La bière et l'industrie de la brasserie... / Paul Petit...

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Petit, Paul (1862-....). Auteur du texte. La bière et l'industrie de la brasserie... / Paul Petit.... 1896.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :
- La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.
- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.
- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter
utilisation.commerciale@bnf.fr.

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Petit

DÉPÔT LÉGAL
Seine & Oise
Nº
1915

S 5382-59

BIBLIOTHÈQUE NATIONALE
IMPRIMÉS

ENCYCLOPÉDIE DE CHIMIE INDUSTRIELLE ET DE MÉTALLURGIE

LA BIÈRE

ET L'INDUSTRIE

DE LA BRASSERIE

8° V
26089

332-95. — Corbeil. Imprimerie Ed. Crété.

PAUL PETIT

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES

DIRECTEUR DE L'ÉCOLE DE BRASSERIE DE NANCY

DÉPÔT LÉGAL
Seine-et-Oise
A° 03
1896

LA BIÈRE

ET L'INDUSTRIE

DE LA BRASSERIE

BIBLIOTHÈQUE NATIONALE
IMPRIMÉS

Avec 74 figures intercalées dans le texte

FERMENTS ET FERMENTATIONS
ORGE, MAIS, RIZ, SUCRES
MALTAGE, TOURAILLAGE, BRASSAGE, INFUSION
ET DÉCOCTION
HOUBLONNAGE, OXYGÉNATION DU MOUT
FERMENTATION, CONSERVATION, MALADIES DE LA BIÈRE
CONTROLE DE LA FABRICATION
CONSOMMATION, VALEUR ALIMENTAIRE
INSTALLATION D'UNE BRASSERIE
ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

PARIS
LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS
19, rue Hautefeuille, près du boulevard Saint-Germain

1896

Tous droits réservés.

C.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La fabrication de la bière atteint en France 9 millions d'hectolitres, c'est donc une industrie importante, dont les usines sont réparties à peu près dans toutes les régions de la France; les départements du Nord comptent cependant le plus grand nombre de brasseries, tandis que la région de l'Est possède les établissements dont la production est la plus considérable.

Les procédés de fabrication utilisent à la fois des transformations d'ordre chimique et d'ordre physiologique, et c'est cette dernière catégorie qui a d'abord ttiré l'attention des chercheurs.

Pasteur, le premier, dans ses *Études sur la bière*, a porté la lumière dans ces phénomènes autrefois si mystérieux, et il a été le véritable initiateur d'une science du Brassage. Celle-ci s'est ensuite surtout développée à l'étranger, notamment en Allemagne, en Angleterre et en Danemark, tandis qu'en France, la voie qu'avait tracée le génie de Pasteur restait presque abandonnée. En Danemark, Hansen étudiait surtout le rôle des infiniments petits, des ferments, tandis que

Aubry, Delbruck et ses élèves et bien d'autres en Allemagne, Brown, Morris, Moritz, Héron, etc., en Angleterre, s'attachaient principalement aux transformations d'ordre chimique. A l'étranger aussi, l'enseignement technique progressait, et faisait profiter les praticiens des découvertes de la science dans le domaine de la brasserie.

Après avoir été longtemps tributaire de l'Allemagne pour les recherches et pour l'enseignement, notre pays voit enfin depuis quelques années, l'attention des travailleurs se porter sur le domaine si riche de la science brassicole; en même temps que l'enseignement technique est donné aux écoles de Douai et de Nancy, des conférences, des journaux et quelques livres ont tâché de faire connaître aux praticiens, les conséquences industrielles d'une longue série de travaux, soit dans le domaine des transformations chimiques, soit dans l'ordre des manifestations microbiennes.

Les cours que je fais depuis quelques années à l'École de brasserie de Nancy, m'ont permis de collaborer à cette œuvre d'enseignement et de propagande, et mes relations avec les brasseurs m'ont fait penser qu'il ne serait peut-être pas inutile de leur offrir comme un résumé, au point de vue pratique, des résultats actuellement acquis en ce qui concerne la fabrication et les appareils. Je me suis efforcé d'éliminer de cet exposé toute terminologie scientifique, en suivant toutes les opérations de la fabrication.

Plan du volume. — Le chapitre I comprend les *notions générales*, c'est-à-dire des indications sur les principales substances que l'on rencontre dans l'orge, le malt et la bière, l'étude de la saccharification et une revue des ferments qui se trouvent soit normalement, soit d'une façon exceptionnelle, et comme causes d'accidents dans la bière : cette revue comprend donc les propriétés principales et la description des levures, d'un certain nombre de bactéries et de moisissures.

Dans le chapitre II, on a étudié les diverses *matières premières*, orge, maïs, riz, glucose et sucre, en donnant la part la plus importante à l'orge, la matière première par excellence.

Le chapitre III a pour but le *maltage*, c'est-à-dire la germination et le touraillage ; on s'est efforcé de mettre en évidence les circonstances qui modifient la composition et la qualité du malt et les procédés de fabrication des malts pour les principaux genres de bière. Les systèmes pneumatiques sont décrits avec quelque détail.

Les chapitres IV et V sont consacrés à l'étude de l'*eau*, du *houblon*, de la *poix* et des diverses substances qui peuvent être employées, telles que les antiseptiques par exemple ; on s'est attaché à indiquer d'après les travaux les plus dignes de foi, l'influence des principes contenus dans l'eau sur le caractère de la bière.

Le *brassage* avec les principales méthodes employées pour la fermentation haute ou basse et l'influence du

travail sur la composition du moût, fait l'objet du chapitre VI.

Ensuite la *cuisson* et le *houblonnage*, le *refroidissement* et l'*oxygénation des moûts*. Dans ce dernier chapitre, on a examiné comparativement les *oxygénateurs* et *appareils analogues* et les *bacs* employés encore presque universellement.

Le chapitre relatif à la *fermentation* est un des plus développés. On a indiqué d'abord les propriétés de la levure, sa nutrition et sa reproduction ; ensuite la fermentation industrielle, soit haute, soit basse, chacun des genres de fabrication étant bien entendu donné séparément, avec les procédés de conservation, de clarification, etc.

Les *Maladies de la bière* ont été étudiées d'une façon détaillée, en indiquant pour chaque cas, la manière de le reconnaître, éventuellement le remède, enfin en tous cas, les précautions à prendre pour prévenir chaque accident.

Le *Contrôle de la fabrication* fait la suite naturelle du chapitre précédent.

Enfin les deux derniers chapitres ont trait, l'un à la *Consommation et valeur alimentaire* de la bière, l'autre à l'*Installation générale d'une brasserie* et à l'*Enseignement technique*.

PETIT.

Nancy, 1er août 1895.

LA BRASSERIE

CHAPITRE I

NOTIONS GÉNÉRALES

La bière a été fabriquée d'abord exclusivement avec du malt ou orge germée, mais, soit pour des raisons d'économie, soit pour donner à la bière un caractère spécial, on a été conduit à remplacer quelquefois une partie du malt d'orge soit par des grains crus, tels que maïs, riz, blé, soit par des sucres et le plus souvent par du glucose.

Nous considérerons d'abord le cas du malt d'orge seul, et nous indiquerons très sommairement ici les principales opérations du maltage et du brassage de manière à pouvoir employer ensuite les termes techniques que nous expliquons.

L'orge laissée pendant trois ou quatre jours dans l'eau renouvelée absorbe une certaine quantité d'eau, et si ensuite on l'abandonne à elle-même sur un sol imperméable, elle ne tarde pas à germer; lorsque la germination est assez avancée, après huit à neuf jours environ, le grain possède de petites radicelles ayant une à deux fois la longueur du grain, et un bourgeon (plumule) arrivant à peu près aux trois quarts du grain.

Dans cet état, l'orge germée prend le nom de *malt vert*; celui-ci est séché dans une sorte d'étuve que l'on nomme *touraille;* des appareils appelés *dégermeuses* enlèvent les radicelles séchées (*touraillons*), puis le malt s'emmagasine dans de grandes caisses bien sèches que l'on nomme des *silos*.

Le brassage a pour but de rendre solubles et de dissoudre dans l'eau une grande partie des principes contenus dans le malt; ce traitement constitue la *saccharification* ou brassage proprement dit.

Le malt passe dans un moulin (*concasseur*) puis la farine est délayée avec de l'eau qu'on chauffe progressivement jusque vers 75°; cette opération qui s'effectue de diverses manières a lieu dans la *cuve matière* et celle-ci est munie d'un agitateur pour rendre bien intime le mélange de malt et d'eau (*vagueur*).

Une fois la saccharification terminée, le contenu de la cuve matière se sépare par le repos en deux parties; d'abord un liquide coloré, le *moût*, ensuite une matière solide, formée par les parties insolubles du malt et qu'on nomme la *drèche*.

Le moût est filtré à travers la drèche, et amené dans une chaudière; les drèches sont lavées à plusieurs reprises à l'eau chaude (*trempes de lavage*) et on envoie aussi les trempes filtrées sur la drèche, dans la chaudière. Le moment où le moût et les trempes de lavage sont rassemblés dans la chaudière, est le moment de la *réunion des métiers*.

Le contenu de la chaudière est porté à l'ébullition, additionné de houblon et la cuisson maintenue pendant un temps plus ou moins long. Ensuite le moût est séparé du houblon, et déversé dans des réservoirs larges

et peu profonds (bacs) où il dépose et commence à se refroidir (*oxydation du moût*), on le fait alors couler en nappe mince sur une série de tubes de métal dans l'intérieur desquels circule de l'eau froide ou glacée (*réfrigérant*) et on l'amène ainsi à une température de 5° s'il s'agit de fermentation basse, et de 12 à 13° s'il s'agit de fermentation haute.

Le moût se réunit dans une ou deux grandes cuves (*cuve guilloire*) dans lesquelles se fait généralement la reconnaissance du volume par les agents de la régie ; ensuite on lui ajoute de la *levure* et on le répartit soit dans les cuves, soit dans les tonneaux.

La levure provoque une *fermentation* qui donne naissance, entre autres produits, à de l'alcool et de l'acide carbonique, ce dernier se dégageant en partie sous forme de bulles à la surface du liquide ; c'est la *fermentation principale;* la bière est alors soutirée dans des tonneaux où on la conserve de quelques jours à quelques mois à température constante, suivant le genre de bière. Dans ces tonneaux, se produit une nouvelle fermentation moins active (fermentation *secondaire* ou *complémentaire*). Il ne reste plus qu'à clarifier ou à filtrer la bière, et à la mettre dans de petits fûts ou en bouteilles.

Pour compléter ce rapide résumé de la fabrication, nous devons également indiquer brièvement quelles sont les principales substances que l'on rencontre dans le malt, le moût et la bière, et quels sont les agents de la fermentation.

SUBSTANCES EXISTANT DANS LE MOUT

On peut distinguer, parmi les substances qui existent dans le malt, le moût ou la bière, trois grandes catégories, savoir :

1° Matières organiques non azotées ;
2° Matières organiques azotées ;
3° Matières minérales.

I. — Matières organiques non azotées.

Ce groupe comprend des substances de nature très différentes ; le glucose, le lévulose, le saccharose, le maltose, l'isomaltose, la dextrine, l'amidon et la cellulose.

Glucose. — C'est le produit de l'action des acides sur l'amidon ; matière sucrée, cristallisée, fermentant directement et complètement, réduisant la liqueur de Fehling.

Lévulose. — Corps de même composition que le glucose, se trouve avec lui dans le miel, et reste sous forme de sirop, quand le glucose a cristallisé. Le lévulose, ou sucre de fruits, a une saveur qui rappelle un peu celle des fruits mûrs, il réduit la liqueur de Fehling, mais ne fermente que lentement et par certaines levures seulement.

Saccharose. — C'est le sucre de cannes ou de betteraves. Corps cristallisé, dédoublé par les acides dilués en glucose et lévulose ; la même transformation est effectuée par la levure, à l'aide d'un ferment particulier l'invertase, qu'elle sécrète.

Maltose. — Corps de même composition que le saccharose, cristallisé ; il réduit la liqueur de Fehling,

fermente directement et complètement; les acides étendus et chauds le changent en glucose, 19 grammes de maltose fournissant dans ces conditions 20 grammes de glucose; le maltose n'est pas coloré par les solutions d'iode, non plus que les corps qui précèdent.

Isomaltose. — Découvert récemment par Lintner. Corps incolore à saveur sucrée, se colore déjà à 55°, en prenant un goût de caramel particulier, réduit la liqueur de Fehling, transformé par les acides étendus et chauds en glucose. L'isomaltose n'est fermenté que par certaines levures, et encore d'une façon lente et incomplète.

Dextrine. — Corps blanc, amorphe, saveur un peu farineuse, ne réduisant pas la liqueur de Fehling; elle est transformée par les acides étendus et chauds en glucose, et, dans ces conditions, 9 grammes de dextrine donnent 10 grammes de glucose; la dextrine ne fermente pas. Soluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool, non colorée par l'iode.

Amidon. — Existe dans tous les grains employés en brasserie, orge, maïs, riz, blé, il a la même composition et la plupart des propriétés de la fécule de pommes de terre. Il constitue ce qu'on appelle l'*amande* des grains, et se présente sous forme de grains de petite dimension, enveloppés extérieurement par une couche de matière plus dense et plus résistante, analogue à la cellulose. La forme des grains d'amidon est différente avec les diverses céréales; les plus gros sont ceux de fécule de pommes de terre, les plus petits ceux de l'amidon de riz. Les formes du grain d'amidon sont caractéristiques pour chaque espèce et peuvent servir à la reconnaître des autres, même en mélange. Les plus

employés en brasserie sont ceux d'orge, de riz et de maïs (fig. 1).

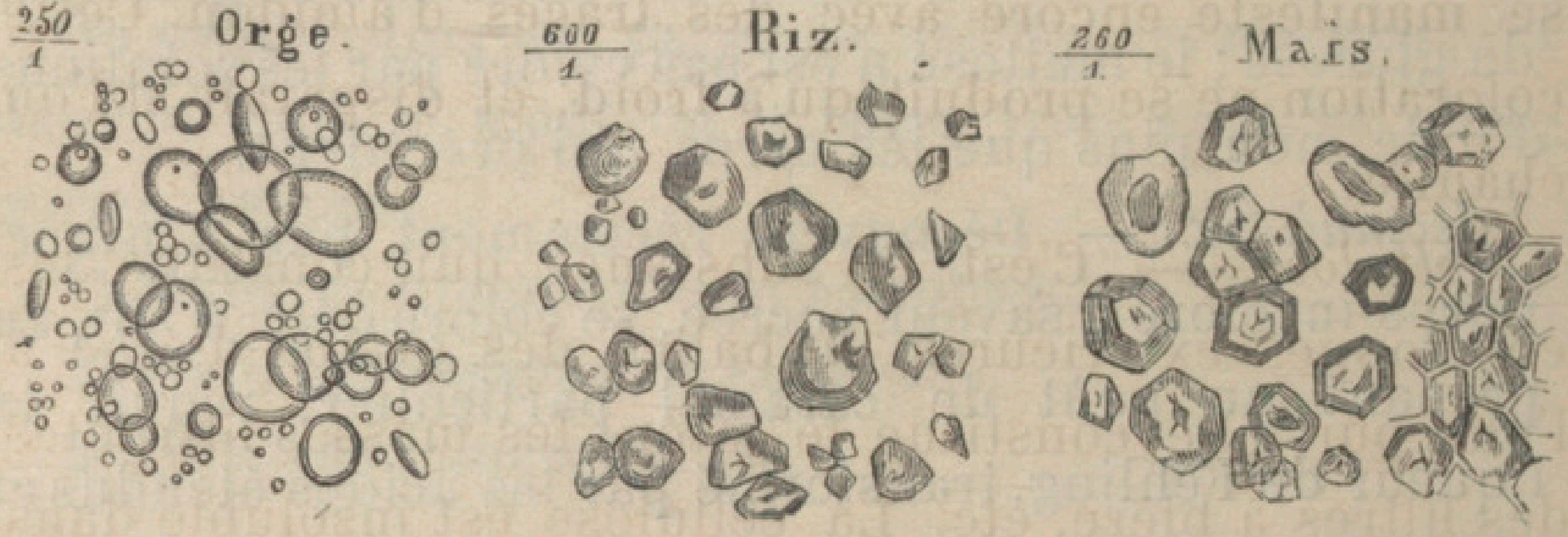


Fig. 1.

L'amidon est insoluble dans l'eau froide, délayé avec elle, il se dépose rapidement sans éprouver de modifications.

Dans l'eau chaude, on voit l'amidon se gonfler, puis si la température est suffisamment élevée se fondre dans l'eau, le tout se transformant alors en un liquide visqueux, un peu louche, qui, par refroidissement, forme une masse opaline (colle d'amidon). On dit que l'amidon s'est changé en *empois*.

La température à laquelle se produit la transformation en empois n'est pas la même pour les diverses espèces d'amidon. Ainsi tandis que l'amidon de malt subit cette modification d'une façon complète déjà à 50°, l'amidon d'orge ou de blé n'est transformé intégralement qu'au-dessus de 70°, celui de maïs et de riz vers 95°. Ces différences ont une grande importance pour le travail des grains crus.

L'amidon est insoluble dans l'alcool, soluble dans la soude ou la potasse; les acides étendus et chauds le changent en glucose, 9 grammes d'amidon donnant dans ces conditions 10 grammes de glucose.

L'amidon mis au contact d'une solution aqueuse très étendue d'iode donne une coloration bleue intense, qui se manifeste encore avec des traces d'amidon. Cette coloration ne se produit qu'à froid, et disparaît si l'on chauffe.

Cellulose. — C'est la substance qui constitue les enveloppes extérieures ou balles des grains d'orge à l'état pur, elle constitue le coton, les masses filtrantes des filtres à bière, etc. La cellulose est insoluble dans l'eau, elle se colore en brun par l'iode. Les acides étendus et chauds, la transforment partiellement en glucose.

II. — Matières organiques azotées.

Diastase. — Si l'on fait infuser dans l'eau froide, pendant six heures environ, du malt vert ou sec, et que l'on fasse tomber dans l'alcool le liquide filtré, il se précipite, sous forme de flocons, une matière blanche que l'on recueille ; on la dessèche à basse température, on la redissout dans l'eau et la reprécipite par l'alcool. Après avoir renouvelé plusieurs fois ces traitements, on sèche une dernière fois et l'on a ainsi une poudre blanche qui est la *diastase* du malt.

La diastase est soluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool.

Si l'on dissout dans un peu d'eau une parcelle de diastase, qu'on ajoute cette solution à de l'empois d'amidon, même à la température ordinaire, on voit cet empois se liquéfier rapidement et l'on constate dans le liquide une saveur sucrée très nette : la diastase a donc changé au moins une partie de l'amidon en une matière

sucrée ; la transformation se fait de plus en plus vite, à mesure que la température s'élève, jusqu'à ce que celle-ci ait atteint 66°.

La diastase n'agit pas sur l'amidon non changé en empois, ni sur la dextrine, ni sur le maltose et les autres sucres.

Lintner lui attribue le pouvoir de changer l'isomaltose en maltose, mais ce point ne paraît pas absolument démontré.

En présence de la levure, la diastase peut attaquer même l'amidon cru à la température ordinaire ; une partie de l'amidon est alors changée en alcool et en acide carbonique.

L'infusion de malt, faite à froid, possède les mêmes propriétés que la diastase et se comporte comme des dissolutions de cette substance.

Les solutions de diastase perdent complètement leur action saccharifiante sur l'empois d'amidon, lorsqu'elles ont été chauffées à 75° ou au-dessus. Le temps nécessaire pour arriver à cette destruction dépend de la quantité de diastase contenue dans la solution, les plus concentrées résistant le plus longtemps. L'énergie saccharifiante diminue d'ailleurs dès que la diastase est chauffée au-dessus de 55°.

La diastase sèche, ou le malt sec peuvent être chauffés jusqu'à 120° sans que leur infusion perde complètement l'action saccharifiante, mais celle-ci est toujours amoindrie.

Les acides à doses très faibles favorisent l'action de la diastase ; mais au delà d'une certaine dose, variable d'un acide à l'autre, ils gênent au contraire la saccharification ; entre autres l'acide lactique à la dose de

1 gramme par litre exerce déjà une action nuisible.

L'acide salicylique arrête, même à dose faible, la saccharification ; il en est de même des sels de fer et du tannin. Le sel ordinaire ou chlorure de sodium produit un affaiblissement de la diastase.

Les solutions de diastase s'altèrent très rapidement, et perdent en quelques heures leur énergie saccharifiante.

Glucase. — Substance analogue à la diastase et qui se trouve dans le maïs germé et aussi en petite quantité dans le malt. Cette matière peut transformer l'amidon en glucose.

Cytase. — Composé analogue à la diastase qui se développe pendant la germination de l'orge; il est capable de dissoudre la cellulose et notamment la matière qui enveloppe dans l'amande, les grains d'amidon ; la cytase peut être extraite d'une infusion de malt dans l'eau froide; son action la plus énergique a lieu à 40-48°, elle s'affaiblit considérablement à 50° et cesse complètement à 60°.

Matières albuminoïdes. — Elles se divisent en deux catégories : les unes, analogues au blanc d'œuf, se coagulent par la chaleur, et une fois coagulées ne peuvent plus se redissoudre dans l'eau ; les autres restent dissoutes même à l'ébullition.

Ces deux catégories peuvent être d'ailleurs précipitées par le tannin.

Les albuminoïdes, même coagulées par la chaleur, se dissolvent dans l'eau additionnée soit d'un peu de carbonate de soude, soit d'une petite quantité d'un acide.

Les matières albuminoïdes coagulées peuvent être partiellement changées en matières non coagulables,

sous l'action d'un ferment qu'on appelle la peptase, et qui paraît exercer son action la plus énergique à la température de 45°.

Peptones. — Ce sont des matières azotées solubles dans l'eau, et non altérées par la chaleur, elles se forment par l'action de la vapeur d'eau sous pression sur les matières albuminoïdes, les peptones existent en très petite quantité dans le moût et la bière, au plus 0,1 p. 100.

Amides. — Matières solubles non coagulables par la chaleur ; chauffées avec les acides, elles se décomposent en donnant des sels d'ammoniaque, et avec les bases, il y a un dégagement d'ammoniaque. Les amides forment une forte proportion des matières azotées du moût.

Sels d'ammoniaque. — N'existent qu'en très petite quantité dans le moût et la bière et surtout à l'état de sels d'acides organiques.

III. — Matières minérales.

Les matières minérales qui existent dans la bière peuvent provenir ou du malt ou de l'eau employée au brassage : on y trouve donc du sulfate de chaux, du carbonate de chaux, du chlorure de sodium, mais la substance la plus intéressante est le phosphate de potasse, qui forme près de la moitié des matières minérales contenues dans l'orge. Le moût contient sur 100 centimètres cubes de $0^{gr},074$ à $0^{gr},197$ acide phosphorique. Le phosphate de potasse peut être précipité à l'état de phosphate de chaux par le sulfate de chaux qui existe en plus ou moins grande quantité dans les eaux employées au brassage.

QUELQUES DÉFINITIONS. — On appelle *extrait* d'un moût ou d'une bière, la quantité de matières solides dissoutes dans 100 grammes du liquide. On le détermine ordinairement à l'aide du saccharomètre, l'un des plus employés est celui de Balling ; lorsque cet instrument plongé dans du moût, affleure en face du degré 14 par exemple, cela signifie que 100 grammes de ce moût contiennent à peu près 14 grammes de matières solides dissoutes. Le résultat ne serait tout à fait exact que si l'on cherchait l'extrait d'une solution de saccharose ou sucre de cannes.

On appelle *extrait apparent* d'une bière, l'extrait pris sur la bière débarrassée de la majeure partie de son acide carbonique par agitation, et *extrait réel*, l'extrait de la bière privée d'alcool et d'acide carbonique, en la chauffant sans la faire bouillir.

L'*extrait d'un malt* est la quantité de matière que 100 grammes de malt peuvent dissoudre dans l'eau par la saccharification.

Le *non maltose* est la différence entre la quantité de maltose fourni par 100 grammes de malt, et l'extrait de malt.

On appelle *atténuation* d'une bière, la proportion de l'extrait du moût qui a fermenté. Ainsi si un moût mis en fermentation avec 14 p. 100 d'extrait, ou, ce qui revient pratiquement au même, avec 14° Balling, fournit une bière ayant 4,2 Ball., l'atténuation sera de 70 p. 100

Rendement pratique. — On donne ce nom à la quantité de matières dissoutes que cent parties de malt cèdent au moût. Si l'on désigne par P le nombre de quintaux de malt, par V le nombre d'hectolitres de moût obtenu, ayant une densité *d* et un extrait de

b Balling, le rendement pratique x est donné par la formule,

$$x = \frac{V \times b \times d}{P}$$

Soit par exemple 1000 kilogrammes de malt qui donnent 40 hectolitres de moût à 15° Balling; la densité *d* répondant à 15° Balling est 1,0614. On a donc :

$$x = \frac{40 \times 15 \times 1{,}0614}{10}$$

d'où $x = 63{,}68$.

ACTION DE LA DIASTASE SUR L'AMIDON

Saccharification.

Si l'on fait réagir une solution de diastase, ou ce qui revient au même une infusion de malt dans l'eau froide, sur de l'empois d'amidon, on reconnaît que l'amidon se liquéfie peu à peu, et qu'il se forme une matière sucrée, d'abord à la saveur du liquide, ensuite à son action sur la liqueur de Fehling. On peut suivre les progrès de l'action à l'aide d'une solution très étendue d'iode dans l'iodure de potassium.

Au début, si l'on met une goutte de l'empois en contact avec la solution d'iode, on observe une coloration bleue intense, en répétant la même expérience à intervalles réguliers, on voit apparaître successivement au contact d'une goutte du liquide avec une goutte de la solution d'iode, une coloration bleue, violette, rouge violacé, rouge, rose, orangé, puis aucune coloration ne se produit plus.

