590-3.

Mennella JA.

***Alcohol's effect on lactation.***

Alcohol Res Health 2001 ; 25 : 230-4

Mennen, Potier de Courcy, Guiland, Ducros, Zarebska, Bertrais, Favier, Hercberg, Galan

***Relation between homocysteine concentrations and the consumption of different types of alcoholic beverages: the French supplementation with antioxidant vitamins and minerals study***

Am J Clin Nutr 2003; 78:334-338

Miyamae M; Diamond I; Weiner MW; Camacho SA; Figueredo VM

***Regular alcohol consumption mimics cardiac preconditioning by protectig against ischemia-reperfusion injury***

Proc Natl Acad Sci USA, 1997 Apr 1, 94:7, 3235-9

Nguyen TV, Eisman JA, Kelly PJ, Sambrook PN.

***Risk factors for osteoporotic fractures in elderly men.***

Am J Epidemiol 1996 ; 144 (3) :255-63

Oonishi T, Sakashita K

***Ethanol improves decreased filterability of human red blood cells through modulation of intracellular signaling pathways.***

Alcohol Clin Exp Res 2000 Mar;24(3):352-6

Paganga G, Miller N, Rice-Evans CA

***The polyphenolic content of fruit and vegetables and their antioxidant activities. What does a serving constitute ?***

Free Radic Res 1999 Feb ; 30(2) : 153-62

Parker D.R., Mc Phillips J.B., Derby C.A., Gans KM  
***High density Lipoprotein cholesterol and types of alcoholic beverages consumed among men and woman.***

American Journal of Public Health 1996, 86 (7) 1022 - 1027

Piendl A

***Consumption of alcoholic beverages and blood alcohol levels***

Convention of Alaface, Caracas, Venezuela, 1978

Poikolainen K.

***Alcohol and mortality : a review***

J Clin Epidemiol 1995, volume 48, n°4 : 455-465

Polivy J, Herman CP

***The effects of alcohol on eating behavior: disinhibition or sedation***

Addict Behav 1976;1:121-5.

Rapuri PB, Gallagher JC, Balhorn KE, Ryschon KL.

***Alcohol intake and bone metabolism in elderly women.***

Am J Clin Nutr 2000 ; 72 (5) :1206-13

Renaud S, Paulus M, Verschuren

***Health issues related to alcohol consumption-ILSI Europe.***

ILSI Press

Renaud S., Criqui M.H., Farchi G. et Veenstra J.

***Health Issues related to alcohol consumption – ILSI EUROPE : "Alcohol drinking and coronary heart disease"***

Renaud S., De Lorgeril M.

***Wine, alcohol, platelets, and the french paradox for coronary heart disease***

Lancet 1992 ; 339 : 1523-1526

Riccaldi D.

Bière et levure de bière

Thèse du Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie, Université Paris V, 1988

Richter CP

***A study of the effect of moderate doses of alcohol on the growth and behavior of the rat.***

J Exp Zool 1926;44:397-418.

Rimm E.B., Willett WC, Hu FB, Sampson L, Colditz GA, Manson JE, Hennekens C, Stampfer MJ

***Folate and vitamin B6 from diet and supplements in relation to risk of coronary heart disease among women.***

JAMA 1998 Feb 4;279(5):359-364

Rimm E.B., William P, Fosher K, Criqui M, Stampfer MJ  
***Moderate alcohol intake and lower risk of coronary heart disease : meta-analysis of effects on lipids and haemostatic factors***  
BMJ 1999 Dec 11 ; 319(7224) : 1523-8

Rimm E.B., Klatsky A., Grobbee D., Stampfer M. J.  
***Review of moderate alcohol consumption and reduced risk of coronary heart disease : is the effect due to beer, wine, or spirits.***  
British Medical Journal 1996 ; 312 : 731-736

Rimm E.B., Giovannucci E., Willet W.C., Colditz G.A., Ascherio A., Rosner B., Stampfer M.J.  
***Alcohol and mortality. Lancet 1991, 338 : 1073-1074***  
Lancet 1991, 338 : 1073:1074

Rose KM, Newman B, Mayer->Davis EJ, Selby JV  
***Genetic and behavioral determinants of waist-hip ratio and waist circumference in women twins***  
Obes Res 1998;6:38392.

Rosmond R, Bjorntorp P  
***Psychosocial and socio-economic factors in women and their relationship to obesity and regional body fat distribution***  
Int J Obes Relat Metab Disord 1999 Feb;23(2):138-45

Rumpler WV, Clevidence BA, Muesing RA, Rhodes DG  
***Changes in Women's Plasma Lipid and Lipoprotein Concentrations Due to Moderate Consumption of Alcohol Are Affected by Dietary Fat Level***  
J Nutr 1999 Sep ; 129(9) : 1713-17

Sacco RL, Elkind M, Boden Alcala B, Lin IF, Kargman DE, Hauser WA, Shea S  
***The protective effect of moderate alcohol consumption on ischemic stroke***  
AMA 1999, Jan 6, 231 (1) : 53-60.