Nous dirons que la saccharification est complète,

lorsqu'une goutte du liquide en expérience ne donnera plus avec l'iode aucune coloration. C'est seulement dans ce cas que l'on peut étudier les produits de l'action de la diastase sur l'amidon, ce sont alors ce que l'on peut nommer les produits normaux de la saccharification.

Produits normaux de la saccharification.

Un grand nombre de théories ont été proposées sur cette question, les seules qui restent debout actuellement sont celles de Brown et Morris, celle de Lintner, enfin celle de Scheibler. Bien qu'aucune de ces interprétations ne soit encore actuellement établie d'une façon absolue, celle de Brown et Morris, complétée par la découverte de l'isomaltose, fournit une interprétation satisfaisante de tous les phénomènes, et c'est elle que nous adopterons.

Nous aurons comme produits normaux de la saccharification :

Le maltose, la dextrine, les maltodextrines, l'isomaltose et les sucres analogues.

Nous avons indiqué plus haut les principales propriétés du maltose, de la dextrine et de l'isomaltose. Il nous reste à parler des maltodextrines et des sucres analogues à l'isomaltose.

Maltodextrines. — Elles peuvent être envisagées comme des combinaisons de maltose et de dextrine, et possèdent des propriétés qui ne sont ni celles du maltose ni celles de la dextrine.

Les maltodextrines réduisent la liqueur de Fehling comme le maltose qu'elles renferment, elles ne sont pas colorées par l'iode.

La dextrine des maltodextrines est transformée intégralement en maltose par la diastase agissant au-dessous de 55°.

Les levures ou plutôt l'invertase qu'elles sécrètent dédoublent les maltodextrines en maltose qui fermente et dextrine qui reste inaltérée. Ce dédoublement se fait d'autant plus aisément et plus vite que les maltodextrines contiennent plus de maltose et que la levure est plus énergique.

On appelle *type* d'une maltodextrine le rapport entre le maltose qu'elle contient et celui que donnerait par la diastase la dextrine combinée. Le type est d'autant plus bas que la proportion du maltose est plus grande, d'autant plus élevé, que le taux de dextrine est plus considérable.

Les maltodextrines sont entièrement transformées en glucose par les acides étendus et chauds.

Isomaltose et sucres analogues. — Il résulte de ce que nous venons de dire pour les propriétés des maltodextrines que si l'on traite d'abord par la diastase à 55°, ensuite par la levure, un moût déjà complètement saccharifié, le maltose et les maltodextrines fermenteront intégralement, et il ne devrait rester que la dextrine libre. On constate cependant qu'après ce traitement, le liquide réduit encore la liqueur de Fehling, indice qu'il s'y trouve encore des sucres qui ont été incomplètement fermentés ou qui ont entièrement échappé à l'action de la levure. Lintner a trouvé dans ce résidu l'isomaltose qui, comme nous l'avons dit, ne fermente que difficilement et encore par les levures énergiques. On a constaté également la présence d'autres sucres, tels que le raffinose qui existe

également dans les mélasses et dans l'orge, mais comme l'on ne connaît pas entièrement la nature de ces produits, et que leur importance est d'ailleurs très faible, et leur proportion très petite, nous sommes contraints de les comprendre sous une appellation générale de sucres difficilement ou non fermentescibles. Le sucre le plus intéressant de cette catégorie est d'ailleurs l'isomaltose qui en forme la proportion principale et qui est partiellement fermentescible.

Rôle des maltodextrines et de l'isomaltose dans la fermentation complémentaire. — On a admis pendant longtemps que les seuls produits de la saccharification étaient le maltose et la dextrine, mais cette hypothèse rendait impossible l'explication de la fermentation complémentaire et des phénomènes qui s'y rattachent.

En effet, étant démontré que la dextrine est incapable de fermenter, et qu'au contraire le maltose fermente intégralement, ce dernier aurait dû être complètement détruit à la fin de la fermentation principale; or l'on constatait que la bière, sortant de la cuve à fermentation, réduisait encore fortement la liqueur de Fehling; si l'on y ajoutait un poids connu de maltose pur, celui-ci fermentait intégralement, et la bière continuait à accuser la même réduction que précédemment. En outre l'expérience pratique rendait certaine l'existence d'une fermentation peu active mais continue pendant la conservation dans les caves de garde. Enfin, l'analyse montra que pendant cette conservation, la quantité de sucre déterminée par la liqueur de Fehling diminuait, tandis que la proportion de dextrine augmentait sensiblement.

Ces divers phénomènes trouvent une interprétation toute naturelle si l'on admet l'existence des maltodextrines, qui sont dédoublées lentement par la levure en maltose qui fermente, et dextrine qui reste dans la bière. Comme nous l'avons dit plus haut, la découverte de l'isomaltose explique l'existence de matières réduisant le Fehling, dans les bières ayant subi une fermentation aussi complète qu'on le voudra.

Influence de la température sur les produits de la saccharification. — Les quatre groupes de substances que nous avons indiqués, maltose, dextrine, maltodextrine, isomaltose et sucres difficilement ou non fermentescibles prennent toujours naissance dans une saccharification complète, mais en proportions très variables, suivant la température à laquelle s'est produite l'action de la diastase.

La dextrine libre seule ne varie guère et forme sensiblement 1/5 de l'amidon total soumis à la saccharification.

Pour les autres produits, plusieurs phases sont à considérer :

A. Au-dessous de 55°, il se forme exclusivement du maltose libre et de la dextrine libre, avec de petites quantités d'isomaltose et d'autres sucres difficilement ou non fermentescibles, mais pas de maltodextrines.

B. De 55° à 62°, la proportion de maltodextrine croît très faiblement et répond à des types très bas, c'est-à-dire très riches en maltose.

C. Au-dessus de 62°, les maltodextrines augmentent rapidement, en même temps que le type s'élève, c'est-à-dire qu'elles contiennent de plus en plus de dextrine. Ainsi en comptant d'une part le maltose total libre ou

combiné, et d'autre part la dextrine et celle des maltodextrines ensemble, P. Petit a trouvé, sur 100 d'amidon saccharifié :

Température de saccharification.	Maltose. p. 100	Dextrine. p. 100	Rapport.
60°-61°.....	72	30	1/0,40
65° 66°.....	71,4	31,8	1/0,44
68°-69°.....	44,7	57	1/1,27
72°-73°.....	24,7	76,3	1/3

Produits anormaux de la saccharification.

Lorsque la saccharification n'est pas poussée jusqu'à disparition de toute coloration à l'iode, il existe encore dans le moût, outre les produits normaux, soit de l'amidon à l'état d'empois, soit des composés voisins de l'amidon auxquels on donne le nom d'*amylodextrines* ou d'*érythrodextrines ;* les premiers donnent avec l'iode une coloration violette, les seconds une coloration rouge ; tous ces composés, qui n'ont d'ailleurs pas d'existence certaine, mais qui paraissent de simples mélanges de dextrine avec l'amidon inaltéré, peuvent être changés en maltose et dextrine par la diastase, ajoutée au moût incomplètement saccharifié.

FERMENTS ET FERMENTATIONS

Si l'on abandonne à lui-même à l'air du moût, on constate qu'au bout de peu de temps, il subit des modifications ; parfois on voit apparaître à la surface des bulles de gaz, qu'on reconnaît être de l'acide carbonique, le liquide se trouble, puis, au bout de quelque temps, il se clarifie de nouveau, en même temps qu'un dépôt

abondant se produit. On reconnaît, au microscope, que ce dépôt est formé de grosses cellules rondes ou ovales, qui constituent de la *levure*. D'autre part, la saveur sucrée du liquide a disparu, on y sent la présence d'alcool, et l'analyse montre que la majeure partie du sucre a été transformée en alcool.

Si l'on ajoute à du moût intact, un peu du dépôt de levure, on voit se manifester de nouveau les mêmes phénomènes mais avec plus d'énergie et plus rapidement. La levure est donc l'agent actif de cette transformation qu'on appelle la fermentation alcoolique.

D'autres fois le moût abandonné à lui-même se remplit de matières blanches ou jaunâtres, une odeur putride se déclare et l'on constate que le moût est devenu fortement acide. Au microscope, on reconnaît que les matières blanches sont formées par des myriades de petits bâtonnets ou de petits globules qui sont des bactéries. En ensemençant dans du moût frais une trace de ces matières blanches, on voit réapparaître les mêmes phénomènes, preuve que la cause unique en est la présence des bactéries.

Dans d'autres cas, enfin, les moisissures sont la cause d'altérations plus ou moins profondes, aucun de ces organismes, levures, bactéries, moisissures, ne s'est développé spontanément; Pasteur a démontré, d'une façon absolument certaine, que toutes les altérations observées avaient pour origine un ferment et que celui-ci ne naissait pas des principes constituants du moût.

Pour provoquer une fermentation alcolique, il faut une cellule de levure, de même pour les autres altérations, il faut une bactérie ou une moisissure.

Origine de ces ferments. — Si l'on chauffe du moût à l'ébullition dans un ballon dit de Pasteur (fig. 2) et qu'on le laisse ensuite refroidir dans le même vase, on constate que ce moût peut rester des mois entiers et même des années sans subir la plus légère altération.

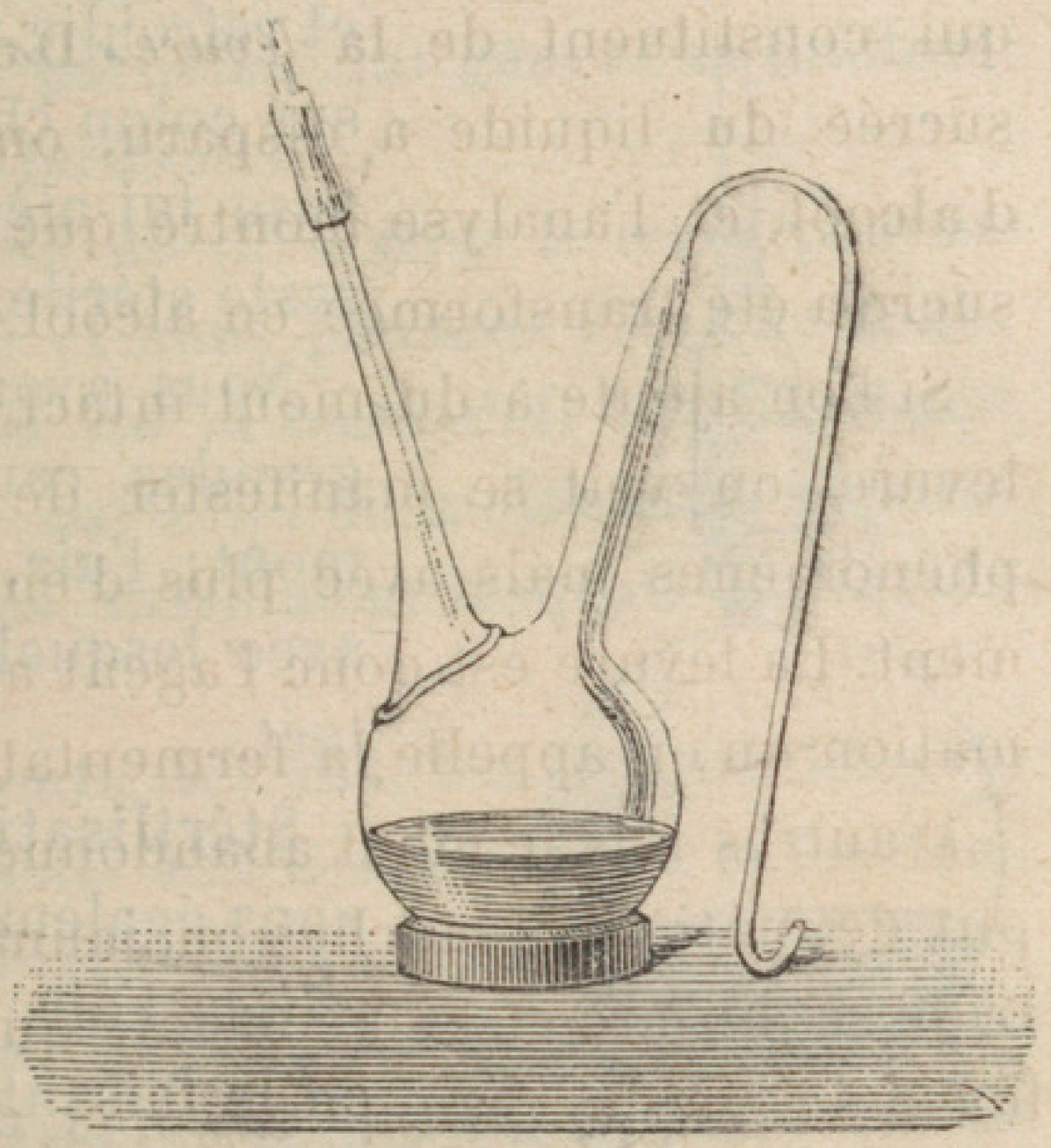


Fig. 2. — Ballon dit de Pasteur.

Si l'on vide ce moût si bien conservé dans un vase quelconque, l'altération ne tarde pas à se manifester, il en est de même, si l'on détache la partie supérieure du ballon de manière à mettre le moût au contact de l'air.

Les parois des vases et l'air apparaissent donc comme garnis d'un certain nombre de germes, levures, bactéries ou moisissures, qui attendent pour se développer un milieu convenable.

Cette opinion est confirmée par ce fait que si l'on soumet le vase à une température de 180°, ou si l'on ne met en contact avec le moût que de l'air chauffé ou filtré sur du coton chauffé, le moût mis au contact de ce vase ou de cet air ne subit aucune altération et reste comme on dit, *stérile*, par exemple dans un flacon Chamberland (fig. 3).

Une cause d'infection intervient encore. Si à du moût stérile conservé sans altération, on ajoute quelques

gouttes d'eau, on constate une altération rapide. Si au contraire on ajoute de l'eau préalablement bouillie et refroidie, au contact d'air filtré sur coton chauffé, et cela dans un vase lui-même chauffé, le moût reste stérile.

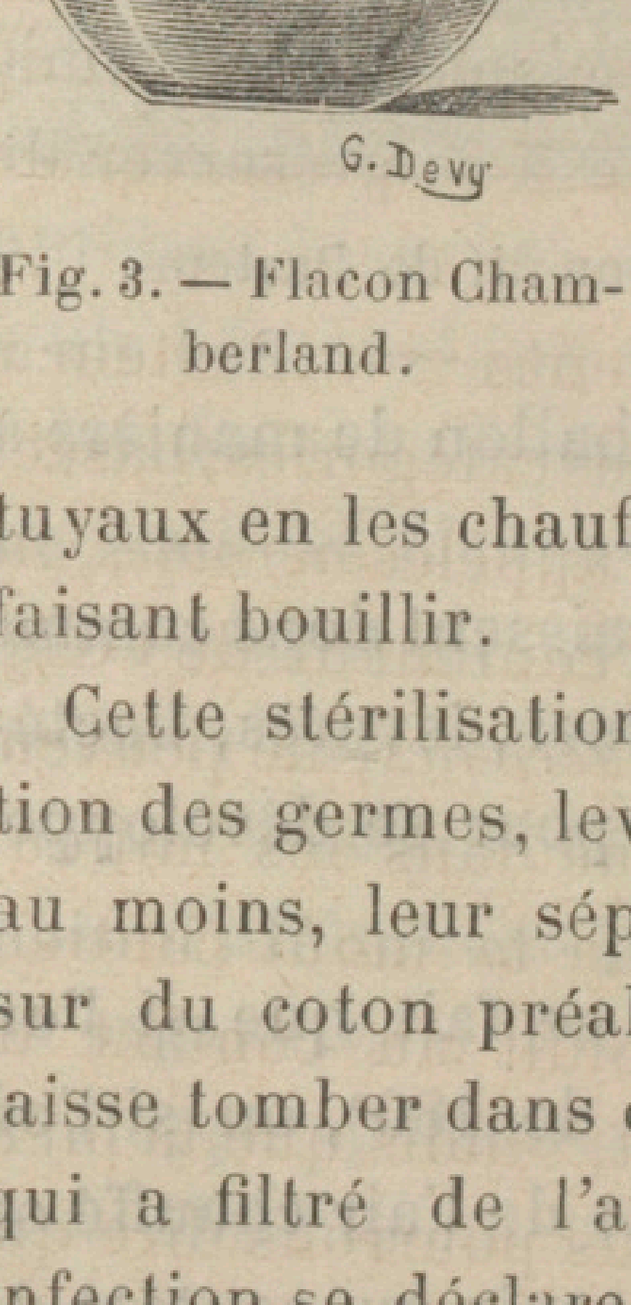


Fig. 3. — Flacon Chamberland.

Nous avons donc ici les trois grandes causes d'altération du moût; l'air, l'eau et les objets avec lesquels il se trouve en contact.

Stérilisation. — Nous apprenons également que l'on peut *stériliser* l'air, en le chauffant ou en le faisant passer sur du coton lui-même chauffé, l'eau en la faisant bouillir et refroidir au contact d'air stérilisé, les vases ou tuyaux en les chauffant, enfin le moût lui-même en le faisant bouillir.

Cette stérilisation n'est autre chose que la destruction des germes, levure, bactéries, moisissures, ou tout au moins, leur séparation, lorsqu'on fait passer l'air sur du coton préalablement chauffé. En effet si l'on laisse tomber dans du moût stérile un tampon de coton qui a filtré de l'air pendant un certain temps, une infection se déclare.

On peut encore amener la stérilisation des vases et des liquides par les substances appelées *antiseptiques*, telles que le bisulfite de chaux, le chlorure de chaux, le chlorure de zinc, l'acide salicylique; mais ces matières n'amènent une stérilisation complète qu'à

doses considérables, telles qu'on ne peut les employer sans danger pour l'hygiène, dans les liquides destinés à la consommation. On doit les considérer comme des agents de stérilisation partielle, qui gênent et limitent le développement des ferments.

Ce que nous venons de dire pour le moût peut se répéter pour la bière et nous pouvons dire que toute altération du moût ou de la bière doit être attribuée à un ferment, levure, bactérie, ou moisissure, apporté par l'eau, l'air, ou les vases avec lesquels le liquide a été en contact.

De ces divers ferments, les uns, les levures dites de culture sont des agents utiles employés à la fermentation du moût de bière, les autres, les levures dites *sauvages*, les bactéries, les moisissures sont des ennemis dangereux dont le brasseur cherche à se préserver de toutes les manières possibles.

Propriétés générales des ferments. — Pasteur a établi entre les ferments, deux grandes catégories, basées sur leur mode d'existence: les uns, appelés *aérobies*, ne peuvent vivre que dans les milieux contenant de l'oxygène ou aérés; les autres, dits *anaérobies*, ne peuvent au contraire exercer leur action que dans les milieux privés d'oxygène. Étant donné que le moût contient de l'oxygène, puisqu'il se refroidit au contact de l'air, sur les bacs et au réfrigérant, tandis que la bière contient de l'acide carbonique, nous pourrons dire que les ferments aérobies pourront vivre dans le moût, les ferments anaérobies, dans la bière.

Cette distinction introduite par Pasteur, n'est pas en réalité absolue ; beaucoup de ferments peuvent se conduire indifféremment comme aérobies et comme anaé-

robies, mais alors des modifications se manifestent soit dans leur forme, soit dans les produits de leur action ; en particulier nous verrons que la levure peut avoir les deux genres d'existence ; mais la vie aérobie est consacrée surtout au développement, la vie anaérobie à la fermentation alcoolique proprement dite.

Mode de reproduction et de développement. — On peut envisager trois modes principaux de reproduction.

1° Par dédoublement ;

2° Par bourgeonnement ;

3° Par spores.

1° Dans le premier cas, qui existe surtout pour les bactéries, on voit une des cellules, bâtonnet par exemple, s'étrangler, puis au bout de peu de temps, se couper en deux parties qui constituent deux êtres indépendants ; le dédoublement se fait très rapidement, en quelque sorte sous l'œil même de l'observateur, de sorte que la prolification est extrêmement abondante.

2° *Par bourgeonnement*. — C'est un cas qui se présente pour les levures. A l'extrémité d'une cellule, on voit apparaître un petit renflement qui augmente peu à peu de volume, et lorsqu'il est devenu presque égal à la cellule primitive, ce renflement se détache en donnant ainsi naissance à une nouvelle cellule.

3° *Par spores*. — Ce mode de reproduction peut se présenter soit chez les levures, soit chez les bactéries, soit chez les moisissures, mais il ne se présente pas de la même façon pour ces dernières.

Dans le cas des levures ou des bactéries, la spore doit être considérée comme un moyen de conservation de l'espèce ; cette spore étant beaucoup plus résistante que la cellule elle-même aux agents de destruction et notam-

ment à la chaleur, lorsque les conditions d'existence deviennent pénibles, la cellule, au lieu de se reproduire, comme d'habitude par dédoublement ou par bourgeonnement, forme des spores, dans son intérieur. Ce sont pour ainsi dire des œufs ou des graines. Ces spores, lorsque les conditions deviennent plus favorables, donnent naissance à des cellules qui continuent à se reproduire par bourgeonnement ou par dédoublement La formation des spores n'a lieu que dans les cellules jeunes, vigoureuses, tandis que meurent les cellules moins vivantes.

Pour les moisissures, la spore apparaît comme une graine, cette formation est un phénomène normal de la moisissure. Ces spores donnent également naissance à des cellules qui ne fournissent de nouveau des spores que comme terminaison de leur existence.

Aliments des ferments. — Les exigences des divers ferments sont très différentes; tandis que les levures par exemple, ont besoin de sucre, de matières azotées et de matières minérales en assez grande quantité, les bactéries se contentent d'aliments très pauvres et très dilués et il en est de même des moisissures; il suffit d'avoir vu celles-ci prendre un grand développement sur un mur de cave, pour se convaincre qu'elles se contentent de peu.

La plupart des ferments sont gênés au moins par l'alcool, cependant quelques-uns, comme le ferment acétique, ne peuvent se développer normalement qu'en présence d'une petite quantité d'alcool.

La réaction du milieu a également une grande importance; beaucoup d'organismes capables de se développer abondamment dans un liquide neutre ou alcalin.

ne peuvent vivre que péniblement en milieu acide, quand ils ne sont pas absolument tués.

Le moût de bière étant toujours acide, il en résulte qu'un grand nombre d'organismes existant dans l'eau, dans l'air ou sur les vases ne peuvent s'y développer.

De plus la présence d'acides dans le moût facilite sa stérilisation par l'ébullition, puisque les organismes auxquels le milieu alcalin ou neutre est favorable, se trouvent soumis simultanément à deux actions nuisibles, la chaleur et l'acidité.

Description des ferments les plus importants.

Bactéries. — Elles se présentent sous diverses formes, mais toujours de très petites dimensions, visibles par conséquent seulement au microscope avec de forts grossissements.

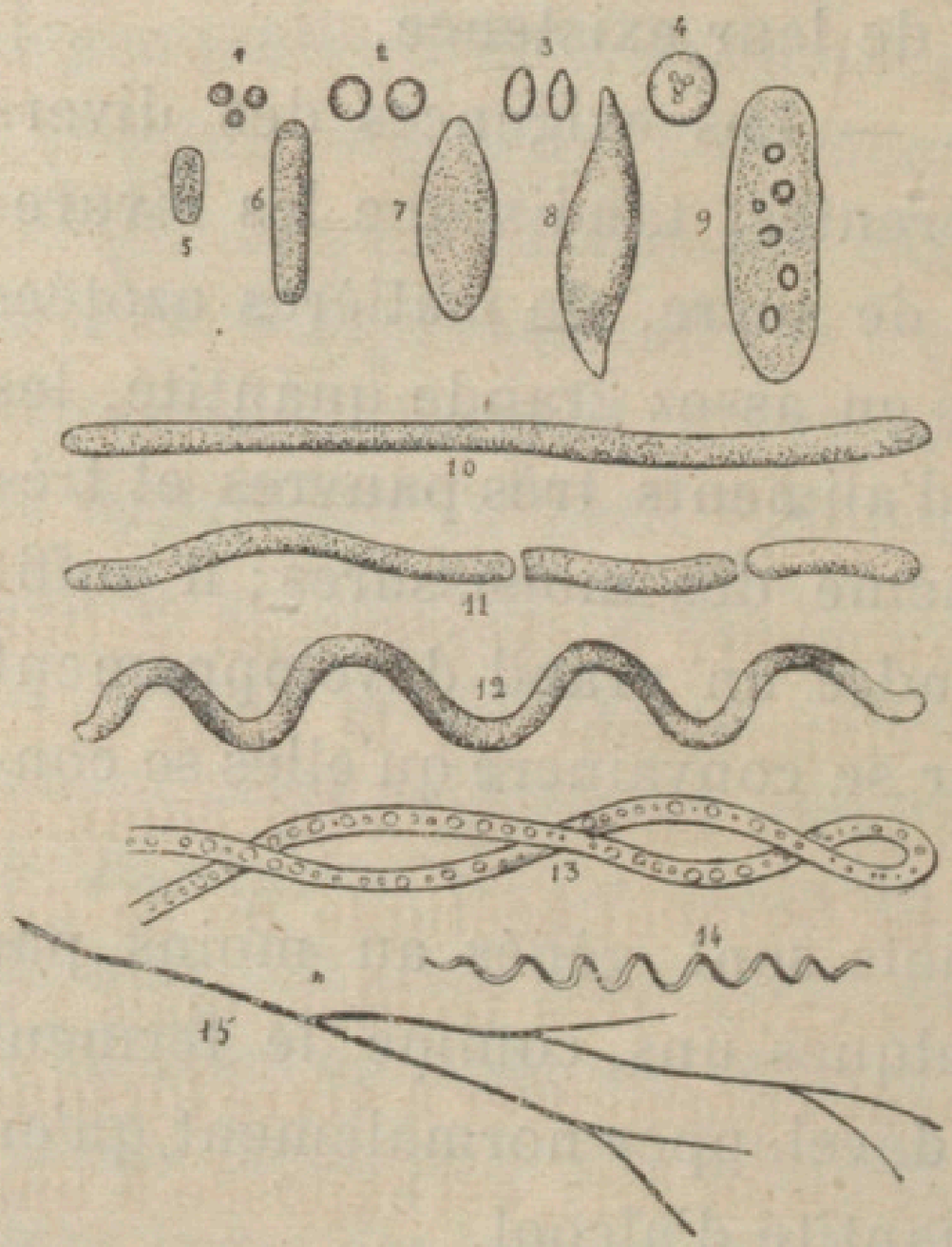


Fig. 4. — Bactéries.

Les deux formes les plus fréquentes sont celles en *bâtonnets*, tantôt isolés, tantôt et c'est le cas le plus fréquent, associés en chaînes plus ou moins complexes, et la forme de *Coccus*, petits globules ronds, de dimensions variables et généralement associés; le nombre des individus associés, et la forme

des groupements est une des caractéristiques qui permettent de différencier les espèces (fig. 4).

Le mode de reproduction le plus fréquent est celui par dédoublement; quelques espèces cependant, entre autres le ferment butyrique, peuvent donner des spores. Nous allons donner quelques indications sur les principales espèces que l'on peut rencontrer en brasserie.

Ferment acétique (*Bact. aceti et Bact. Pasteurianum*). — Pasteur a décrit d'abord une espèce de ferment acétique; depuis divers auteurs et surtout Hansen ont reconnu l'existence de trois espèces au moins. D'ailleurs toutes transforment l'alcool en acide acétique ou vinaigre (fig. 5).

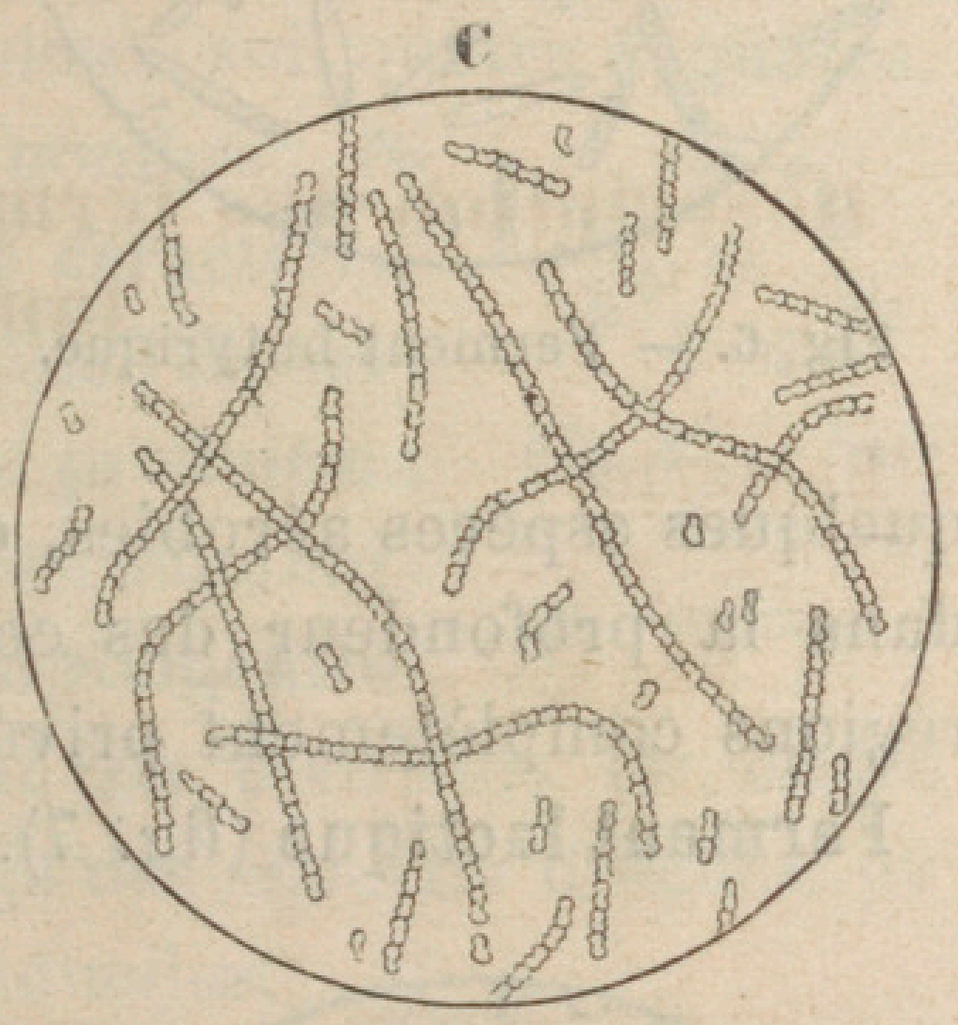


Fig. 5. — Ferment acétique.

Le ferment acétique, en donnant ce nom à l'ensemble des espèces décrites par Hansen, est fortement aérobie; il ne commence à exercer son action que vers 5°, et son développement est le plus actif vers 34°. Il ne trouble pas la bière, mais lui communique une forte acidité. Le ferment acétique ne se développe donc pas dans les caves très froides, mais s'il existe dans la bière, il peut commencer à vivre lorsque la bière mise en bouteilles ou en fûts, est exposée à une température plus élevée.

Ferment butyrique (fig. 6). — Il est caractérisé par une odeur de beurre rance ou de fromage avancé. Le ferment butyrique est constitué par plusieurs espèces,

qui sont en général anaérobies : l'une des premières connues porte le nom scientifique de *Clostridium butyricum*.

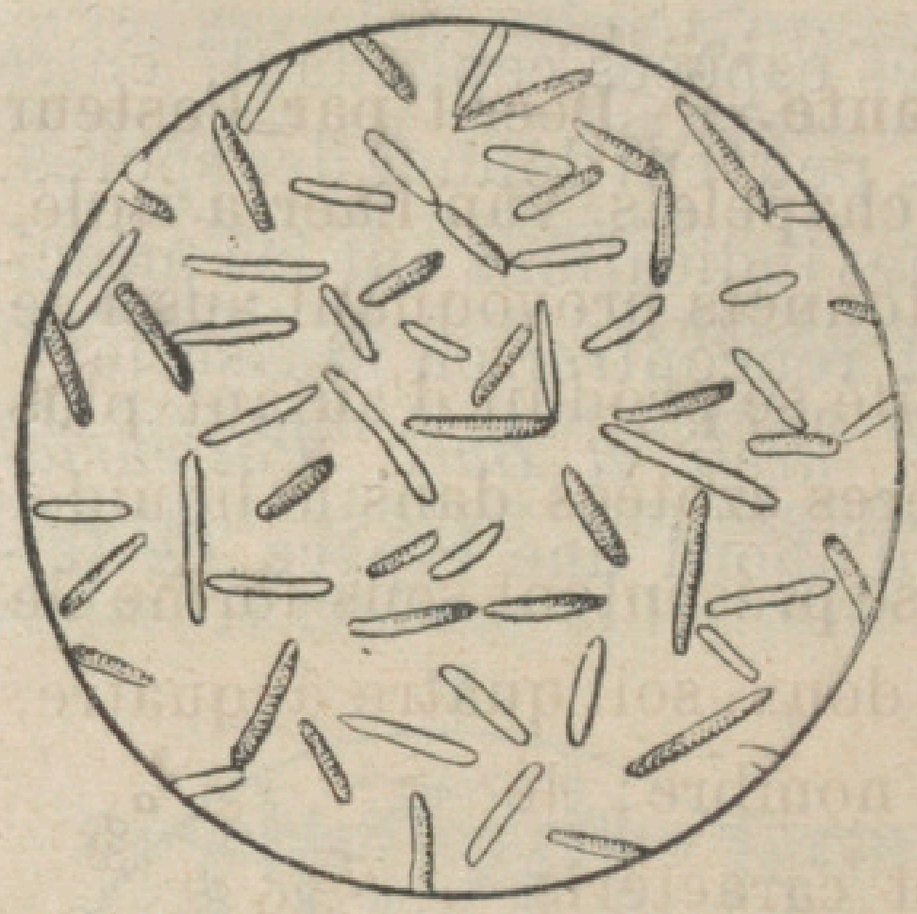


Fig. 6. — Ferment butyrique.

Le ferment butyrique a son maximum de développement à 40°, il peut former des spores très résistantes, qui ne sont pas tuées par un court passage à 100°.

Le ferment butyrique peut se développer dans le moût de bière, d'une part, parce qu'il en existe quelques espèces aérobies, et, d'autre part, parce que dans la profondeur des couches de moût il y a des régions complètement privées d'oxygène.

Ferment lactique (fig. 7). — Pasteur l'a décrit sous forme de petits bâtonnets légèrement étranglés et généralement isolés; on en connaît un grand nombre d'espèces, les unes en bâtonnets, les autres en coccus. Toutes ces espèces sont aérobies, elles fournissent de l'acide lactique : le ferment lactique se développe encore bien à 50°.

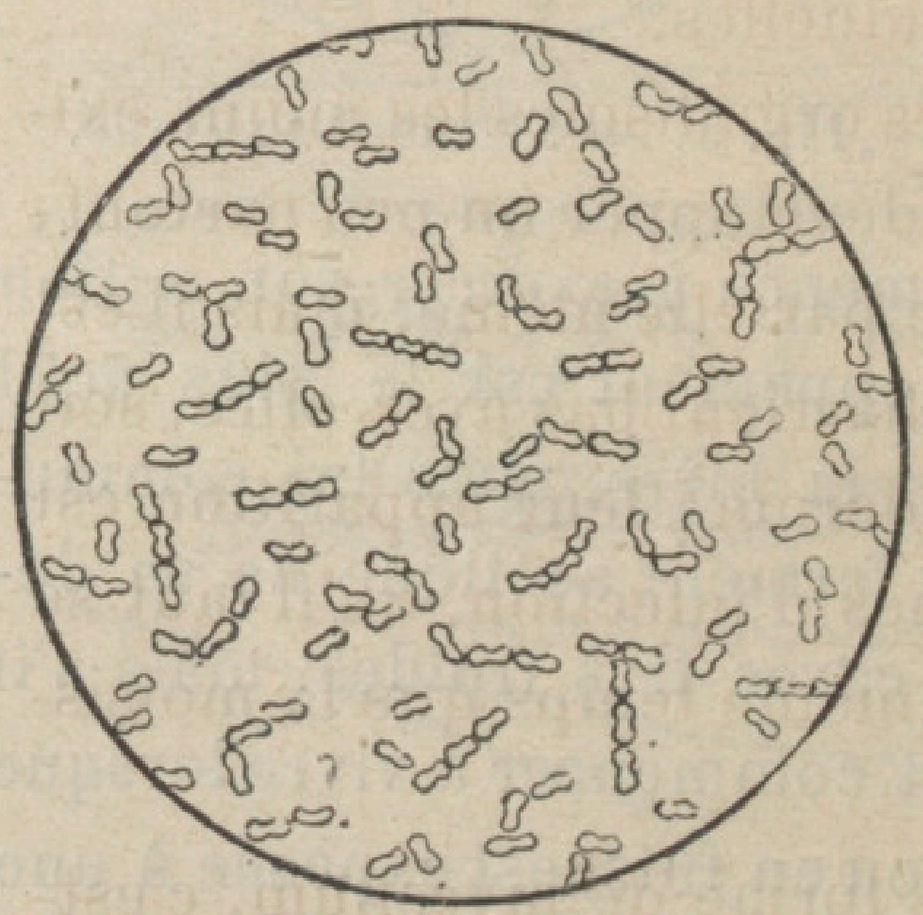


Fig. 7. — Ferment lactique.

C'est à cette température que l'on abandonne les levains de distillerie pour l'acidification spontanée; le

ferment est à peine tué à 60°, il se développe facilement sur les drèches, laissées dans la cuve matière, dans l'intervalle des lavages.

Ferment de la bière filante. — Décrit par Pasteur comme formé de coccus en chapelets. Van Laer a isolé, depuis, deux espèces en bâtonnets provoquant aussi le filage de la bière. La viscosité se produit d'autant plus vite qu'il y a plus de matières azotées dans le liquide.

Sarcines (fig. 8). — Elles se présentent sous forme de *coccus* associés, soit deux à deux, soit quatre à quatre, soit enfin en plus grand nombre; le groupement par quatre est caractéristique. Il existe plusieurs espèces de sarcines : le plus grand nombre produit un trouble de la bière, d'autres communiquent de plus une coloration rougeâtre.

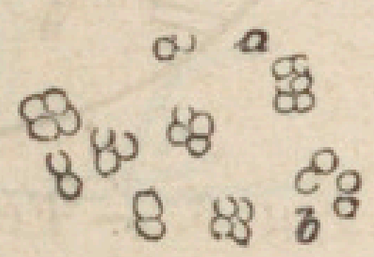


Fig. 8. — Sarcines.

A. Jorgensen.

Les sarcines se développent très bien vers 15°, on les trouve dans l'air au voisinage des amas de drèches, ou des écoulements d'eaux résiduelles.

Moisissures. — Ce sont les organismes les moins exigeants, aussi peuvent-ils se développer un peu partout; leur nocivité est assez faible par elle-même, mais il est rare que les moisissures ne charrient pas avec elles, soit des bactéries, soit du mycoderme ; leur apparition est donc le signe visible de germes d'infection, qu'il faut se hâter de faire disparaître en même temps que la moisissure.

Elles se développent sous forme de mycelium, c'est-à-dire en enchevêtrement de filaments ramifiés et cloisonnés d'où partent des tubes destinés à porter les spores; celles-ci peuvent germer immédiatement si les conditions sont favorables, sinon elles restent des

années sans perdre la propriété de se reproduire.

Penicilium glaucum. — C'est l'espèce la plus répandue ; on la trouve constamment dans les germoirs, sur



Fig. 9. — *Penicilium glaucum.*

les murs des caves ; elle se distingue par une coloration gris vert due aux spores, et qui apparaît seulement après quelques jours de développement (fig. 9).

Cette moisissure se reproduit et se propage par l'intermédiaire des spores qui sont très nombreuses ; l'air en contient toujours de grandes quantités en suspension. Ces spores sont résistantes à la chaleur et aux antiseptiques.

L'action de la chaleur détruit partiellement ces moisissures dont le développement est beaucoup amoindri par une bonne ventilation.

Mucors. — Ils apparaissent comme un feutre gris ou blanc dans lequel on distingue à l'œil nu de fins globules, jaunes, bruns ou noirs, qui sont des sporanges ou boîtes contenant des spores.

Les mucors comprennent un grand nombre d'es-

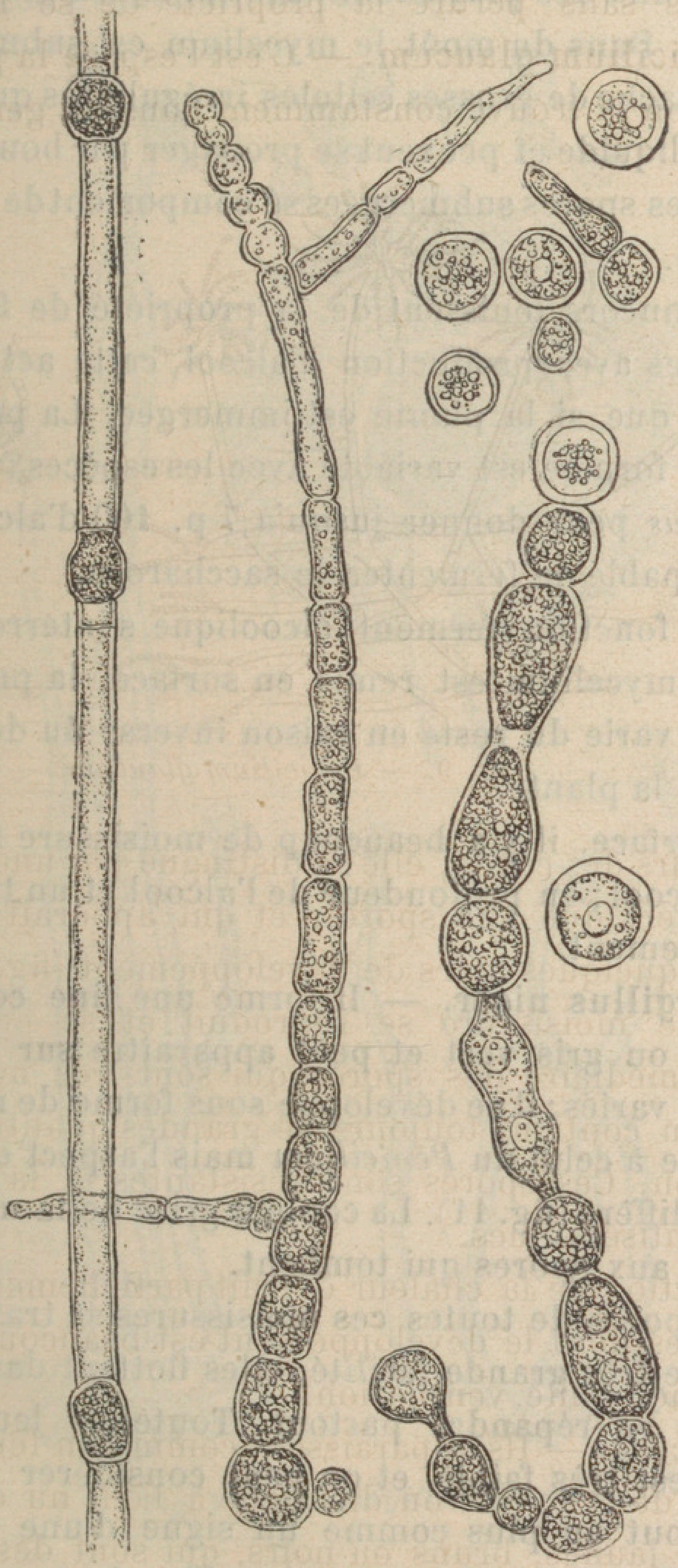


Fig. 10. — *Mucor racemosus.*

pèces : l'une des plus communes est le *Mucor racemosus* (fig. 10). Dans du moût le mycelium est submergé : il s'en détache de grosses cellules irrégulières qui flottent dans le liquide et peuvent se propager par bourgeonnement ; les spores submergées se comportent de la même manière.

Les mucors jouissent de la propriété de fermenter les sucres avec production d'alcool, cette action ne se produit que si la plante est immergée. La proportion d'alcool formée est variable avec les espèces ; le *Mucor racemosus* peut donner jusqu'à 7 p. 100 d'alcool ; seul il est capable de fermenter le saccharose.

Cette fonction ferment alcoolique s'interrompt dès que le mycelium est remis en surface, la production d'alcool varie du reste en raison inverse du développement de la plante.

En surface, il y a beaucoup de moisissure formée et pas d'alcool ; en profondeur de l'alcool et un très faible accroissement.

Aspergillus niger. — Il forme une fine couverture grisâtre ou gris vert et peut apparaître sur les corps les plus variés ; il se développe sous forme de mycelium analogue à celui du *Penicilium* mais l'aspect des porte-spores diffère (fig. 11). La couleur grise de la moisissure est due aux spores qui tombent.

Les spores de toutes ces moisissures se transportent avec une très grande facilité, elles flottent dans l'air et peuvent se répandre partout. Toutefois leur action nocive est très faible, et on peut considérer leur présence tout au plus comme un signe d'une mauvaise ventilation et d'une propreté insuffisante.

Les mucors que nous venons de citer forment, grâce à

leur fonction éventuelle de ferment alcoolique, comme

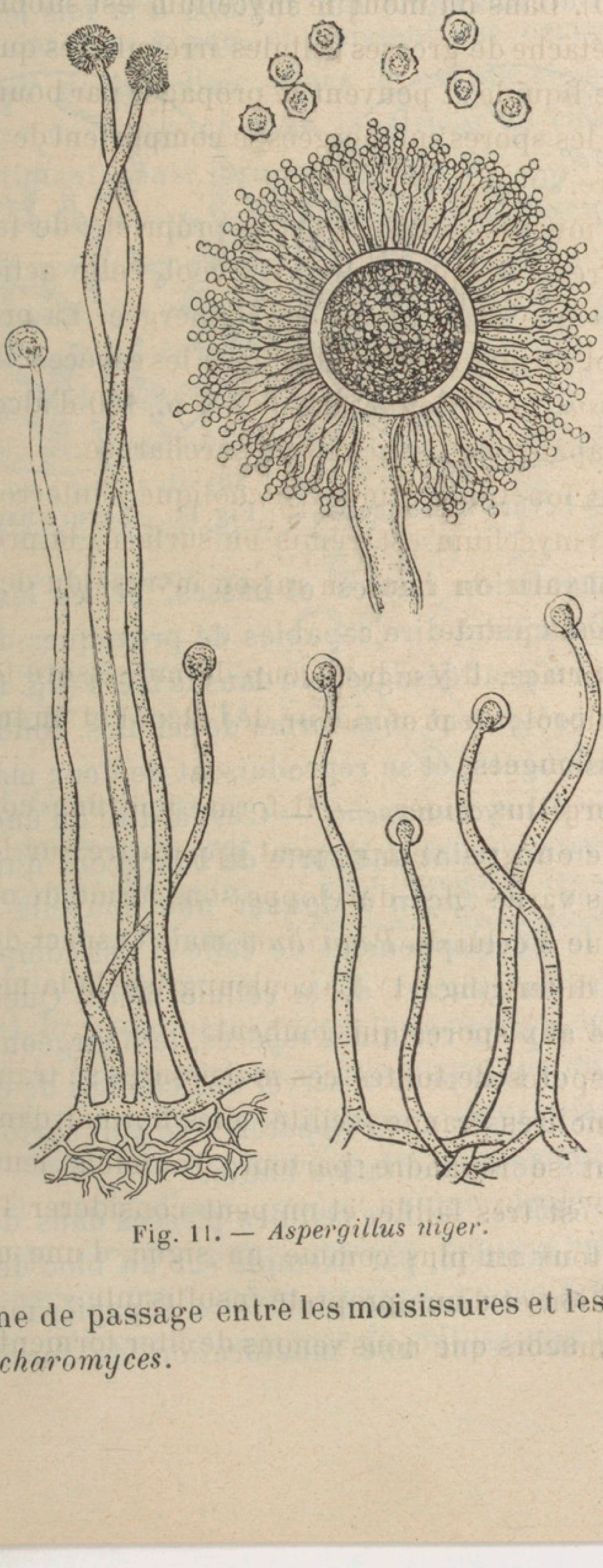
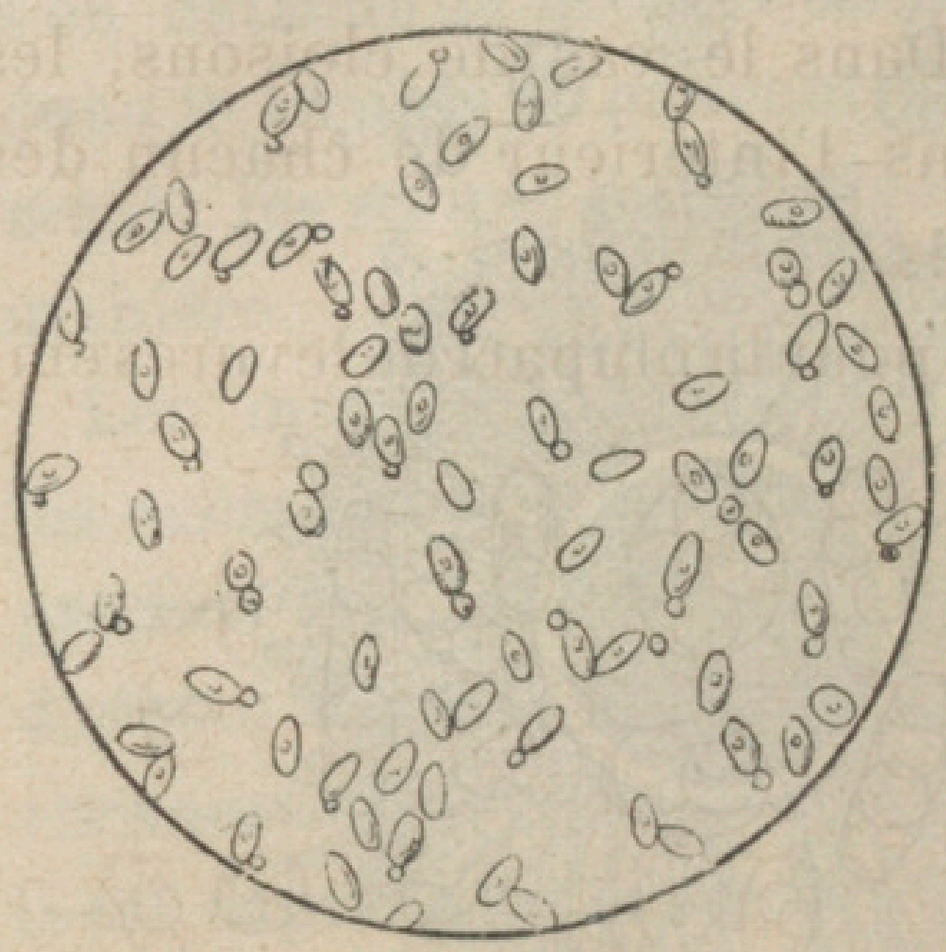


Fig. 11. — *Aspergillus niger*.

un terme de passage entre les moisissures et les levures ou *Saccharomyces*.