San Jose B, Van de Mheen H, Van Oers JA, Mackenbach JP, Garretsen HF  
***The U-shaped curve : various health measures and alcohol drinking patterns***  
J Stud Alcohol 1999 Nov ; 60(6) : 725-31

Sawadogo L, Sepehri H, Houdebine LM.  
***Evidence for a stimulating factor of prolactin and growth hormone secretion present in brewery draff.***  
Reprod Nutr Dev 1989 ; 29 (2) :139-46.

Schutz Y.

***Role of substrate utilization and thermogenesis on body weight control with particular reference to alcohol.***

Proceedings of the Nutrition Society 2000;59:511-7.

Sepehri H, Renard C, Houdebine LM.

***Beta-glucan and pectin derivatives stimulate prolactin secretion from hypophysis in vitro.***

Proc Soc Exp Biol Med 1990 ; 194 (3) :193-7.

Serdyuk AP, Metelskaya VA, Ozerova IN, Kovaltchouk NV, Olfieriev AM, Bubnova MG, Perova NV, Jauhiainen M, Lasselin C, Castro G

***Effects of Alcohol on the Major Steps of Reverse Cholesterol Transport.***

Biochemistry (Mosc) 2000 Nov;65(11):1310-1315

Sesso HD, Stampfer MJ, Rosner B, Hennekens CH, Manson JE, Gaziano JM

***Seven-Year Changes in Alcohol Consumption and Subsequent Risk of Cardiovascular Disease in Men.***

Arch Intern Med 2000 Sep 25;160(17):2605-2612

Shelmet JJ, Reichard GA, Skutches CL, Hoeldtke RD, Owen OE, Boden G.

***Ethanol causes acute inhibition of carbohydrate, fat and protein oxidation and insulin resistance.***

J Clin Invest 1988 ; 81:1137-45.

Sillanaukee P, Koivula T, Jokela H, Pitkajarvi T, Seppa K

***Alcohol consumption and its relation to lipid-based cardiovascular risk factors among middle-aged women: the role of HDL(3) cholesterol.***

Atherosclerosis 2000 Oct 1;152(2):503-510

Siter SQ, Neese RA, Christiansen MP, Helleerstein MK

***The inhibition of gluconerogenesis following alcohol in humans***

Am J Physiol 1998 Nov ; 275 (5 PT1) : E 897 - 907

Siris ES, Miller PD, Barrett-Connor E, Faulkner KG, Wehren LE, Abbott TA, Berger ML, Santora AC, Sherwood LM.

***Identification and fracture outcomes of undiagnosed low bone mineral density in postmenopausal women: results from the National Osteoporosis Risk Assessment.***

Jama 2001 ; 286 (22) :2815-22

Slattery ML, McDonald A, Bild DE, Caan BJ, Hilner JE, Jacobs DR Jr, Liu K

***Associations of body fat and its distribution with dietary intake, physical activity, alcohol, and smoking in blacks and whites***

Am J Clin Nutr 1992 May;55(5):943-9

Smeets-Goevaers CG, Lesusink GL, Papapoulos SE, Maartens LW, Keyzer JJ, Weerdenburg JP, Beijers LM, Zwinderman AH, Knottnerus JA, Pols HA, Pop VJ.

***The prevalence of low bone mineral density in Dutch perimenopausal women: the Eindhoven perimenopausal osteoporosis study.***

Osteoporos Int 1998 ; 8 (5) : 404-9

Solomon CG, Hu FB, Stampfer MJ, Colditz GA, Speizer FE, Rimm EB, Willett WC, Manson JE.

***Moderate alcohol consumption and risk of coronary heart disease among women with type 2 diabetes mellitus.***

Circulation 2000 ; 102 : 494-9

Stamler j; Caggiula AW; Grandits GA

***Relation of body mass and alcohol, nutrient, fiber, and caffeine intakes to blood pressure in the special intervention and usual care groups in the Multiple Risk Factor Intervention Trial.***

Am J Clin Nutr, 1997 Jan, 65:1 Supple, 338S-365S

Stanko RT, Mendelow H, Shinozuka H, Adibi SA

***Prevention of alcohol induced fatty liver by natural metabolites and riboflavin.***

J Lab Clin Med 1978;91:228-35.

St Leger A. S., Cochrane A.L., Moore F.

***Factors associated with cardiac mortality in developed countries with particular reference to the consumption of wine.***

Lancet 1979 ; i : 1017-20

Tanasescu M, Hu FB, Willett WC, Stampfer MJ, Rimm EB.

***Alcohol consumption and risk of coronary heart disease among men with type 2 diabetes mellitus.***

J Am Coll Cardio 2001 ; 38 :1836-42

Thun MJ, Peto R, Lopez AD, Monaco JH, Henley SJ, Heath CWJ Jr, Doll R

***Alcohol Consumption and Mortality among Middle-Aged and Elderly U.S. Adults.***

New Engl J. Med 1993, 337, 24 ; 1705-1714

Tobe H, Muraki Y, Kitamura K, Komiyama O, Sato Y, Sugioka T, Maruyama HB, Matsuda E, Nagai M.