Ferments alcooliques. — Ils sont rattachés au genre *Saccharomyces* qui englobe à la fois les levures



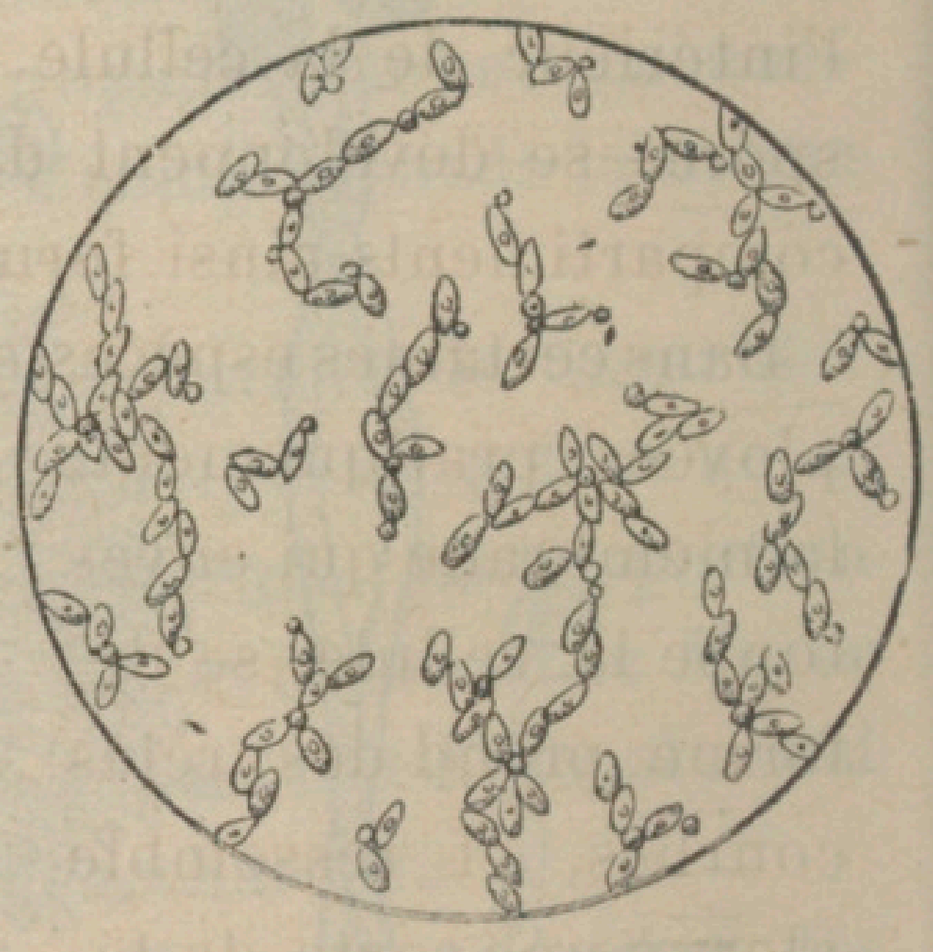


Fig. 12. — Levure basse jeune. Fig. 13. — Levure haute jeune.

de fermentation hautes et basses, et les levures de maladies, c'est-à-dire capables de provoquer des troubles ou un goût désagréable dans la bière (fig. 12 et 13).

Ils se présentent sous forme de cellules, rondes, ovales ou allongées, et se reproduisent de deux manières :

1° *Par bourgeonnement.* — C'est-à-dire qu'une cellule pousse en un point une sorte de bourgeon, qui grossit peu à peu, de façon à donner une nouvelle cellule ; lorsque le développement de celle-ci est complet, elle se sépare en général de la cellule mère. Quelquefois pourtant et pour certaines espèces, le bourgeonnement continue, et l'on peut observer des chaînes de cellules, assez nombreuses. Cette apparence se voit surtout dans les levures de fermentation haute.

2° *Par spores.* — Les cellules placées dans des conditions d'inanition, par exemple sur un bloc de plâtre baigné d'eau, ou sur une bandelette de papier maintenu humide, subissent une modification de forme dans

leur intérieur. On voit apparaître un certain nombre de cloisons, ou bien simplement des points obscurs qui grossissent peu à peu, et finissent par occuper tout l'intérieur de la cellule. Dans le cas de cloisons, les spores se développent dans l'intérieur de chacun des compartiments ainsi formés.

Dans certaines espèces, et pour la plupart de levures employées pratiquement, la membrane qui enveloppe la cellule, se déforme, prend des arêtes courbes, et ressemble alors à une sorte de tétraèdre dans l'intérieur duquel apparaissent les spores.

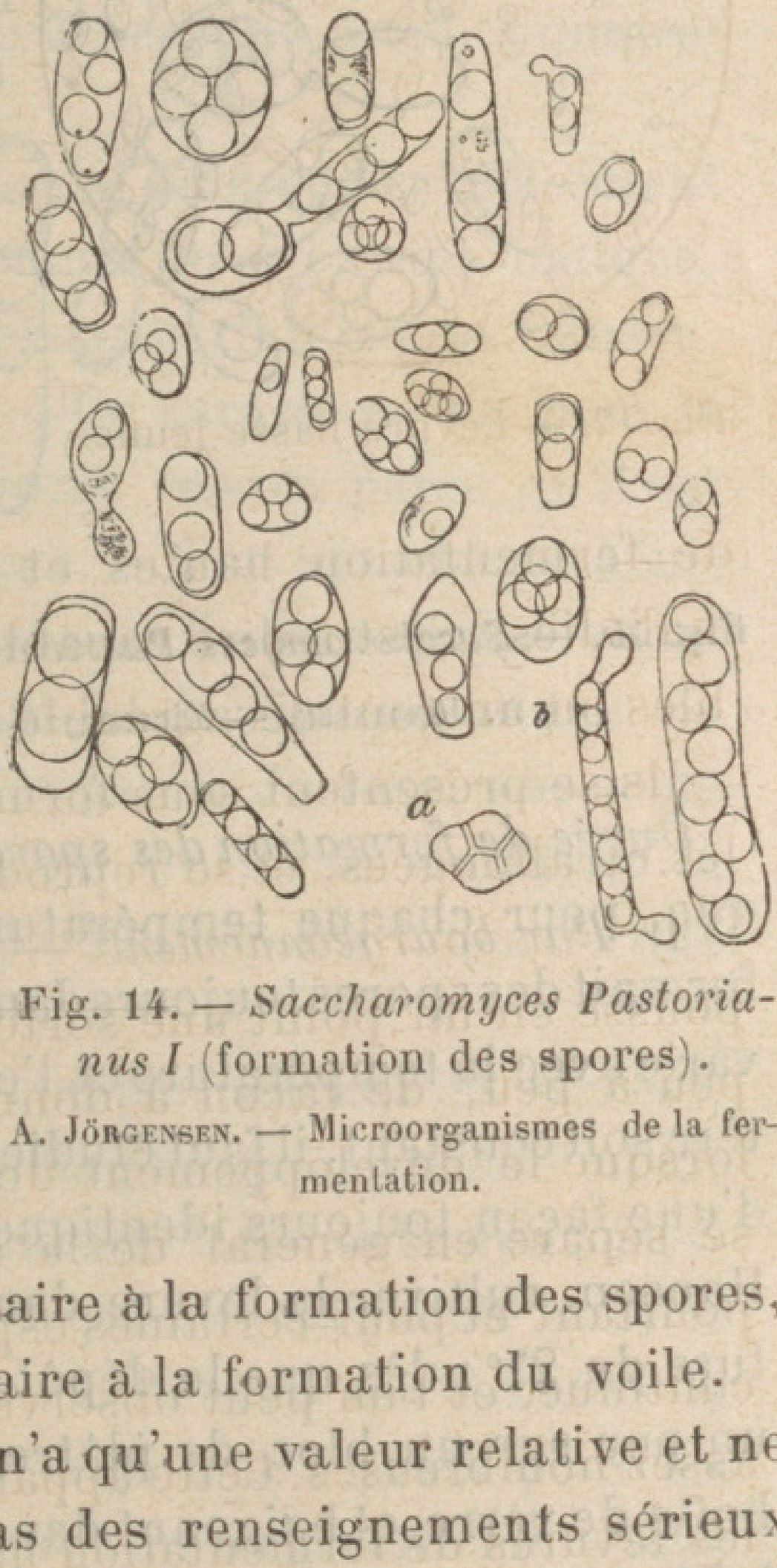


Fig. 14. — *Saccharomyces Pastorianus I* (formation des spores).

A. Jörgensen. — Microorganismes de la fermentation.

Ces divers aspects sont représentés (fig. 14 et 15).

On différencie les espèces de levures par trois caractères principaux : savoir la forme des cellules et leur groupement, le temps nécessaire à la formation des spores, et enfin le temps nécessaire à la formation du voile.

Le premier caractère n'a qu'une valeur relative et ne peut donner en tous cas des renseignements sérieux que s'il s'agit d'une espèce unique, isolée, car les mélanges de plusieurs espèces peuvent donner le même aspect que d'autres espèces, prises à l'état pur. Ainsi le mélange d'une levure de culture avec le *Saccha-*

romyces ellipsoideus prend l'apparence d'un *Saccharomyces Pastorianus*, et les cellules vieilles ont un aspect tout à fait différent de celui des cellules jeunes.

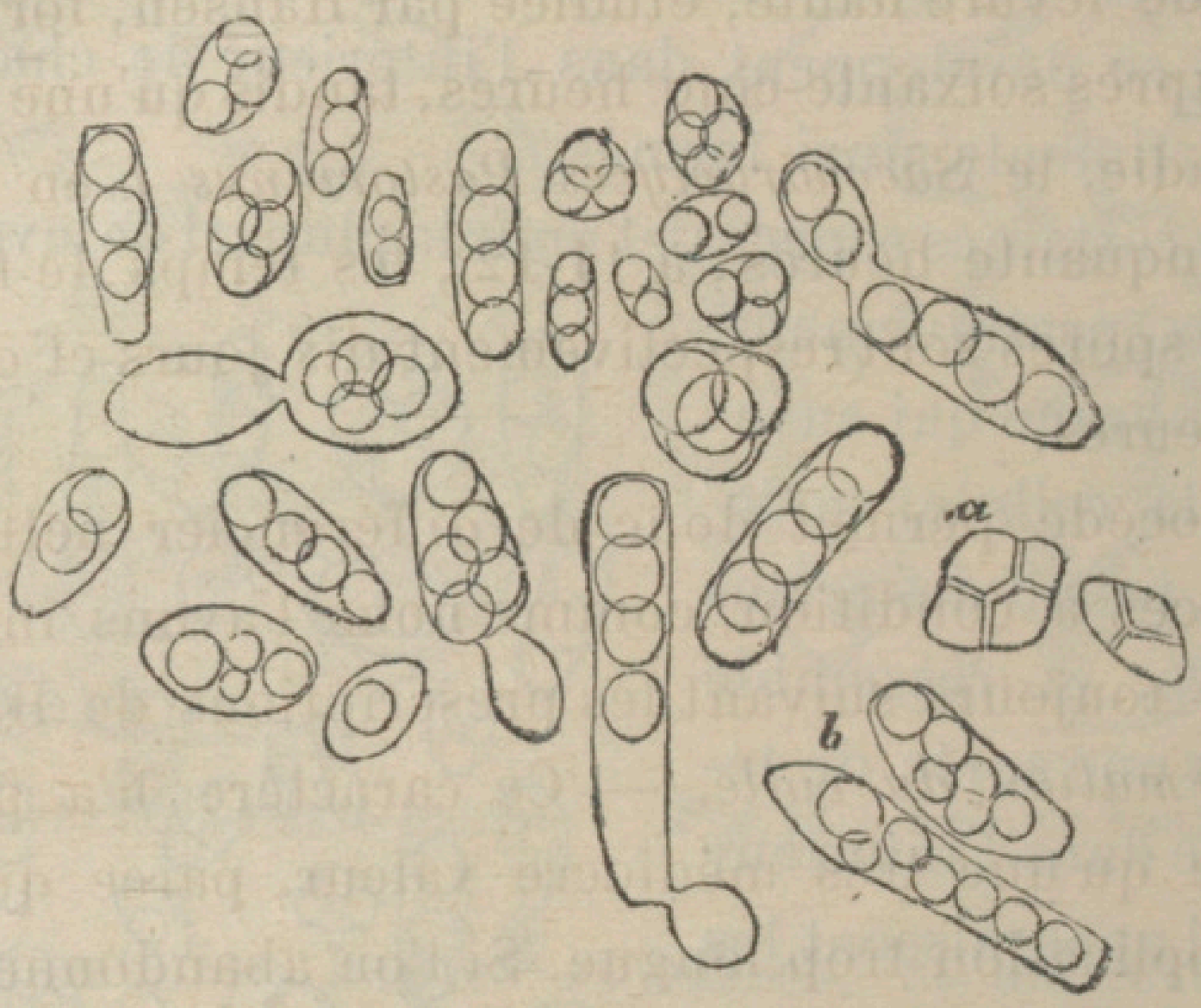


Fig. 15. — *Saccharomyces Pastorianus II* (formation des spores).

A. Jörgensen. — Microorganismes de la fermentation.

Durée de formation des spores. — Hansen a remarqué que, pour chaque température, une levure déterminée formait des spores toujours dans le même temps. Ce temps varie avec la température et l'espèce. Pour que ce caractère soit constant, il faut étudier des formations de spores d'une façon toujours identique. On doit d'abord, d'après Hansen, cultiver la levure dans du moût à la température de 27° ; dès que le dépôt est apparent, on en met un peu sur un bloc de plâtre stérilisé placé dans une boîte de verre, et baignant dans l'eau stérilisée, on place le tout à l'étuve, maintenue à une température constante, et par des examens au microscope, on cherche à découvrir les premiers indices de la formation des spores, et à connaître le temps nécessaire à leur apparition.

Les temps de formation des spores sont très différents et les écarts sont en général, d'autant plus notables que la température est plus basse. Ainsi à 15°, une espèce de levure haute, étudiée par Hansen, forma les spores après soixante-cinq heures, tandis qu'une levure de maladie, le *Saccharomyces Pastorianus I* en donne après cinquante heures ; à 11-12°, les temps de formation des spores sont respectivement dix jours et quatre-vingts heures.

Ce procédé permet donc de différencier nettement les espèces à condition, comme nous l'avons indiqué, d'opérer toujours suivant les prescriptions de Hansen.

3° *Formation du voile.* — Ce caractère n'a pour la pratique qu'une très médiocre valeur, parce qu'il est d'une application trop longue. Si l'on abandonne à lui-même du moût fermenté dans un flacon communiquant avec l'air extérieur, on voit se former au niveau du liquide et d'abord contre les parois du vase, une sorte de croûte, qui s'étend parfois de façon à couvrir la surface, mais se borne le plus souvent à la partie que baigne la paroi.

Ce voile, plus ou moins complet suivant les espèces, se forme toujours dans le même temps, pour une même espèce et une même température. Mais le temps nécessaire qui n'est que de trois à quatre jours à 33° pour le *Saccharomyces ellipsoideus II*, levure qui trouble la bière, est au minimum de sept à dix jours pour les autres espèces. Pratiquement l'on a rarement le temps d'attendre aussi longtemps : aussi ce caractère est-il d'ordre purement scientifique et ne peut être utilisé pour des recherches pratiques.

DESCRIPTION DE QUELQUES ESPÈCES DE LEVURES. — Hansen

a étudié très soigneusement six espèces de levures qui peuvent servir de types; deux d'entre elles sont des levures de culture, les quatre autres des levures de maladie.

Les deux levures de culture, *Saccharomyces cerevisiæ I* (fig. 16 et 17), levure haute, et *Saccharomyces ellipsoideus I* (fig. 18 et 19), levure basse, sont capables de fermenter le maltose et de donner une proportion normale d'alcool. Elles se présentent, la première sous forme de cellules rondes ou ovales, bien pleines, souvent en chapelet, la seconde à peu près de la même

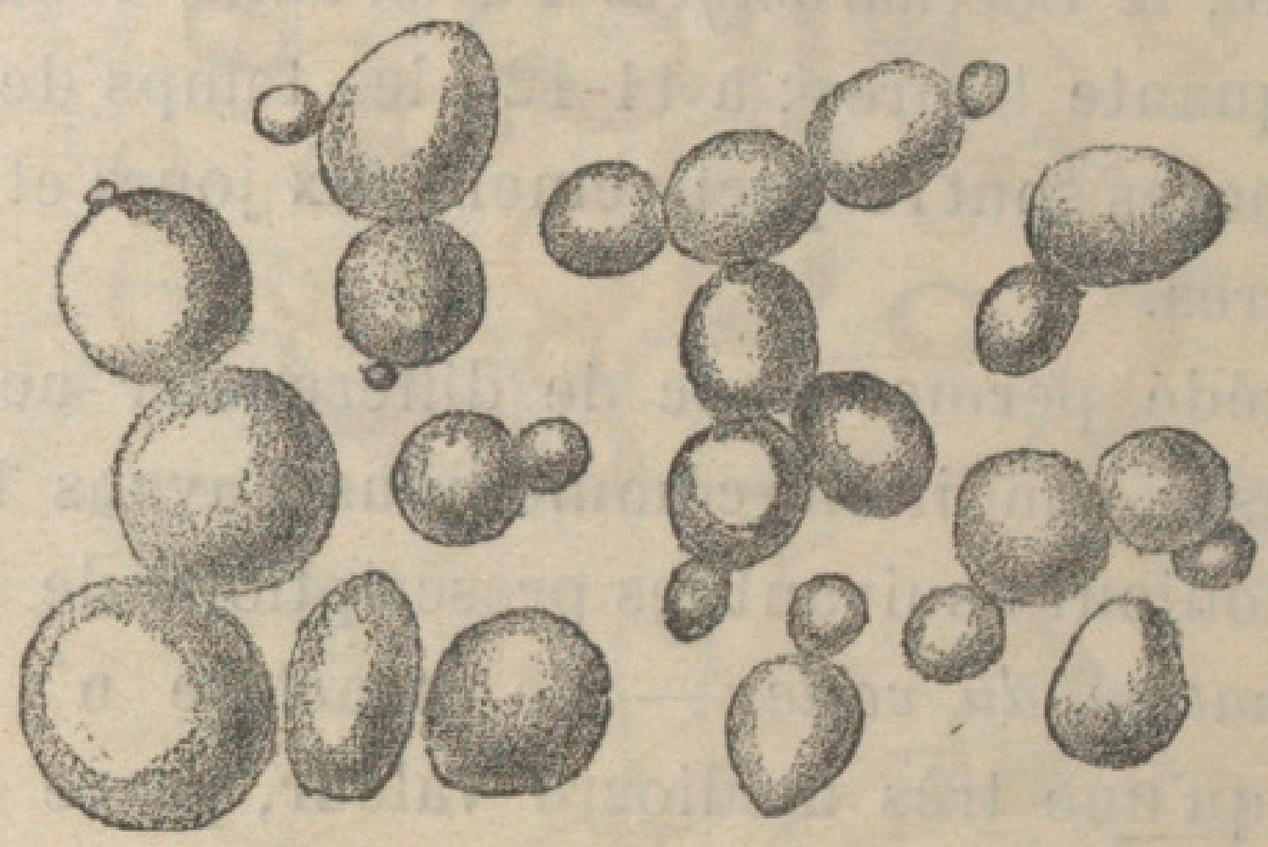


Fig. 16. — *Saccharomyces cerevisiæ* (formes de dépôt).

A, Jörgnnsen. — Microorganismes de la fermentation.

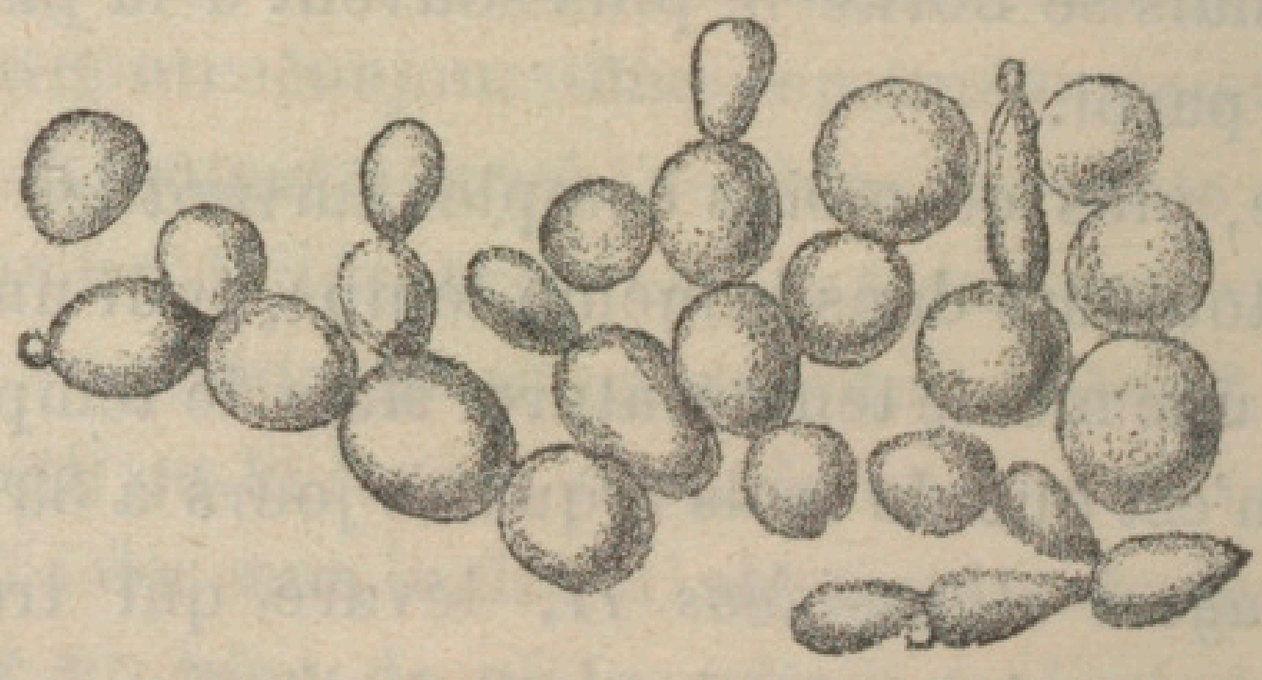


Fig. 17. — *Saccharomyces cerevisiæ I* (formes du voile).

A.J örgensen. — Microorganismes de la fermentation.

manière mais sans chapelets ; on trouve au plus quatre ou cinq cellules rattachées ensemble et quelques cellules allongées.

Les quatre autres espèces étudiées par Hansen sont :

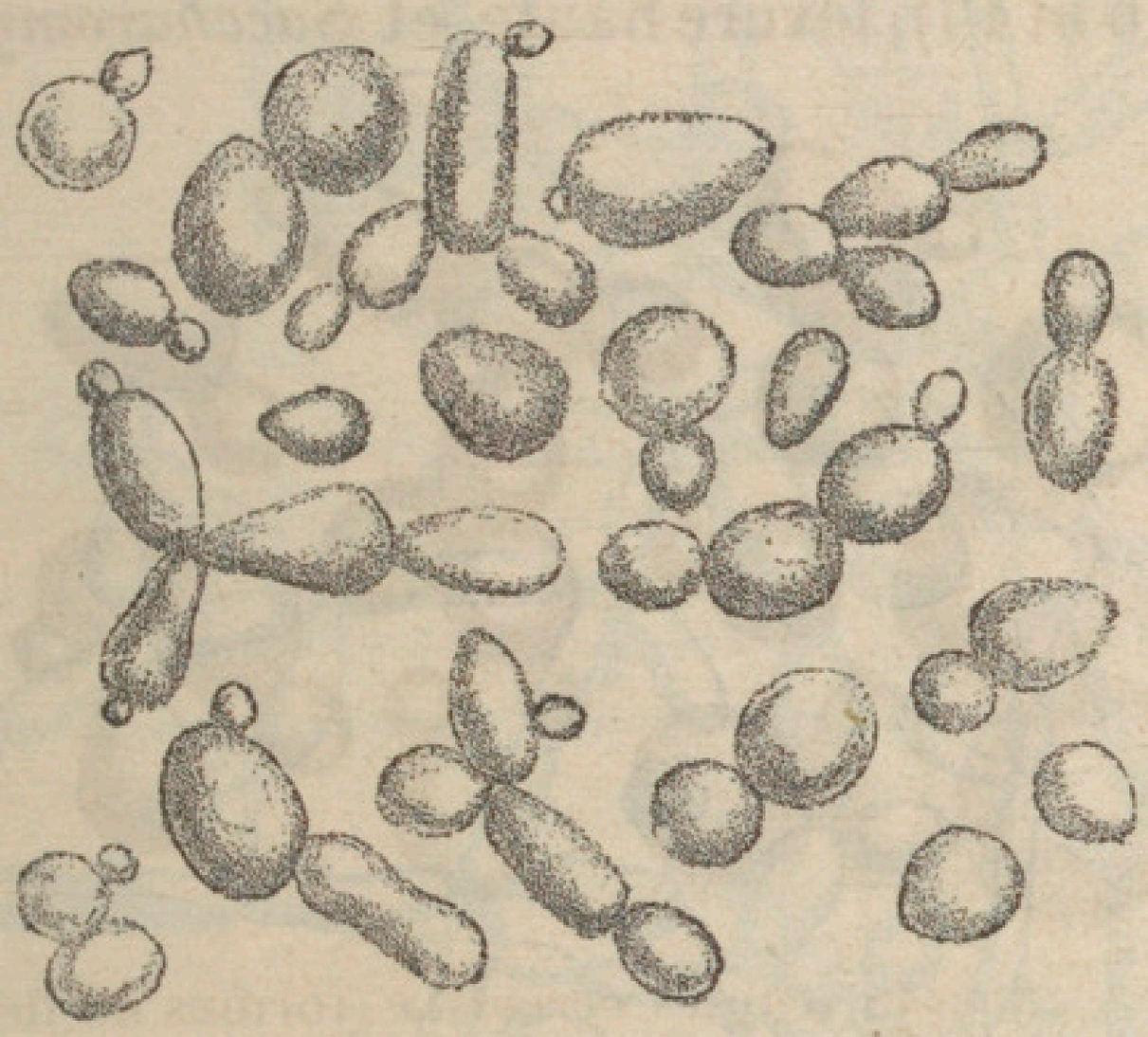


Fig. 18. — *Saccharomyces ellipsoideus I* (formes du dépôt).

JÖRGENSEN. — Microorganismes de la fermentation.

Saccharomyces Pastorianus I (fig. 20 et 21). — Levure qui communique à la bière un goût amer désagréable et une mauvaise odeur, et peut amener un trouble ou une clarification défectueuse ; formée surtout de cellules allongées semblables à des rameaux d'arbre. On la rencontre dans l'air, c'est une levure basse.