***Bone resorption inhibitors from hop extract.***

Biosci Biotechnol Biochem 1997 ; 61 (1) :158-9

Trémolières J.

***Métabolisation de l'éthanol chez l'homme normal ingérant bière, vin ou whisky***

Cahiers de nutrition et de diététique, Paris, 1975, 4 : 73-78

Trevisan M, Schisterman E, Mennotti A, Farchi G, Conti S.  
***Drinking pattern and mortality: the italian risk factor and life expectancy pooling project.***  
Ann Epidemiol 2001 Jul;11(5):312-9

Valmadrid CT, Klein R, Moss SE, Klein BE, Cruickshanks KJ  
***Alcohol intake and the risk of coronary heart disease mortality in persons with older-onset diabetes mellitus***  
Jama 1999 Jul. 21 ; 282(3) :239-46

Van Tol A, Van der Gaag MS, Scheek LM, Van Gent T  
***Changes in post prandial lipoproteins of low and high density caused by moderate alcohol consumption with dinner***  
Atherosclerosis 1998 Dec ; 141 Suppl 1 : S 101-3

Volpi E, Lucidi P, Cruciani G, Monacchia F, Santoni S, Reboldi G, Brunetti P, Bolli GB, De Feo P  
***Moderate and large doses of ethanol differentially affect hepatic protein metabolism in humans.***  
J Nutr 1998 Feb;128(2):198-203

Vorster HH; Cummings JH; Veldman FJ  
***Diet and haemostasis : time for nutrition science to get more involved***  
Br J Nutr, 1997 May, 77:5, 671-84

Wang Z, Barker TH, Fuller GM  
***Alcohol at moderate levels decreases fibrinogen expression in vivo and in vitro***  
Alcohol Clin Exp Res 1999 dec ; 23(12) : 1927-32

Wei M, Gibbons LW, Mitchell TL, Kampert JB, Blair SN.  
***Alcohol intake and incidence of type 2 diabetes in men.***  
Diabetes Care 2000 ; 23:18-22

Weill J, Got C  
***L'alcool à chiffres ouverts, consommations et conséquences : indicateurs en France***  
Paris, Seli Arslan, 1997, 350 p.

Westerterp-Plantenga MS, Verwegen CR.  
***The appetizing effect of an aperitif in overweight and normal-weight humans***  
Am J Clin Nutr 1999 Feb;69(2):205-12.

Williams PT; Krauss RM  
***Associations of age, adiposity, menopause, and alcohol intake with low-density lipoprotein subclasses.***  
Arterioscler Thromb Vasc Biol, 1997 Jun, 17:6, 1082-90.

Williamson DF, Forman MR, Binkin NJ, Gentry EM, Remington PL, Trowbridges FL.  
*Alcohol and body weight in United States adults*  
Am J Public Health 1987;77:1324-30.

Yamamoto K, Wang J, Yamamoto S, Tobe H.  
*Suppression of cyclooxygenase-2 gene transcription by humulon of beer hop extract studied with reference to glucocorticoid.*  
Lett 2000 ; 465 (2-3) :103-6

York JL, Hirsch JA  
*Association between blood pressure and lifetime drinking patterns in moderate drinkers*  
Journal of Studies on Alcohol 58 (5). 1997. 480-485.

**Nom – Prénoms : TAUVEL François-Xavier**

**Titre de la Thèse : LA BIÈRE : HISTOIRE, FABRICATION, PROPRIÉTÉS  
NUTRITIVES ET PHARMACOLOGIQUES  
LA PREMIERE BOISSON DIETETIQUE ?**

---

**Résumé de la Thèse :**

Depuis la plus haute Antiquité, les vertus de la bière furent reconnues, tant par Hippocrate que par Pasteur, et de nos jours encore par quantité de sommités médicales, de diététiciens, de nutritionnistes. Mais il arrive qu'elle soit décriée, en bute à certaines critiques. Ne la présente-t-on pas en première ligne comme responsable de la mortalité sur nos routes ? Et puis, la bière fait grossir... Que de clichés que nous nous efforcerons de faire disparaître. Que d'erreurs grossières que nous tenterons de corriger.

---

**MOTS CLES :**

- ALCOOL	- BIÈRE
- FERMENTATION	- HOUBLON
- LEVURE	- ORGE

---

**JURY :**

**Président : M. Yves-François POUCHUS, Professeur de Botanique et de Mycologie  
Faculté de Pharmacie de NANTES**

**Assesseurs : M. Olivier GROVEL, Maître de Conférences en Pharmacognosie  
Faculté de Pharmacie de NANTES**

**M. Xavier MASSIEUX, Docteur en Pharmacie  
45 avenue F. Mitterrand – 85340 OLONNE SUR MER**

---

**Adresse de l'auteur : 21 chemin du Grugel – 29470 PLOUGASTEL-DAOULAS**

**(A laquelle peuvent être adressées les demandes d'exemplaires ou de renseignements)**