Saccharomyces Pastorianus II (fig. 22 et 23). — Cellules allongées en forme de boudins, mais avec quelques cellules ovales ou rondes. Levure haute faible ; se trouve dans l'air, ne semble pas provoquer d'altération sensible.

Saccharomyces Pastorianus III (fig. 24 et 25). — Levure haute, trouble la bière. Même forme de cellules que la précédente.

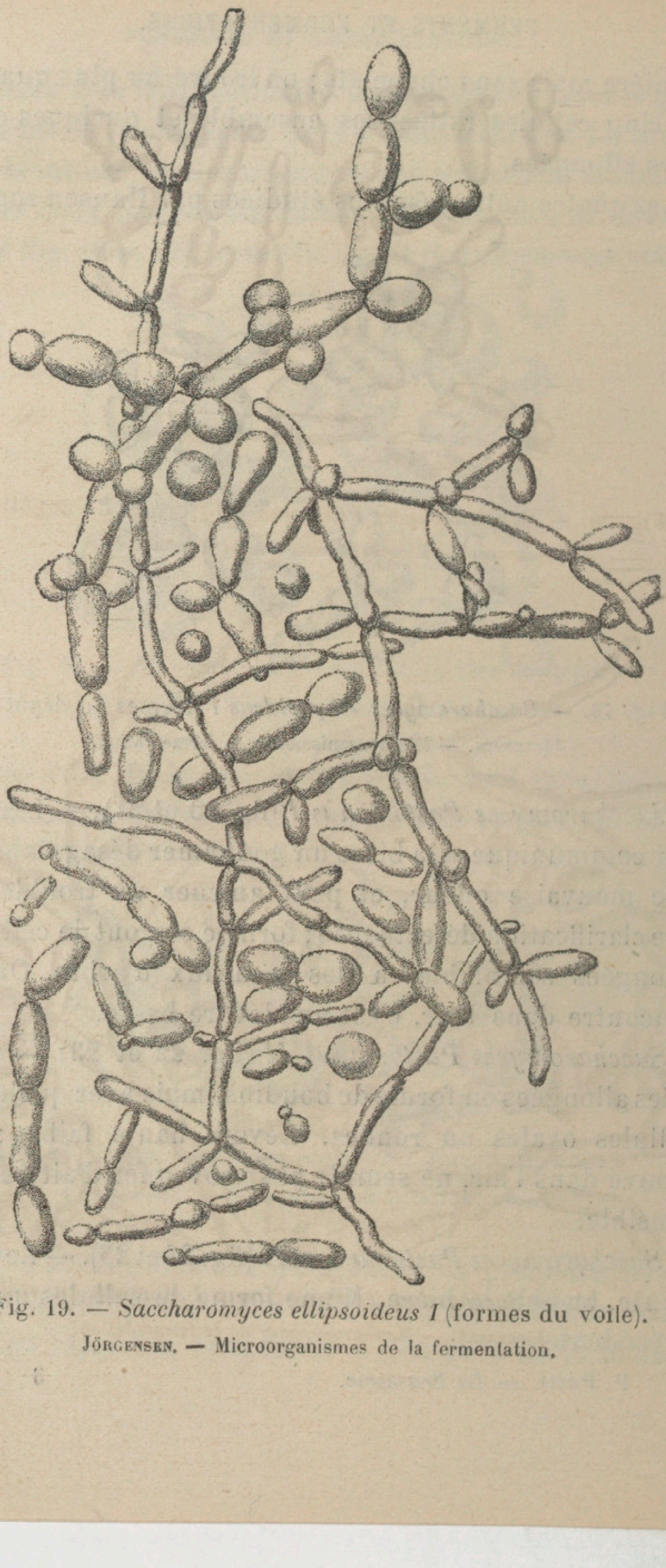


Fig. 19. — *Saccharomyces ellipsoideus I* (formes du voile).



Fig. 20. — *Saccharomyces Pastorianus I* (formes du dépôt).

JÖRGENSEN. — Microorganismes de la fermentation.

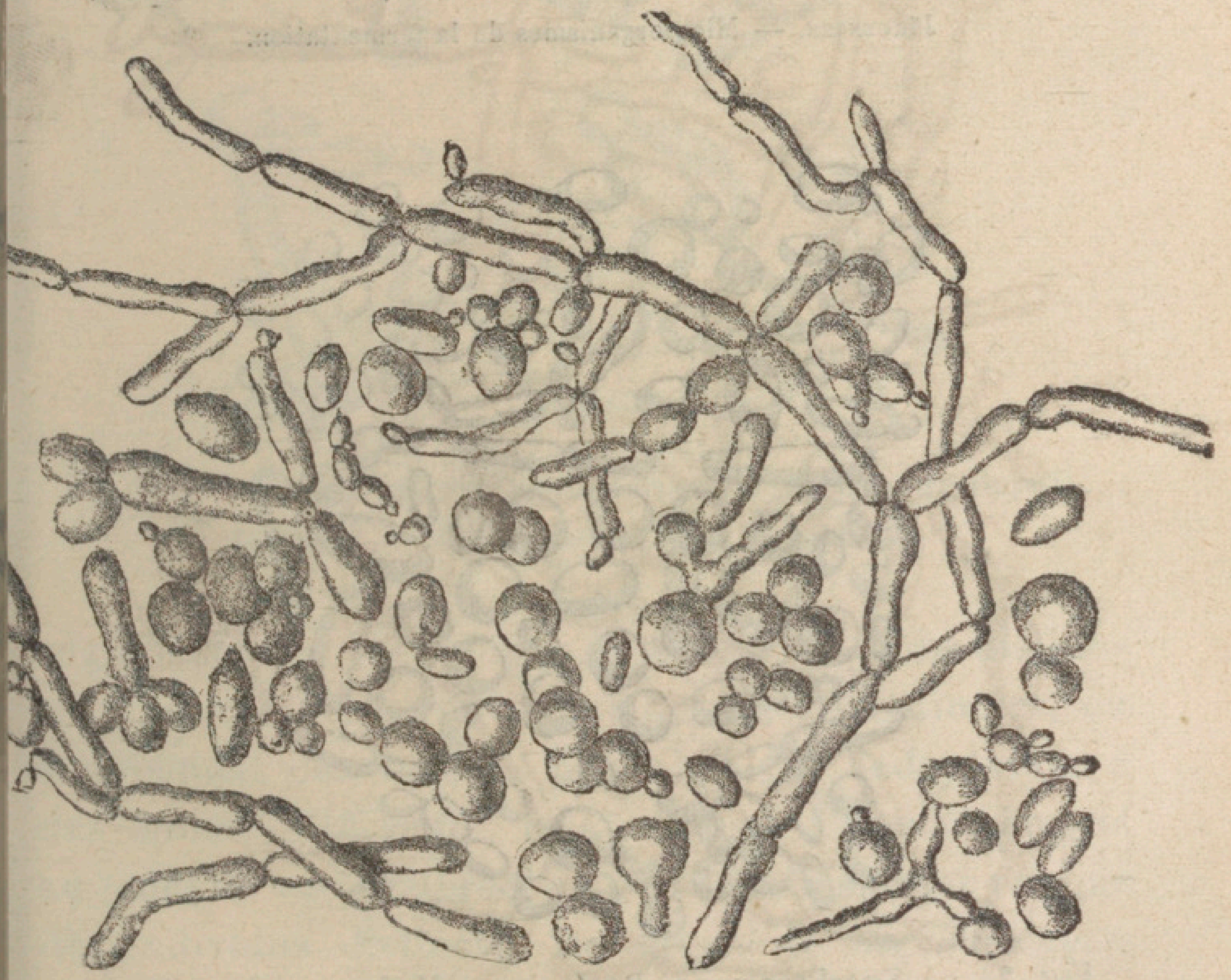


Fig. 21. — *Saccharomyces Pastorianus I* (formes du voile).

JÖRGENSEN. — Microorganismes de la fermentation.



Fig. 22. — *Saccharomyces Pastorianus II* (formes du dépôt).

JÖRGENSEN. — Microorganismes de la fermentation.

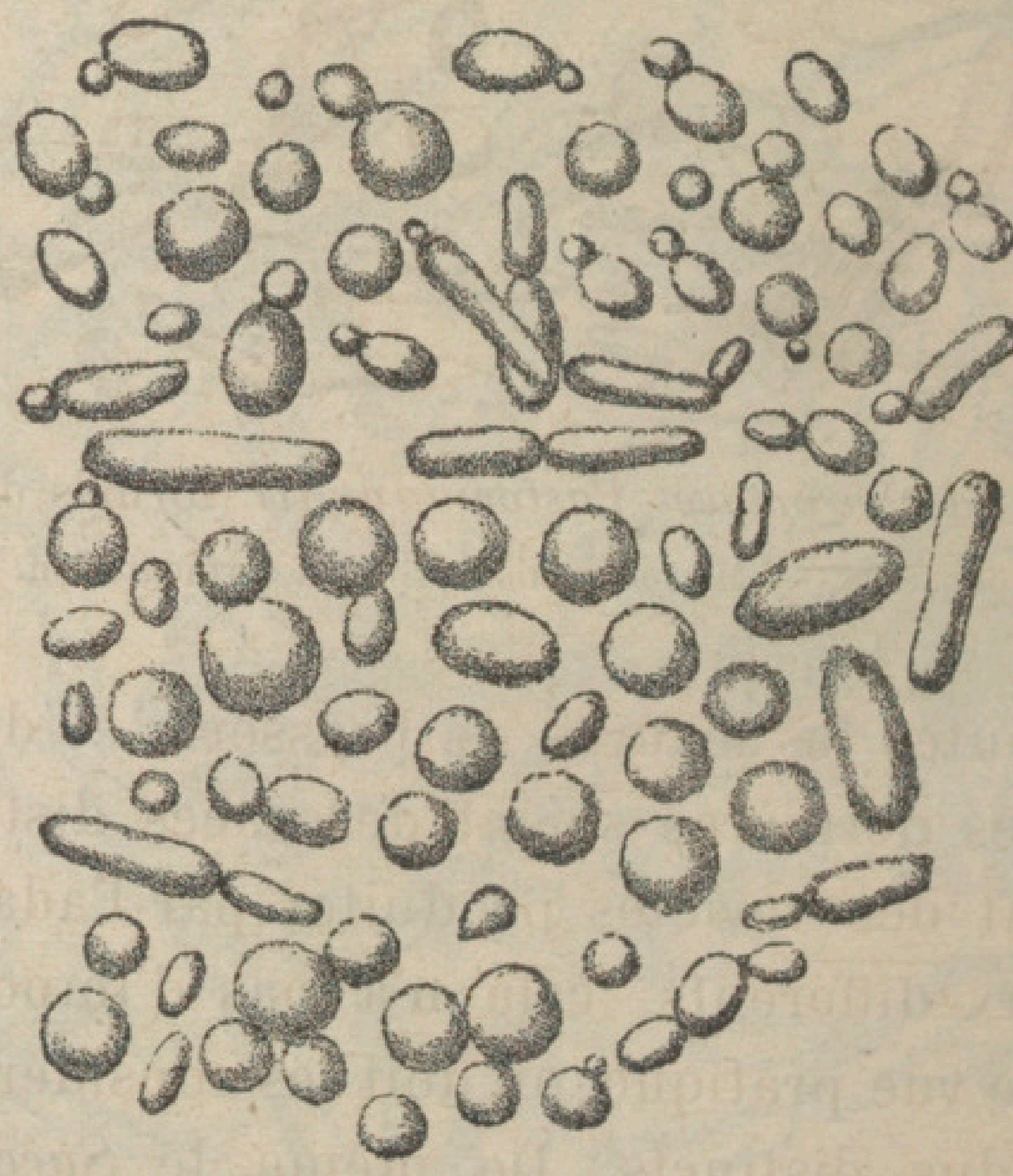


Fig. 23. — *Saccharomyces Pastorianus II* (formes du voile).

JÖRGENSEN. — Microorganismes de la fermentation.

Saccharomyces ellipsoideus II (fig. 26 et 27). — Levure basse, qui trouble la bière ; cellules ovales ou rondes avec quelques cellules allongées. Ces six types de levure étant toujours cités, on peut être amené à penser que ce sont les seules races existantes ; ce serait là une grave erreur. Le groupe *Saccharomyces cerevisiæ* à lui seul, comprend un grand nombre de termes, puisqu'il

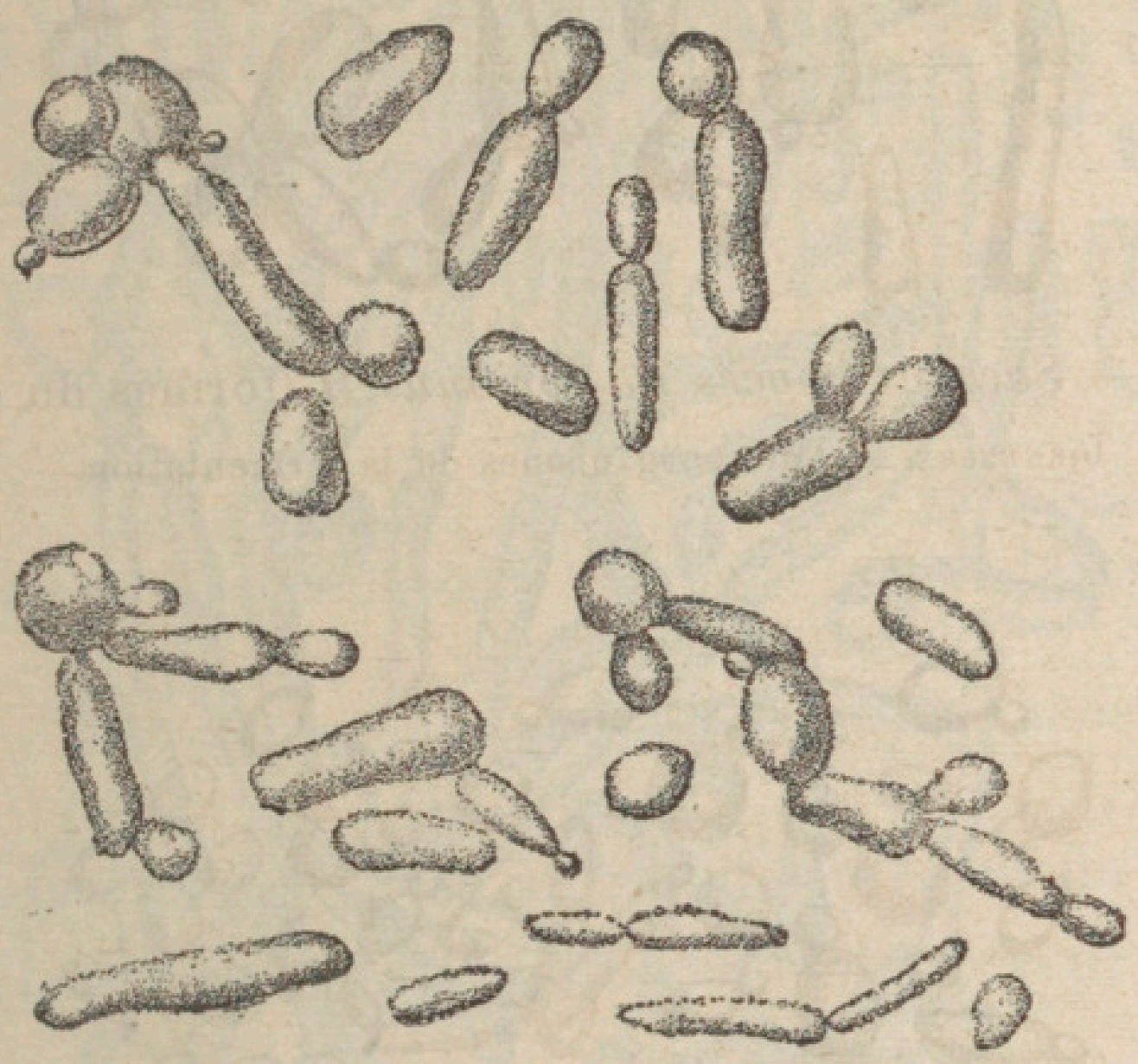


Fig. 24. — *Saccharomyces Pastorianus III* (formes du dépôt).

englobe toutes les levures de brasserie et de distillerie ; que ces dernières soient des races distinctes, ou simplement des variétés produites par l'adaptation à des milieux différents, cela n'a pas d'importance, et au point de vue pratique, on doit les considérer comme des individus distincts. De même le *Saccharomyces ellipsoideus I* existe sur les grains de raisins, c'est donc un type de levure de vin, et comme à chaque cru semble répondre une race spéciale de levure, on voit

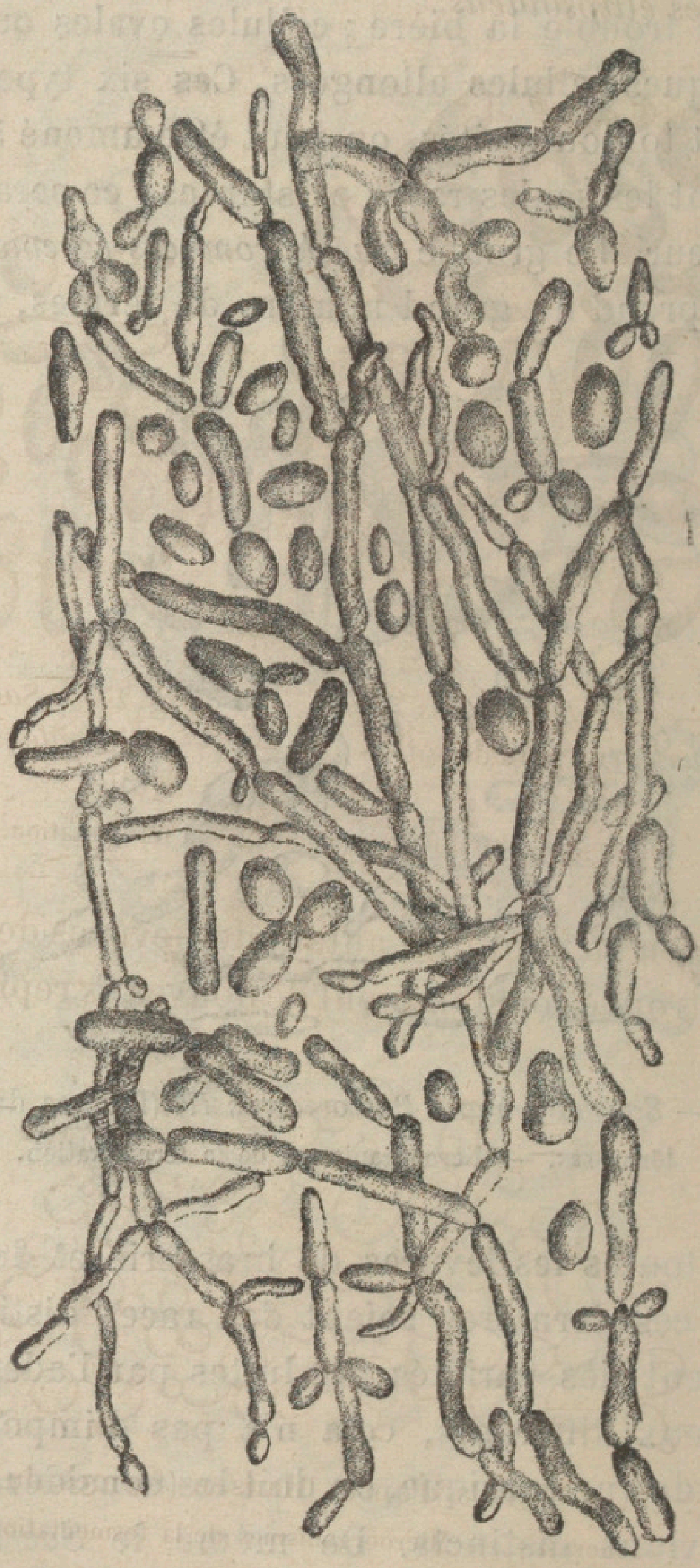


Fig. 25. — *Saccharomyces Pastorianus III* (formes du voile).

combien d'espèces peut comprendre le groupe des *Saccharomyces ellipsoideus*.

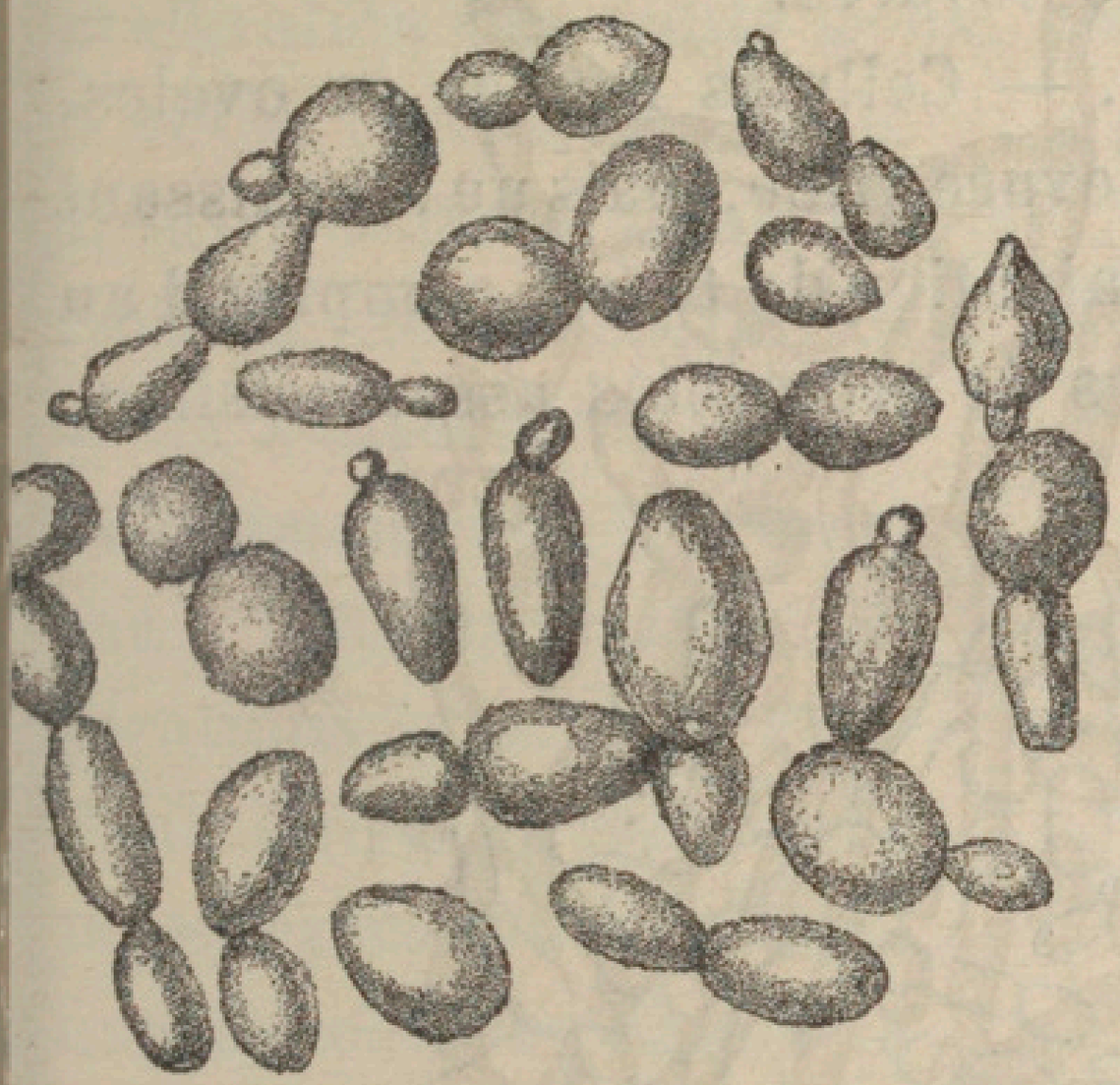


Fig. 26. — *Saccharomyces ellipsoideus* (formes du dépôt).



Fig. 27. — *Saccharomyces ellipsoideus* (formes du voile).

Enfin, on en peut dire autant des levures de maladies, dont on trouve constamment de nouveaux représentants.

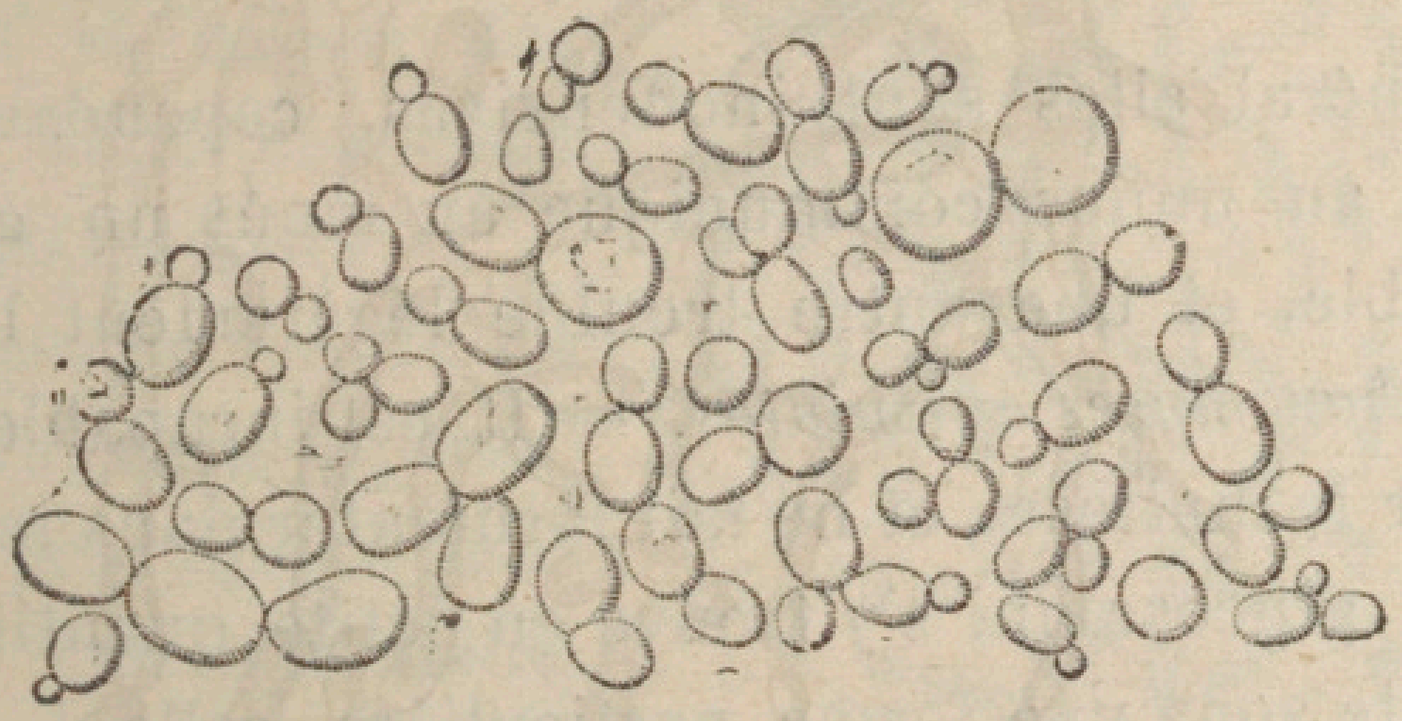


Fig. 28. — Torula d'après Hansen (formes du dépôt).

ESPÈCES SE RAPPROCHANT DES LEVURES ALCOOLIQUES. — Nous citerons trois de ces espèces très communes : les

torulas, le *Saccharomyces apiculatus*, les *mycodermes*. Aucun de ces ferments ne donne une fermentation aussi complète que les vraies levures.

Torulas (fig. 28 et 29). — Cellules rondes ou ovales, ressemblant à celles de levure vraie, mais ne fournissant pas de spores. La dénomination de torula comprend au moins huit à dix espèces de propriétés assez voisines.

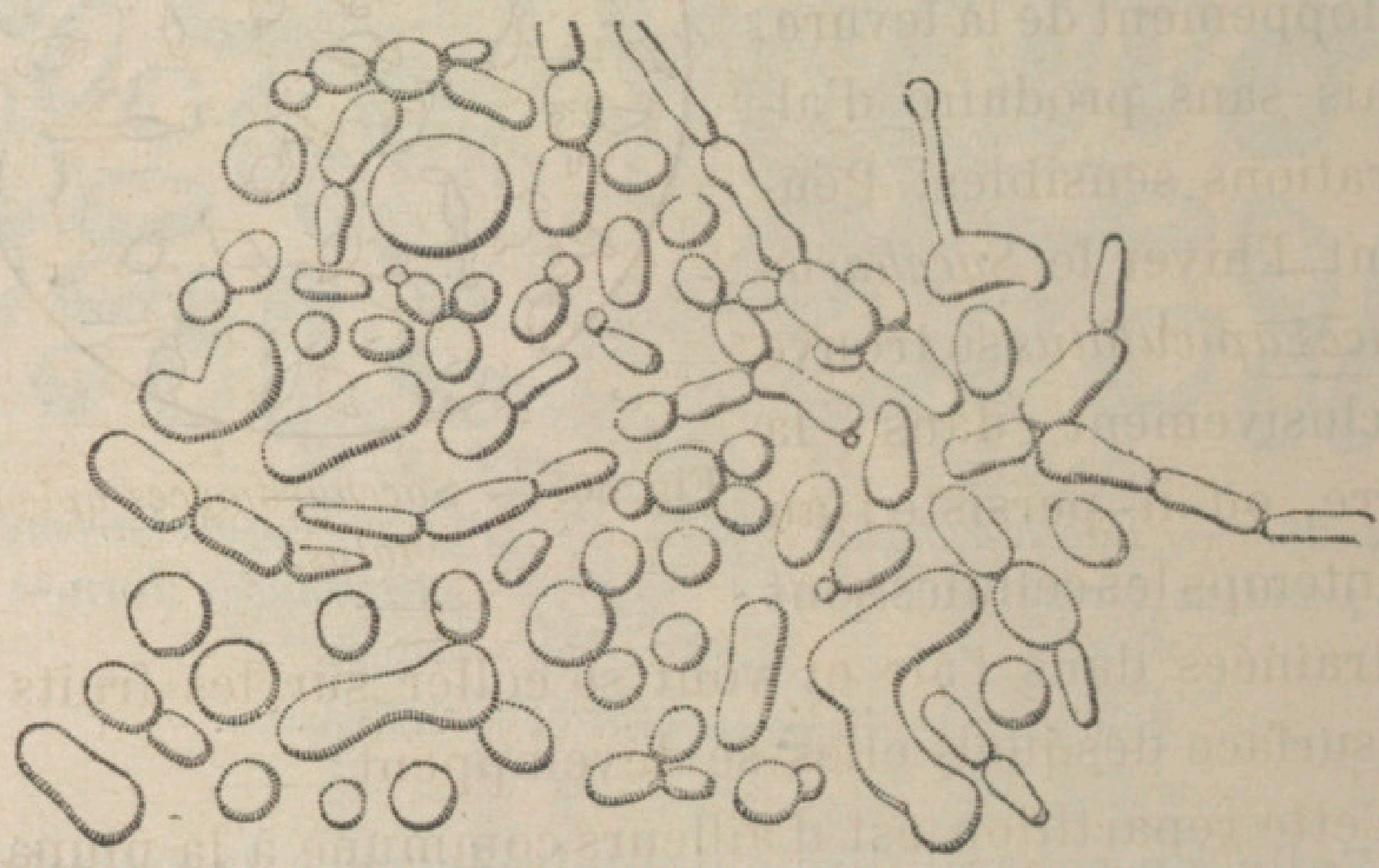


Fig. 29. — Torula d'après Hansen (formes du voile).

En général elles sont inoffensives, cependant l'une d'elles au moins communique au moût un goût désagréable, et une autre trouble légèrement la bière.

Saccharomyces apiculatus. — Il est incapable de fermenter le maltose, et ne fait fermenter dans les moûts que le glucose qui s'y trouve en petite quantiié. Il se présente sous une forme particulière, celle de citron; le bourgeonnement se fait assez souvent à angle droit avec la cellule mère, mais tous les bourgeons n'ont pas la forme typique de citron (fig. 30).

L'*apiculatus* se trouve en abondance à la surface des

grains de raisin et des fruits mûrs; on le rencontre aussi en grande quantité dans l'air, au moment de la maturation des fruits doux, cerises, prunes, etc. C'est à cette époque qu'on le trouve souvent dans les levures de brasserie. Il gêne simplement le développement de la levure, mais sans produire d'altérations sensibles. Pendant l'hiver le *Saccharomyces apiculatus* se trouve exclusivement dans la terre, où il persiste; au printemps les cellules sont entraînées dans l'air et vont se coller sur les fruits à la surface desquels elles se développent.

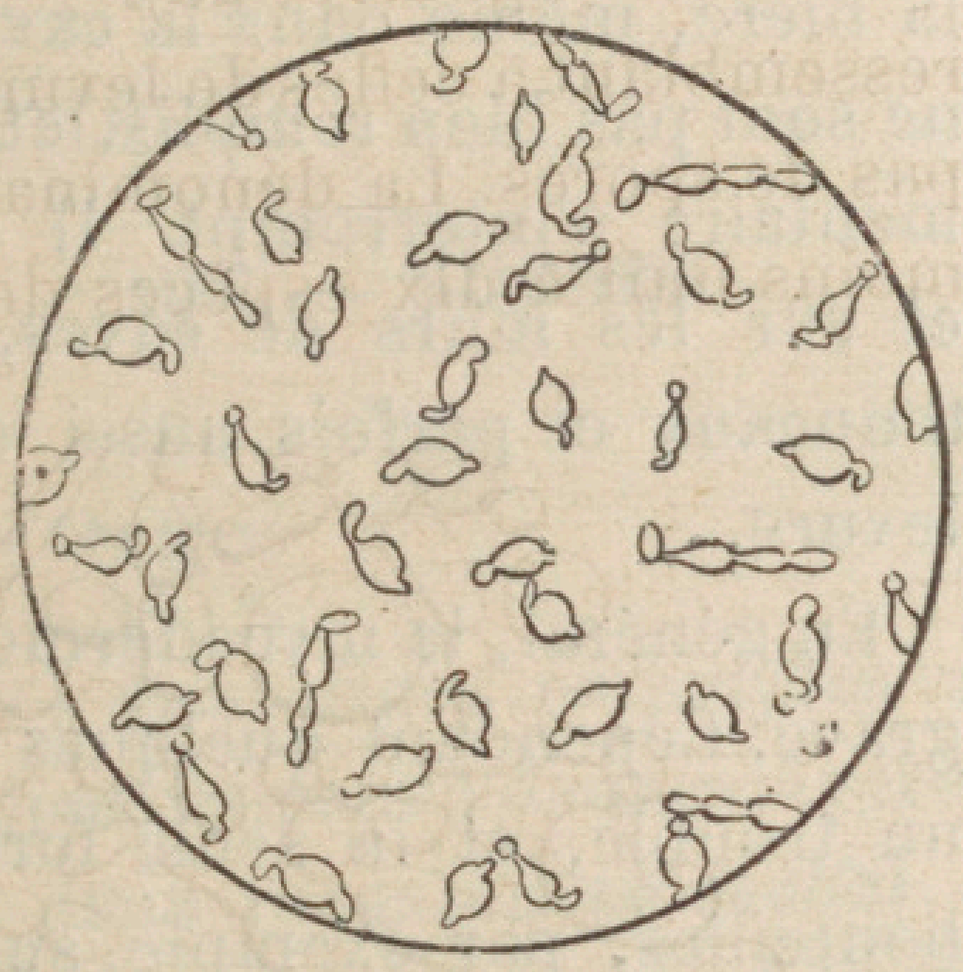


Fig. 30. — *Saccharomyces apiculatus.*

Cette répartition est d'ailleurs commune à la plupart des levures de maladie qui sont surtout abondantes à la saison des fruits et sont beaucoup plus rares en hiver.

Mycodermes. — Il en existe plusieurs espèces, les unes provoquant dans le moût une très faible production d'alcool, les autres sans action sur les sucres. Les mycodermes se présentent sous forme de cellules ovales ou allongées, qui se reproduisent par bourgeonnement et for-

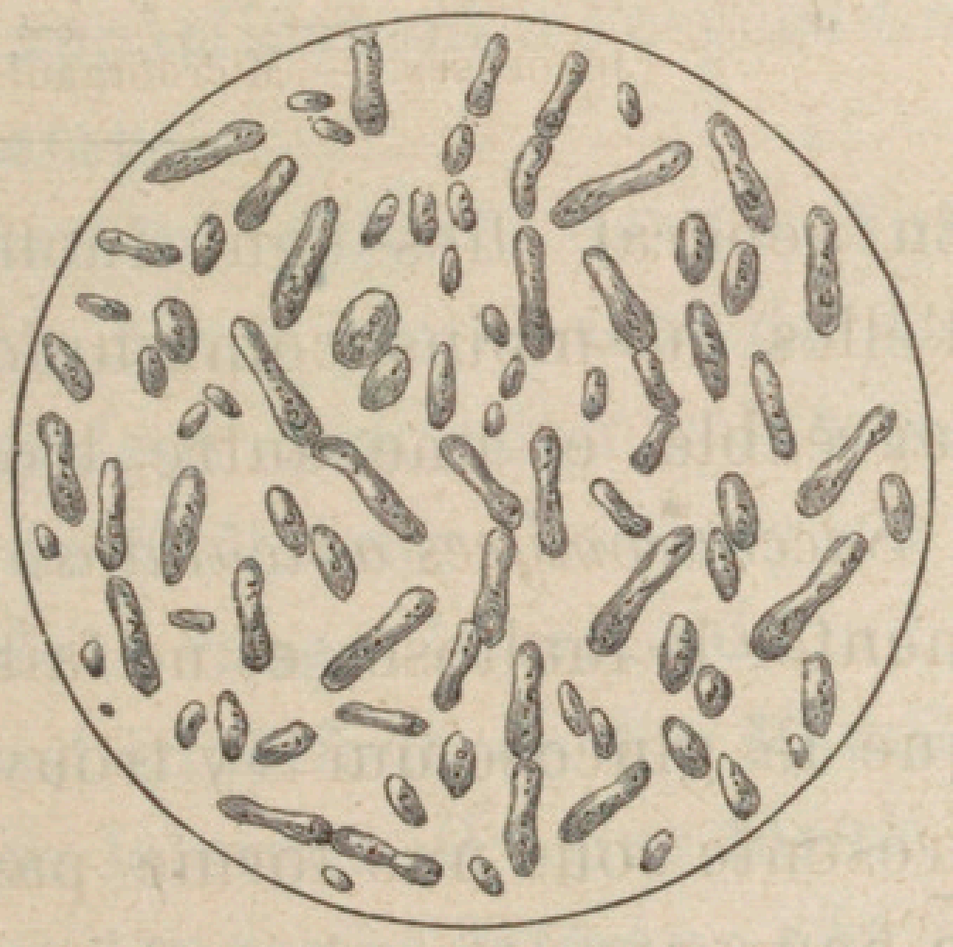


Fig. 31. — Mycoderme.

ment à la surface des liquides un voile blanc ou grisâtre (fig. 31).

Le mycoderme se développe très aisément dans la bière, même dans la cave de garde, si les tonneaux ne sont pas bien remplis, et si la fermentation complémentaire s'interrompt. Il existe toujours dans l'air et sur les murs de caves, au bord des bondes des tonneaux et parfois aussi en petite quantité dans la levure.

En général, le mycoderme ne produit pas d'altération grave. Cependant quelques espèces paraissent donner un trouble, et la seule formation du voile dans les bouteilles, par exemple, suffit à rendre la bière invendable.

CHAPITRE II

ORGE. — MAÏS. — RIZ. — SUCRES

I. — Orge.

Principales espèces. — Les orges employées en France pour le maltage appartiennent à deux catégories principales : les orges à deux rangs ou *paumelles*, et les orges à six rangs ou *escourgeons*. Cette dernière espèce comprend comme variété les orges dites à quatre rangs ou carrées.

Les orges à deux rangs sont les plus employées ; elles se distinguent en général par la région d'où elles proviennent, Hongrie, Moravie, Champagne, Sarthe, etc. ; ces orges, qui en France appartiennent à l'espèce *Chevalier*, se sèment au printemps.

Les escourgeons sont surtout cultivés dans le Nord, en Auvergne et en Vendée. Leurs grains sont de deux espèces, à cause de leur mode d'association trois à trois dans l'épi, ce qui permet de distinguer l'escourgeon en mélange avec les orges à deux rangs : le grain du milieu est plus gros, son poids est supérieur de 8 à 10 milligrammes à celui des grains latéraux, il a une forme un peu en losange, tandis que les grains latéraux ont des arêtes courbes. On considère souvent les escourgeons comme plus pauvres en amidon que les orges à deux rangs, quoique cela ne soit pas toujours exact.

La qualité des orges dépend beaucoup de la nature du sol et du climat. Ainsi les orges de Moravie et de Hongrie ont une réputation universelle qu'elles doivent à la régularité du grain, à leur richesse en amidon et à leur pauvreté en matières azotées. Ces mêmes orges, transportées en France, donnent à la première récolte des grains pailleux, irréguliers, contenant presque le double d'azote que la semence et de 10 à 15 p. 100 d'amidon en moins.

Dans une même région, les engrais chimiques et spécialement l'association du nitrate de soude et des phosphates, augmentent notablement le taux d'azote ; la même action est exercée par les années sèches comme 1893 par exemple. La récolte 93 en Champagne a donné en effet des orges aussi azotées que les orges de Moldavie et de Russie ; il est vrai que cet accroissement a été favorisé par l'emploi des engrais chimiques qui va en se généralisant de jour en jour.

La date à laquelle l'orge de printemps est semée a aussi une grande importance ; des expériences faites pendant plusieurs années par Jentys à Cracovie, lui ont montré que pour une même semence, dans un sol non fumé, le taux de matières azotées de la récolte pouvait varier de 12 à 18 p. 100 suivant que les semailles étaient faites au commencement d'avril ou dans les premiers jours de mai.

On attache généralement une grande importance à la nature farineuse ou glacée des grains d'orge, et l'on considère en général les grains glacés comme plus riches en azote. Il semble que ce soit là un préjugé, et que l'on doive attribuer le glaçage, non à une proportion plus forte de matières azotées, mais simplement au degré

de maturation, sans que ce caractère ait d'influence sensible sur la qualité du malt.

Outre les orges à deux rangs qui appartiennent à l'espèce *Chevalier*, on a essayé d'autres variétés. L'orge *céleste* ou orge nue, par exemple, contient beaucoup d'amidon, parce qu'elle a des enveloppes extrêmement minces, la première manque même complètement. Mais cette espèce, qui convient bien pour le travail des grains crus, ne peut être maltée, elle se gorge d'eau pendant la trempe et tombe alors en deliquescence au lieu de germer. De plus les drèches forment une couche extrêmement compacte qui laisse difficilement filtrer le moût.

Les orges d'Afrique ont précisément le défaut opposé, elles possèdent des enveloppes très dures et très épaisses, et sont en même temps que pauvres en amidon, très riches en matières azotées; leurs enveloppes forment ou bien une couche trop poreuse dans la cuve matière, ou si elles ont subi plusieurs cuissons, elles se feutrent et retiennent un volume considérable de moût, de sorte que le rendement pratique est médiocre.

Les escourgeons exotiques de Roumanie, Moldavie ou Russie sont de qualité très inégale ; les conditions de récolte sont d'ailleurs souvent défectueuses, et les orges fréquemment mouillées sur champ, après la récolte, ce qui leur donne une couleur brune ; pour la faire disparaître, on les soufre, ce qui n'est pas sans inconvénient pour la germination. Les silos où l'on conserve ces orges sont en général mal installés, et il n'est pas rare d'en rencontrer de moisies; j'ai eu l'occasion d'en examiner, qui au germoir prenaient une coloration noire, par suite du développement de moisis-

sures. Enfin ces orges sont souvent mélangées à de vieilles orges, et on les accuse de donner à la bière un goût particulier, et de la rendre moins solide à cause du taux élevé de matières azotées de l'orge. Ces deux reproches sont quelquefois fondés, mais il serait injuste de l'appliquer à toutes les orges exotiques, quelques-unes étant fort belles et de bonne qualité, mais on ne peut jamais espérer retrouver toujours la même qualité même pour des orges de provenance déclarée identique.

Composition de l'orge. — La composition chimique de l'orge varie dans des limites très étendues: rapportées à 100 grammes d'orge absolument sèche, les proportions se présentent de la façon suivante :

Amidon.....	de 58	à	73	p. 100
Matières azotées.....	de 8	à	17	—
Cendres.....	de 1,8	à	3,5	—
Acide phosphorique.....	de 0,6	à	1,15	—

Pour ce dernier élément, d'une importance considérable pour la nutrition de la levure, on peut obtenir des chiffres beaucoup plus bas, ainsi dans l'orge d'Anatolie, espèce escourgeon, Reinke n'a trouvé que 0,07 p. 100 d'acide phosphorique, c'est-à-dire 1/10 du minimum indiqué pour les orges européennes.

La quantité d'eau varie d'une manière assez forte : de 15 à 18 p. 100 au moment de la récolte, elle tombe progressivement à 12 p. 100 après quelques mois. Cette évaporation d'eau, pendant la conservation, est accompagnée de modifications profondes dans la constitution du grain, puisque celui-ci incapable de germer de suite après la récolte, acquiert cette faculté à une manière de plus en plus générale, à mesure que l'orge achève de mûrir dans les greniers.

Le nombre des grains capables de germer sur 100, ce qu'on appelle le *pouvoir germinatif*, d'abord très faible après la récolte, atteint pour nos orges de pays, 80-85 p. 100 au mois d'octobre, pour arriver à 95-98 à la fin de décembre. Les orges de Hongrie étant récoltées beaucoup plus tôt ont déjà vers le 15 septembre un pouvoir germinatif voisin de 95.

Caractères d'une bonne orge. — On cherche d'abord comme *caractères extérieurs*, la régularité des grains, qui doivent être d'une couleur franche, sans points bruns, sans piqûres dans les balles, ce qui indiquerait la présence de parasites. L'odeur doit être très franche sans soupçon de moisi et l'on ne doit trouver que très peu de graines étrangères et notamment d'avoine. La régularité du grain a une grande importance, pour le travail du malteur, puisque c'est une garantie que l'orge est bien formée d'une sorte unique et non d'un mélange d'orges de diverses provenances, qui se comporteraient d'une manière différente pendant la trempe et la germination.

Le pouvoir germinatif, c'est-à-dire le nombre de grains qui germent sur 100 doit être aussi élevé que possible, et non inférieur à 95. Ce nombre peut être déterminé aisément en faisant tremper deux à trois cents grains dans l'eau pendant vingt-quatre heures, en les plaçant entre deux feuilles de papier buvard que l'on maintient humides et que l'on place dans un local à douce température, une chambre d'habitation par exemple ; au bout de quatre jours on compte le nombre de grains qui commencent à germer, et on en détruit le pouvoir germinatif.

L'orge la plus riche en amidon est la plus avan-

tageuse; quant au taux de matières azotées, on admet généralement qu'il le faut aussi bas que possible et n'excédant en aucun cas 12 p. 100 rapportés à 100 grammes de matière sèche. Les orges les plus riches en amidon étant aussi les plus pauvres en matières azotées, on a ainsi une double raison de choisir ces dernières.

La connaissance du taux d'amidon est d'ailleurs utile, en ce qu'elle permet de contrôler le travail du maltage, et celle du taux d'azote, en ce qu'elle donne une utile indication sur la façon dont la germination doit être conduite.

II. — Maïs.

Le maïs ne peut être employé tel quel en brasserie parce qu'il contient une huile qui, chauffée au-dessus de 93° donne une odeur désagréable; il en résulte donc qu'on est obligé de débarrasser le maïs de la majeure partie de cette huile, d'ailleurs localisée dans le germe et dans l'enveloppe. Le brasseur doit faire grande attention à ce que le maïs contienne au plus 1 p. 100 de cette huile, et le meilleur sera celui qui en retiendra le moins; la présence de ce corps gras rend en effet les moûts troubles, et risquerait de donner au moût une odeur tout à fait désagréable.

On arrive à éliminer cette huile de deux manières; par la *germination* du maïs ou par un *travail mécanique* qui sépare les enveloppes du grain et surtout le germe.

Maltage du maïs. — La trempe doit être faite dans de l'eau assez chaude, elle dure vingt-quatre heures

avec de l'eau à 28-30° ; à 15° il faut la prolonger quarante-huit heures. La germination peut être faite sur germoirs à 28-30° ; mais elle réussit mieux dans les appareils pneumatiques et notamment dans les tambours Galland, elle s'effectue alors en cent soixante-cinq heures dont cinquante ou cinquante-deux heures à 20-24°, et cent quatorze heures à 26-30°, il est nécessaire de faire assez fréquemment un mouillage complémentaire avec un peu d'eau pulvérisée dans l'intérieur du tambour.

Travail mécanique. — Le maïs est concassé par son passage dans un tambour muni de lames tranchantes, puis il passe sur un blutoir, où un courant d'air aspire les parties les plus fines ; par une série d'opérations analogues, on sépare la farine en diverses catégories suivant la dimension des fragments (*grits*) et l'on sépare plus ou moins complètement le germe et l'écorce. Les farines les plus grossières sont les moins riches en graisse ; la teneur maxima de ces *grits* doit être 1 p. 100 de matière grasse ; on n'en rencontre que rarement moins de 0,5 p. 100.

Maïs pelliculé. — On a introduit depuis quelques années dans le commerce cette forme de maïs, de manière à faciliter le travail, et à le rendre possible, même en cuve matière. Les *grits* préparés comme il vient d'être dit, sont humectés avec de l'eau chaude, de manière à en faire une bouillie très épaisse ; on transforme ainsi partiellement en empois l'amidon du maïs. La pâte ainsi obtenue est ensuite passée entre des cylindres d'acier chauffés, qui réduisent la matière en rubans; ceux-ci sont enfin séchés à douce température.

La composition du maïs, soit brut, soit dégraissé est en moyenne la suivante :

	Maïs brut.		Maïs dégraissé.	
Eau.....	12,6	p. 100	12	p. 100
Amidon.....	65,67	—	77,59	—
Matières azotées.	9,80	—	8,75	—
Cendres	1,62	—	0,45	—
Matière grasse..	4,90	—	0,64	—

On peut admettre au point de vue du rendement que 100 kilogrammes de maïs dégraissé équivalent au plus à 110 kilogrammes de malt, et encore y a-t-il de bons malts qui donnent presque le même rendement que le maïs à poids égal.

Le maïs est très employé en Amérique, jusqu'à la dose de moitié du poids de malt mis en œuvre. Il donne des bières très pâles, de bonne conservation, et dont le caractère est déterminé par la méthode de brassage.

Maïs dextriné. — Autre forme que l'on introduit également en brasserie. Doit être envisagé comme un mélange de maïs malté avec du maïs pelliculé. Ce dernier prédomine de beaucoup, car le maïs dextriné ne se saccharifie pas lui-même, ni avec un poids égal de malt, même après une heure de digestion à 70°. La saccharification est au contraire assez rapide, quand le maïs dextriné a été préalablement transformé en empois. Ce genre de maïs contient environ 15 p. 100 d'humidité, et son rendement ne dépasse guère 65 p. 100. Il ne paraît donc pas d'un emploi très économique, à ses prix actuels, supérieurs, cette année, à ceux des malts qui donnent plus de rendement.

III. — Riz.

Le riz est employé assez fréquemment maintenant pour la fabrication des bières pâles, il fournit un haut rendement, à cause de sa teneur élevée en amidon; le riz est généralement très peu azoté ; il donne aux bières une saveur un peu douceâtre. Son principal inconvénient est l'action spéciale exercée sur les levures, qui dégénèrent rapidement après un petit nombre de générations ; les fermentations deviennent moins belles, l'atténuation plus faible. A la dose de 1/10 de riz pour 9/10 de malt, cet effet se produit déjà. Dans les brasseries, où l'on emploie 1/7 ou 1/6 de riz, la levure ne tient pas plus de six ou sept générations, après quoi on doit renouveler le levain. Malgré cela, beaucoup de brasseurs continuent à employer le riz, à cause du goût croissant pour les bières très pâles, et parce que, dans certaines régions, la clientèle s'est accoutumée au goût un peu fade des bières brassées au riz.

La composition du riz est en moyenne la suivante :

Eau	10,6	p. 100
Amidon	77,89	—
Matières azotées	2,19	—
Cendres	9,84	—
Matière grasse	0,75	—

On a attribué l'action nuisible du riz sur les levures au défaut d'acide phosphorique, mais il ne paraît pas, d'après Vuylsteke, que ce soit le vrai motif, car le riz contiendrait assez d'acide phosphorique pour la nutrition de la levure. On doit pourtant remarquer que le riz contient très peu de cendres, à peine 1/3 de la quan-

tité contenue dans l'orge, et que le taux d'acide phosphorique doit être proportionnellement abaissé, puisque les graminées contiennent toujours sensiblement en acide phosphorique 1/3 du poids des cendres.

Le riz est employé soit sous forme de brisures, de riz décortiqué, de farine de riz ou de riz pelliculé ; ce dernier est obtenu de la même façon que le maïs pelliculé et lui est à peu près équivalent comme rendement ; les farines de riz ont naturellement un rendement plus considérable, et sont de l'amidon presque pur ; elles sont fréquemment mélangées de fécule de pommes de terre ou de maïs.

Le travail du riz nécessite des précautions spéciales à cause de la température élevée à laquelle l'amidon du riz se change en empois, et de la facilité avec laquelle l'empois se prend en masse par refroidissement ; nous reviendrons sur ce point au chapitre du brassage.

Glucose.

Le glucose est le produit de l'action de l'acide sulfurique dilué et bouillant sur l'amidon ; celui-ci est fourni soit par la fécule de pommes de terre, soit par le maïs. Une fois la dissolution de l'amidon parfaite, et l'amidon disparu, on traite la liqueur par de la craie qui sature l'excès d'acide sulfurique, en passant à l'état de sulfate de chaux. La majeure partie de ce sulfate, peu soluble, se dépose, et peut être séparée par filtration ; mais le liquide sucré en contient encore des doses notables. On concentre le liquide sucré, jusqu'à commencement de cristallisation, ou à sirop (*sirops de glucose*). Après avoir séparé une première fois le glu-

cose, on concentre encore les eaux mères, pour avoir les glucoses ordinaires, qui se présentent sous forme de masse amorphe colorée en jaune brun.

Le traitement du maïs est à peu près identique, à cela près qu'il est souvent effectué par l'acide chlorhydrique, et dans les appareils à pression. La saturation se fait soit au carbonate de chaux (craie) soit au carbonate de soude (cristaux de soude). Il reste alors soit du chlorure de calcium, soit du chlorure de sodium (sel ordinaire) mais les proportions de ces deux sels sont bien plus considérables que celle de sulfate de chaux, à cause de leur solubilité bien plus grande.

Les glucoses massés sont les plus purs ; ils contiennent jusqu'à 80 p. 100 de glucose pur, mais ce ne sont pas les plus employés; le glucose courant titre de 50 à 65 p. 100 de glucose, il renferme en outre une forte proportion de dextrine et d'isomaltose (Fischer, Scheibler et Mittelmeier), des cendres et la plupart des impuretés de l'acide employé à la saccharification. C'est ainsi qu'on a trouvé, à une certaine époque, des glucoses contenant de l'arsenic provenant de l'acide sulfurique.

On trouve comme composition moyenne des glucoses massés :

Eau	12 p. 100
Glucose	50 —
Dextrine et isomaltose (produits infermentescibles)	24 —
Cendres	0,5 —

Les glucoses ordinaires contiennent ordinairement bien plus de cendres, et on rencontre des échantillons ayant jusqu'à 5 et 6 p. 100 de cendres formées presque uniquement de sulfate de chaux.

Quelle que soit d'ailleurs l'origine et la pureté des glucoses, on peut toujours leur adresser deux reproches :

1° Les glucoses ne contiennent pas de matières azotées, et par conséquent ils n'apportent à la bière aucun élément nutritif azoté. Comme ils remplacent une certaine quantité de malt, il en résulte un abaissement de la valeur alimentaire de la bière.

Les hygiénistes considèrent donc l'addition de glucose à la bière comme une sorte de falsification, d'accord en cela avec la législation allemande. Les plus modérés demanderaient que la bière glucosée fût tout au moins distinguée par une étiquette spéciale comme on le fait pour les vins de deuxième cuvée, aussi additionnés de glucose.

2° Les glucoses contiennent une proportion considérable de matières minérales, notamment de sulfate de chaux, avec de petites quantités de nitrate et de chlorure de calcium apportés par l'acide sulfurique. Ils peuvent également renfermer des sels de fer et de plomb, aussi provenant de l'acide sulfurique. Ces matières ne peuvent avoir qu'une action nuisible sur l'organisme, et par suite leur introduction dans la bière doit être déconseillée au point de vue hygiénique.

Le glucose a été employé d'abord à la fabrication des petites bières, de la même façon que dans la préparation des piquettes ; il a été utilisé ensuite dans le Nord, et quelques brasseurs s'en servent pour les bières peu alcooliques, et bon marché. Le glucose est d'un emploi très commode et très économique, surtout en pratiquant d'une certaine manière la décharge de droits ; le sucre fournit à la bière l'apparence d'une bière provenant d'un moût beaucoup plus concentré, et cela par la

simple introduction du glucose en chaudière, ou même dans les cuves ; mais on ne saurait considérer la bière glucosée comme une vraie bière.

Sucre de betteraves.

Le sucre non raffiné est utilisé en Angletere au lieu et place du glucose. On s'adresse d'ailleurs de préférence au sucre colonial, ou sucre de cannes, mais le sucre brut fabriqué en France avec la betterave, peut jouer exactement le même rôle, et il est plus pur.

La composition moyennne du sucre blanc n° 3 est la suivante :

Eau.....	0,5 p. 100
Saccharose.....	98 —
Sucre interverti.....	0,1 —
Cendres.....	0,05 —

On peut adresser au saccharose l'un des reproches que l'on fait au glucose : l'absence de matières azotées, mais il ne participe pas aux autres. En effet les cendres sont constituées par des sels organiques de chaux, de potasse provenant de la betterave, et sans effet nuisible, et la proportion de ces sels est tout à fait insignifiante.

Au point de vue hygiénique, il y a donc une supériorité manifeste du sucre non raffiné. Par la fermentation il paraît probable, d'après les propiétés connues du saccharose, que celui-ci ne fermente pas intégralement. Nous savons en effet que le saccharose doit être d'abord dédoublé par la levure en glucose et lévulose (1), ce

(1) Voy. Horsin-Déon.

dernier est beaucoup moins aisément fermentescible que le glucose, et certaines levures ne l'attaquent que lentement. D'autre part, le saccharose ne fermente facilement qu'avec une forte quantité de levure, et à température assez élevée. Il paraît donc vraisemblable, pour ces deux raisons, que le saccharose peut alimenter la fermentation complémentaire et laisser même dans la bière une substance comme le lévulose, de valeur alimentaire considérable au point de vue du travail et des fonctions respiratoires.

Ajoutons que, la fabrication du sucre se perfectionnant constamment, le sucre non raffiné contient de moins en moins de cendres, et que par conséquent la dernière objection des hygiénistes à la substitution du sucre raffiné au glucose tomberait.

Le seul obstacle à l'emploi du sucre brut en brasserie est actuellement son prix, augmenté considérablement par l'impôt ; mais cet obstacle disparaîtrait également, si les démarches faites pour obtenir dans ce cas la décharge des droits aboutissaient.

Mélasses.

La mélasse est le résidu de fabrication du sucre, elle contient encore 40 à 45 p. 100 de sucre. avec 5 à 7 p. 100 de sucre interverti, 8 à 10 p. 100 de cendres, et des matières azotées, telles que la bétaïne, qui ont une action nuisible sur l'organisme.

Elles ont une couleur foncée et un goût âcre particulier qui n'en permettent l'emploi que dans les bières communes. Si nous ajoutons à cela que les mélasses s'accumulent parfois pendant longtemps dans les sucre-

ries, qu'elles sont alors attaquées par toutes sortes de microorganismes, on jugera que leur emploi doit être repoussé complètement, et que les mélasses sont d'une utilisation dangereuse pour l'hygiène.

Autres produits.

Il existe dans le commerce un grand nombre de produits qui ont la prétention de remplacer le malt, et qui sont revêtus des noms les plus variés et les plus engageants. Chaque fois qu'il a été fait de ces substances un essai sérieux, et que leur composition a été connue, on a constaté que les merveilleux résultats promis étaient tout à fait illusoires, et que l'effet réel n'était nullement en rapport avec le prix d'achat. La majeure partie de ces produits, pour lesquels nous ne citons intentionnellement aucun nom, sont constitués par des sucres, glucose ou sucre brut, ou mélasse, quelquefois additionnés de sucres plus rares, comme le sucre de réglisse, plus ou moins dénaturés.

Il serait évidemment préférable que la bière ne fût fabriquée qu'avec du malt, avec, si l'on veut, du riz ou du maïs. Mais si, dans certains cas, le brasseur se trouve porté à introduire dans le moût des matières sucrées, qu'il donne la préférence à la substance la moins nuisible, et qu'il s'abstienne scrupuleusement même d'essayer les mille drogues lancées à chaque instant par les charlatans, qui s'intitulent pompeusement les bienfaiteurs de la brasserie, après l'avoir trompée.

CHAPITRE III

MALTAGE

Travail préliminaire de l'orge.

Triage. — L'orge telle qu'elle est livrée au malteur, contient une proportion assez notable de matières étrangères, graines d'autres espèces, grains d'orge brisés, pierres, qu'il convient d'éliminer. En effet les grains étrangers se retrouveraient dans le malt, et lui donneraient une apparence mal soignée qui en diminuerait la valeur ; il en est de même pour les pierres. Quant aux grains d'orge cassés, ils sont fréquemment couverts de moisissures, et peuvent apporter les germes de celles-ci aux germoirs, qui sont alors infectés, et communiquer ainsi une mauvaise odeur au malt.

Ce triage se fait au moyen de cylindres inclinés, à parois perforées et animés d'un mouvement de rotation, les grains les plus petits et les demi-grains passent à travers les trous et sont ainsi éliminés.

On fait aussi quelquefois en même temps un deuxième triage, qui sépare les grains d'orge suivant leur dimension. Cette opération, qui ne se fait que dans quelques malteries, trie l'orge en deux ou trois catégories de grains, et chacune est composée de grains ayant sensiblement la même dimension.

On est forcé, il est vrai, de germer séparément chacune des catégories d'orge. Mais cet inconvénient se rachète par une régularité beaucoup plus grande dans la trempe et la germination : les malts provenant d'orges de première catégorie, c'est-à-dire les plus lourdes, ont un rendement plus considérable, et l'augmentation de valeur qui en résulte compense le prix moins élevé attribué aux malts qui proviennent de la seconde ou de la troisième catégorie.

Pour que ce classement des orges ait une valeur réelle, il faut qu'il soit effectué d'une façon assez sévère, c'est-à-dire qu'on ne devrait pas admettre en général dans la première catégorie plus de 60 à 65 p. 100. des grains d'orge.

Nettoyage de l'orge. — L'orge apporte avec elle, outre des matières terreuses et des débris végétaux, une assez grande quantité de germes ; la plupart du temps ce sont simplement des spores de moisissures, mais dans quelques échantillons, j'ai pu observer un grand nombre de bactéries, et l'on a constaté que l'effet de ces bactéries se suivait non seulement jusqu'au malt vert, qui était d'une acidité anormale et mal développé, mais encore jusqu'au malt touraillé et jusqu'au moût. Dans plusieurs cas d'orges souillées de bactéries, le malt touraillé se dissolvait extrêmement mal, donnait des moûts très dextrineux de couleur rougeâtre, et les drèches brunes se putréfiaient rapidement en cuve matière même.

Pour ces diverses raisons ; il est bon de faire subir à l'orge, un nettoyage avant la trempe. Dans la plupart des cas, il est effectué dans la cuve de trempe même ; on fait arriver sur l'orge de l'eau de façon à la baigner,

et après deux à six heures, on fait écouler cette eau, qu'on remplace immédiatement.

Ce nettoyage, lorsqu'il est fait surtout dans les cuves carrées, avec vidange à la partie inférieure, et arrivée d'eau par le dessus, est à peu près illusoire : en effet l'eau qui contient en suspension les poussières adhérentes à l'orge, se filtre en s'écoulant sur la couche d'orge, qu'elle traverse, et rend aux grains la presque totalité des matières qu'elle avait enlevées.

Il serait préférable, à tous égards, de faire le nettoyage à part. Un grand nombre de procédés ont été proposés à cet effet. Le principe de beaucoup d'entre eux consiste à faire arriver l'orge et l'eau, dans une sorte de caisse, et à faire circuler ce mélange, à l'aide d'arbre à palettes ou de tubes inclinés avec des cloisons en chicane, de manière à assurer le contact de l'eau avec tous les grains, en même temps qu'une friction qui détache les poussières adhérentes. On sépare ensuite l'orge de l'eau, à l'aide de tamis, ou de canaux en tôle perforée.

Le nettoyage pourrait être fait utilement dans la cuve à tremper, si la vidange de l'eau se faisait par un trop-plein, à la partie supérieure, et l'arrivée par le bas, il y aurait ainsi un déplacement de l'eau sale par l'eau fraîche, et non plus une filtration de l'eau sale à travers la couche d'orge.

La purification des grains est d'ailleurs complétée, soit par l'emploi d'une petite quantité de chaux à la cuve de trempe, soit par l'emploi de l'acide sulfureux (procédé Kukla).

Trempe. — Le but de la trempe est de faire absorber au grain l'eau nécessaire à une germination limitée

telle que celle qui est obtenue dans le maltage; la proportion d'eau nécessaire, est en moyenne de 48 à 50 p. 100 du poids de l'orge non trempée. C'est-à-dire que si, par exemple, 1000 grains d'orge pèsent avant la trempe 46 grammes, ils pèseront pour une trempe convenable environ 68 grammes; l'eau absorbée est alors de 22 grammes, ou 48 p. 100.

La trempe s'effectue dans des cuves de deux formes principales, la plus employée en France est une cuve carrée à parois cimentées ou asphaltées, munie à la partie inférieure d'une vanne pour vider l'orge et d'un robinet d'écoulement de l'eau. A la partie supérieure de la cuve un tuyau amène l'eau fraîche.

L'autre forme est la cuve à fond conique (fig. 32). Elle se fait en fer et en cuivre, on peut également la

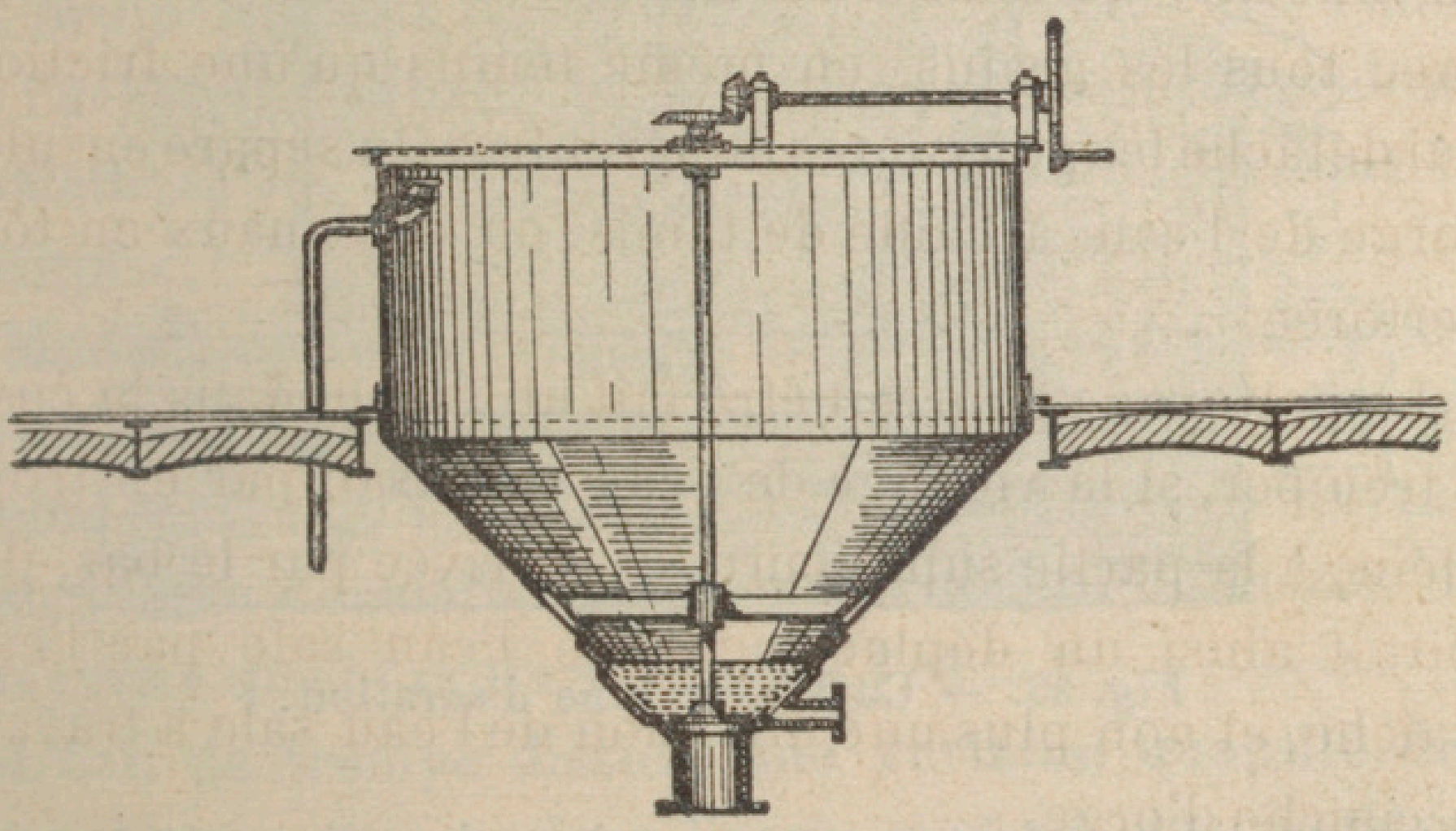


Fig. 32. — Cuve à tremper, cylindre conique avec soupape (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville).

construire carrée mais toujours à fond conique. L'eau de trempe s'écoule par le tube latéral, de sorte que l'eau n'est pas obligée de filtrer à travers toute l'orge, comme dans le système à cuve carrée, de plus comme

ce tube dépasse le niveau du grain dans la cuve, l'eau qui recouvre ces grains, et qui est la plus souillée, s'écoule sans avoir le contact des grains. L'eau fraîche arrive de même par le dessous; elle provoque donc un nettoyage nouveau des grains, et tous ceux-ci reçoivent de l'eau fraîche et aérée.

Aération pendant la trempe. — L'oxygène n'est pas moins nécessaire que l'humidité à la germination régulière et normale; il faut que l'orge emprunte cet

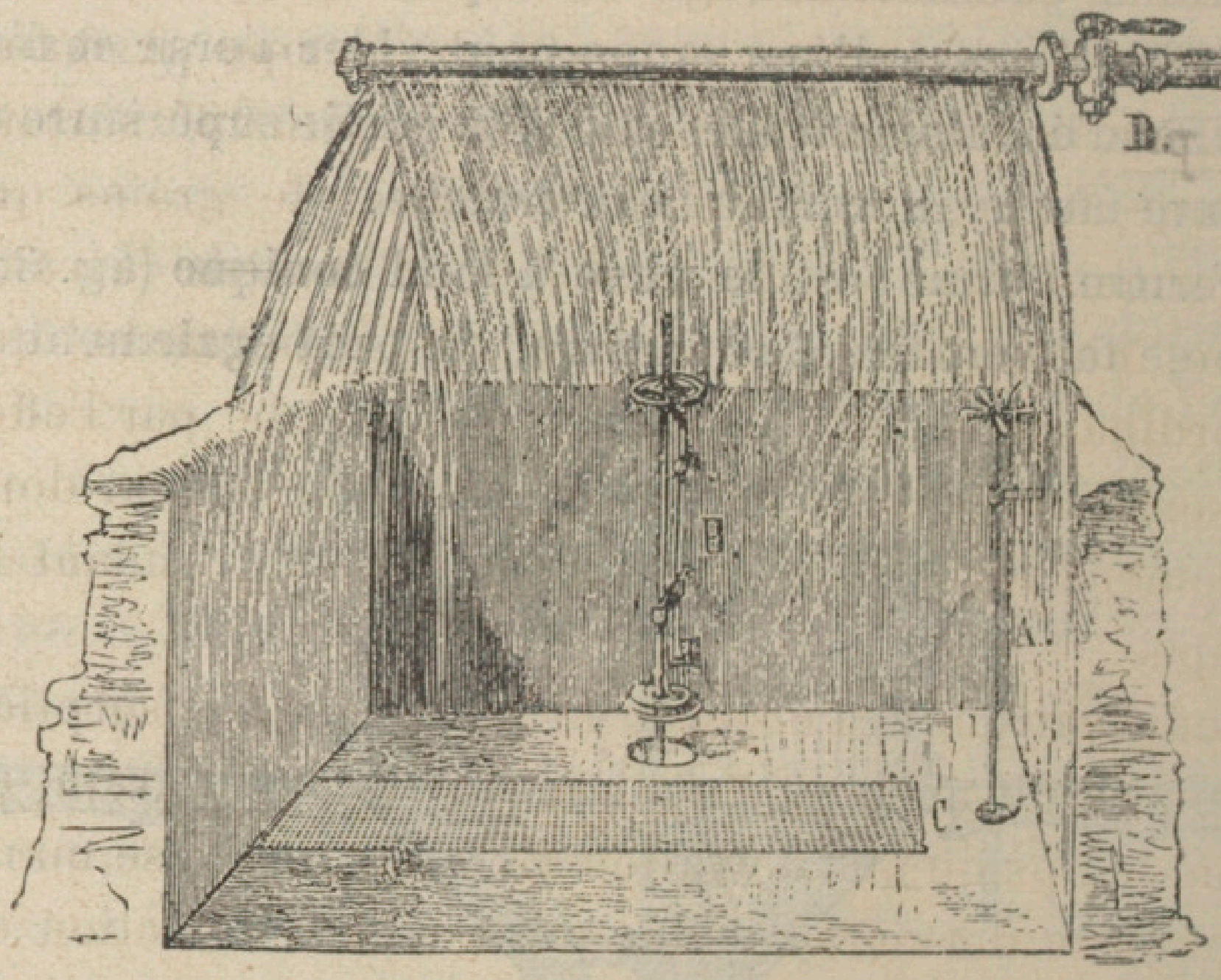


Fig. 33. — Cuve avec tube d'aération.

oxygène à l'eau de trempe; or, dans les dispositifs que nous avons cités, l'eau arrive telle qu'elle est sans avoir le temps de se saturer d'oxygène, puisqu'elle coule toujours à gros jet.

Pour saturer l'eau d'oxygène, deux procédés sont à employer, le premier consiste à faire arriver à chaque renouvellement l'eau fraîche par un tube perforé, occu-

pant toute la longueur de la cuve, et placé au-dessus d'elle; pendant la chute, elle a le temps de se saturer d'oxygène (fig. 33).

Un deuxième procédé, qui n'exige dans l'installation que peu de modifications, consiste à injecter directement de l'air dans la cuve au moyen d'un tube de métal, perforé, disposé en spirale au fond de la cuve; l'effet de l'air injecté est double: d'abord il sature l'eau d'oxygène, ensuite il produit une agitation de la masse de grains, et assure la régularité de la trempe.

L'effet de l'aération en cuve de trempe se manifeste par la régularité de la germination, et surtout par une forte diminution du nombre de grains qui ne germent pas, ou *manquants*. Au début de la campagne, notamment, le nombre des manquants, qui est ordinairement de 10 à 15 p. 100, tombe par l'effet de l'aération à 4 ou 5 p. 100 au plus. On obtient donc finalement un malt plus actif, en aérant pendant la trempe.

Modifications de l'orge par la trempe. — L'absorption d'eau produit un gonflement considérable du grain, en même temps qu'une élévation de température se manifeste. Cette dernière est due précisément à l'action de l'oxygène que le grain a enlevé à l'eau.

L'eau de trempe dissout une certaine quantité des principes contenus dans l'orge, surtout des matières minérales et un peu de matière azotée. La première eau enlève surtout des sels minéraux, la deuxième des quantités à peu près égales de matières minérales et organiques, enfin la troisième surtout des matières organiques.

La perte totale de l'orge est en moyenne de 0,7 p. 100

dont les 2/3 sont constitués par des matières minérales.

Les eaux douces, à degré hydrotimétrique faible, enlèvent plus de substance à l'orge que les eaux dures, et notamment que les eaux gypseuses, aussi préfère-t-on ces dernières en malterie, mais une eau propre quelconque peut être employée à la trempe, à moins qu'elle ne soit très infectée, souillée de matières organiques, d'ammoniaque, et chargée de moisissures ou de bactéries; on doit aussi rejeter les eaux ferrugineuses, qui donnent à l'orge une teinte brune.

Changement d'eau. — L'eau de trempe se charge des germes adhérents à l'orge, et comme elle dissout une certaine quantité de sels, de sucre et de matière azotée, les germes se développent dans l'eau, qui a ainsi une tendance à se putréfier; pour éviter cette altération, qui serait fatale à l'orge, il conviendrait de changer souvent l'eau.

D'autre part, l'épuisement de l'orge par l'eau sera d'autant plus considérable que l'eau sera plus souvent renouvelée ; en effet il se produit une sorte d'équilibre entre l'eau qui environne l'orge dans la cuve et celle qui a pénétré dans le grain, et la dissolution de matières salines ou organiques cesse quand l'eau a sensiblement la même quantité de matières dissoutes à l'intérieur et à l'extérieur du grain. Si on introduit de l'eau fraîche, la dissolution recommence jusqu'à un nouvel équilibre. De là la nécessité de ne pas changer trop fréquemment l'eau.

Pour tenir compte de ces deux nécessités opposées, on change l'eau tantôt chaque vingt-quatre heures, tantôt, et c'est là une solution préférable, chaque douze heures.

Emploi de la chaux. — Pour éviter les moisissures au germoir, et pour prévenir le développement de bactéries, apportées quelquefois par l'orge, on se trouve bien d'introduire un peu de lait de chaux dans la cuve, environ 5 litres de lait très clair par 10 quintaux d'orge, ce qui représente 200 à 250 grammes de chaux par mètre cube d'eau.

Lorsqu'on l'emploie au premier lavage, il convient de laisser en contact seulement trois à quatre heures, puis de renouveler l'eau, en ayant soin d'entraîner la chaux.

Si on introduit la chaux dans l'eau de deuxième trempe, il faut encore apporter plus de soin au lavage ; ce serait même préférable, de faire couler cette deuxième eau, d'en introduire de nouvelle en agitant la masse et de faire écouler encore presque immédiatement. C'est seulement après cela qu'on fait arriver la dernière eau.

Durée de trempe. — Influence de la composition et de la température de l'eau. — On considère une trempe de cinquante heures comme très courte, et une durée de cent vingt heures comme très longue ; c'est entre ces limites que doit être comprise la durée de trempe.

Plus l'eau est à basse température, plus on doit augmenter le temps de trempe, pour une même orge. Une eau dure demande une trempe plus longue qu'une eau douce.

Enfin il est clair qu'une orge à balles très minces absorbera bien plus rapidement de l'eau qu'une orge à balles épaisses, il faut naturellement aussi tenir compte de cette considération.

Contrôle de la trempe. — Caractères de l'orge trempée. — Les caractères pratiques auxquels on reconnaît que la trempe est suffisante, sont les suivants :

1° Le grain s'écrase quand on essaye de le couper.

2° Si on l'ouvre, il ne reste plus au centre qu'un petit noyau d'amidon non mouillé, gros comme un tête d'épingle.

3° Un grain coupé, laisse une trace blanche comme de la craie quand on le frotte contre du bois.

Ces caractères suffisent au praticien expérimenté, mais ils peuvent être en défaut, et il est préférable de recourir à un contrôle plus certain. Nous avons dit que la quantité d'eau absorbée devait être d'environ 48 à 50 p. 100 à la fin de la trempe. Supposons qu'avant la trempe, on ait pesé mille grains d'orge, et que l'on répète cette opération à divers moments de la trempe ; on saura chaque fois la quantité d'eau absorbée et quand elle aura atteint 48-50 p. 100, il sera temps de faire passer l'orge au germoir. Il faut avoir soin avant de peser l'orge trempée de l'égoutter entre deux feuilles de papier buvard, pour la débarrasser de l'eau qu'elle retient mécaniquement.

Il existe du reste des dispositifs simples permettant d'effectuer ce contrôle plus facilement encore. Considérons un panier en toile métallique, dont la tare soit faite ; on y pèse 10 kilogrammes d'orge, et l'on plonge le tout dans la cuve à tremper avec le reste du grain. Si l'on retire de temps à autre ce panier, qu'on le laisse égoutter quelques minutes, et qu'on le pèse de nouveau l'augmentation de poids donnera encore l'eau absorbée par 10 kilogrammes d'orge. Quand on procède de cette façon il faut admettre comme proportion d'eau conve-

nable, 54-55 p. 100, au lieu de 50 p. 100 parce que dans le panier l'égouttage est bien moins parfait qu'entre des feuilles de papier, et qu'il reste plus d'eau mécaniquement interposée.

Emploi de l'acide sulfureux à la trempe. — Procédé Kukla. — L'acide sulfureux exerce une action décolorante et antiseptique : de plus, à petites doses, il se transforme rapidement en acide sulfurique, et peut exercer une action favorable sur la germination. M. Kukla a proposé récemment d'ajouter à la première eau de trempe une quantité d'acide sulfureux telle que l'eau en contienne 0,02 à 0,05 p. 100, déduction faite de ce qui est absorbé par les réactions chimiques sur les carbonates contenus dans l'eau. Cette addition peut être faite dans un réservoir contenant toute l'eau nécessaire à la trempe. Après un contact de quelques heures, on rince l'orge à l'eau fraîche, et l'on continue la trempe comme d'habitude.

On peut ainsi réduire de huit à dix heures la durée ordinaire de la trempe ; de plus le malt obtenu est beaucoup plus pâle, et l'on ne voit jamais apparaître de moisissures au germoir ; ce procédé permettrait sans doute aussi d'éliminer les bactéries dont nous avons signalé quelquefois la présence sur l'orge.

Observations sur la trempe de l'orge. — Dans les conditions où elle est ordinairement pratiquée, la trempe n'est régulière que si les grains sont aussi identiques que possible ; il est évident en effet que si le lot comprend des grains très différents comme dimensions, ou comme nature d'orge, la quantité d'eau absorbée dans un temps donné ne sera pas la même pour tous.

Ce fait se reproduit même pour des lots de même provenance au début de la campagne de malterie; les grains sont en effet à des degrés de maturation très différents, même s'ils proviennent du même champ, la quantité d'eau qu'ils renferment est extrêmement variable, et l'absorption d'eau est nécessairement très inégale.

On se trouve donc en présence de deux alternatives : ou bien tremper assez longtemps pour que *tous* les grains aient absorbé 48 p. 100 d'eau au moins, et alors certains grains auront une dose d'eau plus considérable ; ou bien tremper de façon que les grains les plus perméables à l'eau aient seuls absorbé cette dose d'eau, et alors les grains les moins perméables ne contiendront pas assez d'eau pour effectuer leur germination.

Pour choisir entre ces deux parties, nous considérerons que la présence, dans une couche, de grains trop trempés a de multiples inconvénients. D'abord, ces grains moisissent aisément, leur développement n'est pas normal, puisque leurs radicelles et leur plumule poussent à la longueur habituelle, en cinq ou six jours au lieu de neuf qui sont habituellement nécessaires. On peut craindre enfin pour certaines orges, que les grains trop trempés ne tombent en bouillie sur le germoir.

Mouillage complémentaire. — Si, au contraire, il existe des grains dont la trempe ait été insuffisante, leur germination n'en commence pas moins normalement, et dès que celle-ci paraît se ralentir il suffit d'un arrosage en jet très fin de la couche, pour que ces grains absorbent une nouvelle quantité d'eau et reprennent leur marche. Les grains qui possèdent assez d'hu-

midité n'absorbent pas d'eau puisqu'ils ne sont pas baignés par elle, et que dans ces conditions l'eau est aspirée par les radicelles et non par le grain lui-même. Cette pratique se nomme *mouillage complémentaire*, nous y reviendrons à propos de la conduite de la germination.

Au début de la campagne, ou quand on trempe des orges mélangées, il faut donc donner une trempe courte, correspondant au plus à une absorption de 48 p. 100 pour les grains les plus faciles à tremper, et recourir ensuite s'il est nécessaire, au mouillage complémentaire. Dans quelques brasseries ou malteries, ce système est appliqué comme règle générale. La durée de trempe est de quarante-huit à cinquante heures, et l'on arrose toujours la couche au germoir, autant de fois que cela est nécessaire.

Orge fraîche. — Il est bien connu que l'orge de nos pays ne peut être germée que vers le mois d'octobre et encore le nombre des manquants est-il considérable, tandis que l'orge de Hongrie récoltée en juin, peut être travaillée vers le 15 septembre.

A mesure que l'orge avance en âge, sa germination est de plus en plus régulière, et l'on constate en même temps une diminution de son humidité, qui finit par tomber à 12 p. 100 environ.

En considérant la simultanéité de ces deux phénomènes, on avait pensé que la mauvaise germination de l'orge avait pour cause sa trop grande teneur en eau ; de là, l'idée de sécher à basse température l'orge fraîche ; pour cela on la passait dans une touraille avec forte ventilation, et en chauffant vers 30-35° ; dans d'autres systèmes, l'orge était entraînée sur une toile

sans fin, et on la faisait traverser par de l'air chaud. Cette dessiccation de l'orge ne paraît pas avoir donné de bien bons résultats, et cela n'est pas surprenant si l'on considère que pendant la conservation de l'orge, non seulement de l'eau s'élimine, mais que la composition chimique du grain se modifie ; il se dégage de l'acide carbonique, la proportion de sucre diminue, par suite de la respiration, c'est donc une vraie maturation complémentaire, que l'on ne peut espérer effectuer en quelques heures de dessiccation.

Germination.

Constitution du grain d'orge. — Si l'on coupe un grain d'orge suivant sa longueur (fig. 34), on aperçoit d'abord à l'extérieur deux enveloppes de couleur jaune que l'on nomme les *balles ;* à l'intérieur, le grain apparaît comme formé de deux parties, séparées l'une de l'autre par une ligne de cellules, dites en palissade et qui jouent un rôle très important dans la germination, d'après les travaux de Brown et Morris. La portion la plus étendue est une masse farineuse qu'on nomme l'*albumen* ou *endosperme ;* il est constitué par une infinité de grains d'amidon, chacun étant enveloppé d'une couche de matière plus dense et plus dure, analogue à de la cellulose. Dans l'endosperme existent aussi des matières azotées et des sels minéraux.

L'autre portion comprend le germe, constitué lui-même par quatre organes, la *radicule* qui donnera naissance aux radicelles, la *gemmule* qui fournira les feuilles, la *tigelle* qui est le rudiment de la tige, enfin le *scutellum*, qui s'appuie contre la couche de cellule

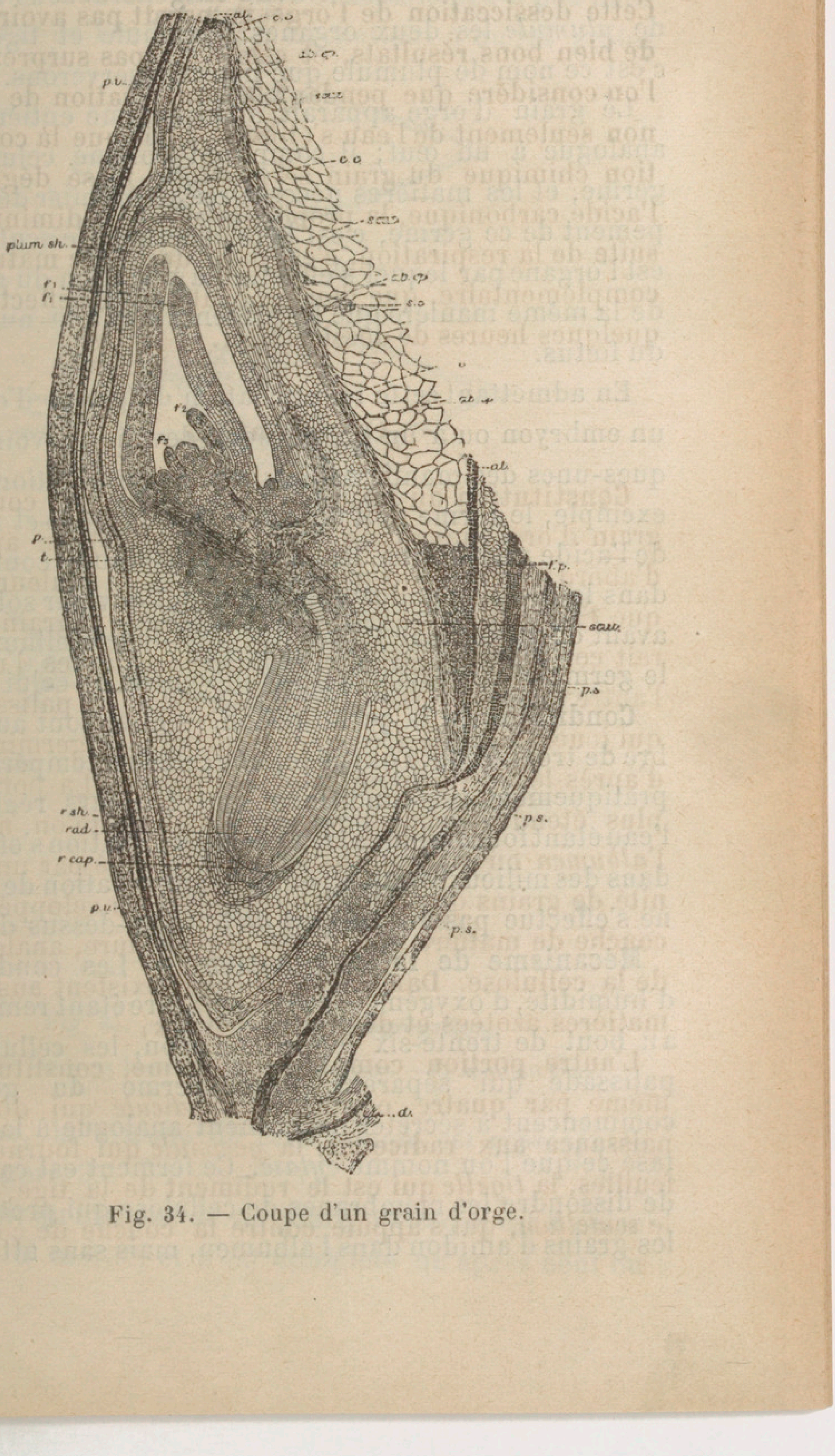


Fig. 34. — Coupe d'un grain d'orge.

dites en palissade. On confond en général sous le nom de *plumule* les deux organes, gemmule et tigelle, et c'est ce nom de plumule que nous conserverons.

Le grain d'orge apparaît ainsi comme entièrement analogue à un œuf; il comprend comme celui-ci un germe, et les matières nécessaires au premier développement de ce germe, c'est l'endosperme ; le scutellum, est l'organe par lequel s'effectue la nutrition du germe, de la même manière que le placenta sert à la nutrition du fœtus.

En admettant cette identification du germe d'orge, à un embryon ou à un fœtus, nous devons prévoir quelques-unes des manifestations de la germination : par exemple, le germe doit absorber de l'oxygène et rendre de l'acide carbonique, les matières insolubles contenues dans la réserve, endosperme, doivent devenir solubles, avant de passer par l'intermédiaire du scutellum dans le germe et de servir au développement de celui-ci.

Conditions de la germination. — Elles sont au nombre de trois; l'eau, l'oxygène, une certaine température: pratiquement ces conditions sont toujours réalisées, l'eau étant fournie par la trempe, la germination s'effectue dans des milieux ventilés ; enfin la germination de l'orge ne s'effectue pas au-dessous de 5° ni au-dessus de 40°.

Mécanisme de la germination. — Les conditions d'humidité, d'oxygène et de température étant remplies, au bout de trente-six heures environ, les cellules en palissade qui séparent l'endosperme du germe, commencent à sécréter un ferment analogue à la diastase cetque l'on nomme *cytase*. Ce ferment est capable de dissoudre les membranes de cellulose qui protègent les grains d'amidon dans l'albumen, mais sans attaquer

l'amidon lui-même ; la cytase se répand peu à peu dans l'intérieur de l'endosperme en mettant à nu les grains

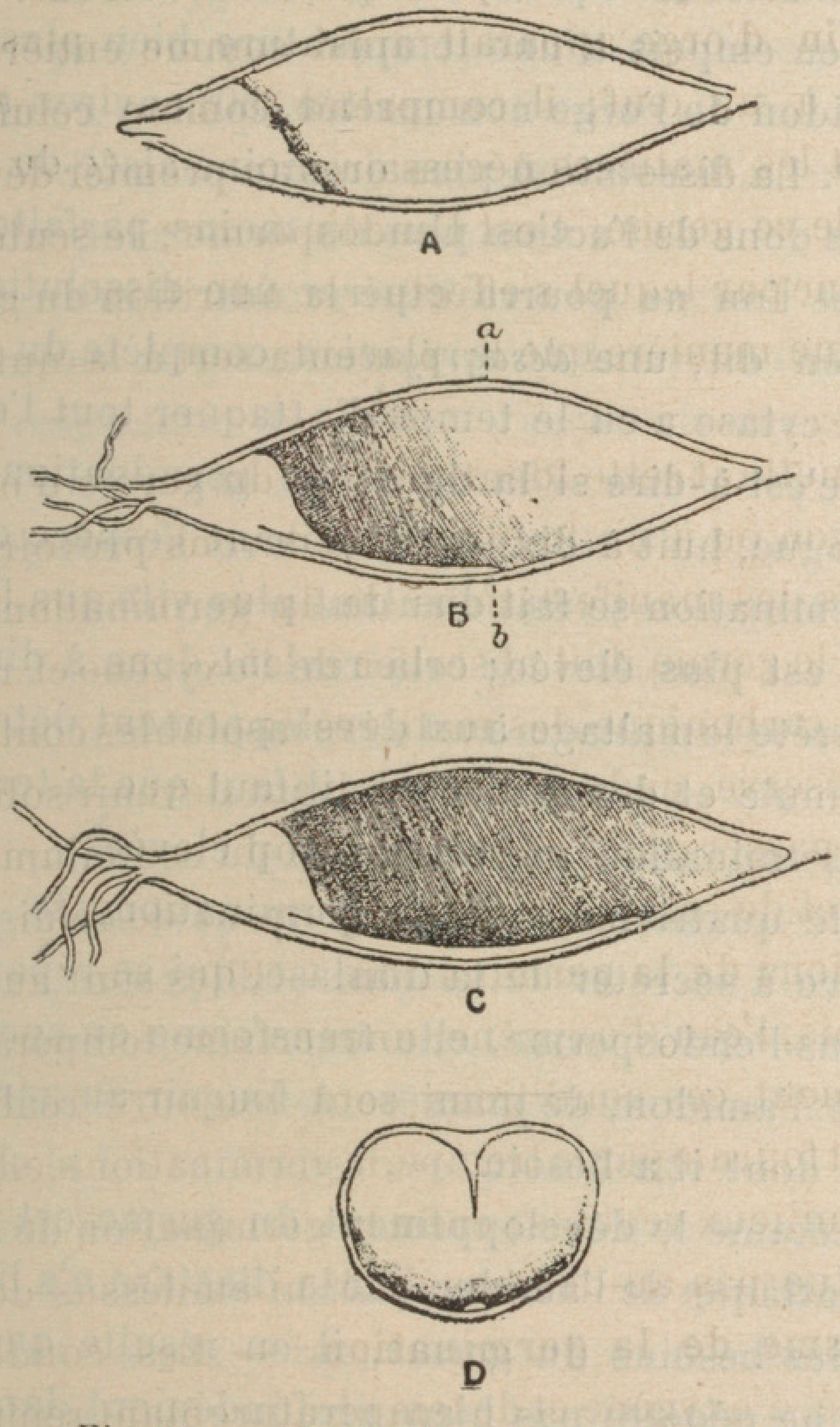


Fig. 35. — Marche de la désagrégation.

A, après trente-six heures. — B, après six jours. — C, après dix jours.

d'amidon, la marche de cette action est représentée sur la figure 35.

On voit qu'au bout de six jours, l'attaque est à peine poussée à moitié, et n'est complète qu'après neuf ou

dix jours. Cette action de la cytase est extrêmement importante, c'est elle qui rend l'amidon du malt capable d'être dissous rapidement par la diastase, et de se changer en empois à une température bien plus basse que l'amidon de l'orge non maltée, 50° environ au lieu de 65-70°. La dissolution plus ou moins aisée du grain, dépendra donc de l'action plus ou moins parfaite de la cytase, et l'on ne pourra espérer une dissolution, ou comme on dit, une *désagrégation* complète du grain, que si la cytase a eu le temps d'attaquer tout l'endosperme, c'est-à-dire si la durée de germination a été assez longue, huit à dix jours, suivant l'espèce d'orge. Or la germination se fait d'autant plus vite que la température est plus élevée; cela revient donc à dire que si l'on arrête le maltage à un développement déterminé de la plumule et des radicelles, il faut que la température de germination ne soit pas trop élevée.

Vers le quatrième jour de germination, le germe commence à sécréter de la diastase, qui se répand elle aussi dans l'endosperme, elle transforme en sucre une partie de l'amidon, de manière à fournir au germe les aliments dont il a besoin.

Mais comme le développement du germe est limité, et que l'attaque de l'amidon par la diastase n'a lieu que suivant les besoins du germe, il en résulte que cette diastase ne pénètre pas bien profondément dans l'endosperme et qu'il s'en concentre la majeure partie, soit dans le germe, soit dans l'endosperme au voisinage du germe.

Un autre ferment, appelé *peptase*, paraît également naître dans l'orge germée et attaquer les matières azotées de l'orge, qu'elle transforme surtout en *amides*.

Transformations pendant la germination. — Le germe respire comme tous les êtres, c'est-à-dire qu'il absorbe de l'oxygène, et le rend à l'état d'acide carbonique, après l'avoir employé à brûler, une partie du sucre mis à sa disposition par l'action de la diastase ; la perte d'amidon qui en résulte est d'environ 6 kilogrammes pour 100 kilogrammes de malt, mais elle varie suivant la nature de l'orge, et surtout suivant la température de germination. L'acide carbonique formé par la respiration du grain, s'accumule dans les couches, et exerce une action nuisible sur la régularité du développement, de sorte qu'on doit l'enlever de temps en temps, soit par ventilation, soit par le pelletage.

Pendant la germination, les matières azotées de l'orge subissent des transformations importantes, qui ont surtout pour objet de changer en matières solubles, et notamment en amides, les matières azotées insolubles de l'orge. La proportion d'amides, peut devenir, dans le malt, quadruple de ce qu'elle était dans l'orge ; cette transformation est également sous l'influence de la température — elle est d'autant plus complète que la plumule et les radicelles sont plus longues.

Comme les radicelles contiennent une très forte proportion de matière azotée, environ 20 p. 100, le malt provenant d'une orge, contiendra d'autant moins d'azote que les radicelles et la plumule seront plus développées.

Influence de la température. — La quantité d'acide carbonique dégagée par l'orge pendant la durée de germination, varie dans la proportion de 1 à 5, lorsque la température s'élève de 5 à 21 ; cela revient à dire que la perte d'amidon en passant de l'orge au malt

augmente fortement avec la température de germination.

A 12°7, la quantité de sucre formée et la proportion de matières azotées solubles non coagulables, atteignent la proportion maxima : à cette même température, le malt contient le maximum de diastase.

Pratiquement, jusqu'à une température de 16-17°, les proportions de ces substances ne s'éloignent pas beaucoup du maximum, mais au delà, l'énergie diastatique du malt, la teneur en matières azotées non coagulables diminuent rapidement, en même temps qu'on voit augmenter la perte en amidon par respiration.

Il en résulte que l'on peut obtenir le maximum de diastase en germant à 12°7 ou tout au moins au-dessous de 17°.

Il semble d'ailleurs très probable qu'à ces températures, l'action de la cytase soit plus énergique, et que par suite la désagrégation du malt, soit aussi plus complète.

Il y aurait donc tout avantage à conduire la germination lente et froide, pour le malt très riche en diastase, genre Pilsen.

Pendant la germination, l'acidité augmente notablement, par suite de la transformation des matières grasses ; ainsi dans le malt vert l'acidité est sensiblement double de celle de l'orge. L'augmentation d'acidité varie du reste avec la température et dans les couches conduites à température élevée l'acidité peut être une fois et demie celle des couches germées à plus basse température.

Perte d'eau. — La quantité d'eau absorbée par l'orge après la trempe est en moyenne de 48 p. 100, pendant

les premiers jours de la germination ; cette quantité augmente encore un peu, jusqu'à 54-55 p. 100 pendant les vingt-quatre à trente-six premières heures, ensuite elle diminue progressivement jusqu'à la fin. Au moment de passer à la touraille la quantité d'eau retenue n'est plus que de 20 à 25 p. 100.

Développement de la diastase. — Jusqu'au quatrième jour de germination, le malt vert ne contient que des traces tout à fait insignifiantes de diastase, ensuite celle-ci augmente rapidement jusqu'au moment où l'on arrête la germination.

Chaleur dégagée pendant la germination. — Pour obtenir 100 kilogrammes de malt sec, il faut perdre environ 11 kilogrammes d'acide carbonique par respiration, lesquelles proviennent de 6 kilogrammes amidon et 400 grammes de graisse en moyenne. La quantité de chaleur dégagée par la combustion de un kilogramme amidon étant de 4123 calories et par un kilogramme de matière grasse végétale, environ 9400 calories, la production des 11 kilogrammes d'acide carbonique répond à un dégagement de 28540 calories, capable, s'il n'y avait pas de déperdition, d'élever au moins de 250° la température de l'orge.

Cette quantité de chaleur peut être éliminée de trois manières :

1° par rayonnement ;

2° par conductibilité et par l'air ;

3° par évaporation de l'eau contenue dans le grain.

On ne peut songer pratiquement à employer exclusivement ni le premier, ni le troisième de ces procédés : en effet pour enlever par rayonnement une aussi grande quantité de chaleur, il faudrait étaler le malt

en couches très minces, ce qui exigerait une énorme surface de germoir.

L'évaporation de l'eau, ne peut alors plus servir d'une façon exclusive, car on dessécherait ainsi l'orge et le développement s'arrêterait.

La conductibilité par l'air est le moyen qui enlève le plus de chaleur, et on règle cet enlèvement au moyen de la ventilation. Pour éviter une trop forte évaporation d'eau, on emploie dans les systèmes pneumatiques, de l'air presque saturé de vapeur d'eau, à son entrée dans l'appareil. Bien entendu on profite aussi de la faible action du rayonnement.

Méthodes de maltage.

Germoirs. — Ils consistent en sous-sols ou caves, dont le sol est dallé, cimenté ou asphalté, les dalles paraissent le revêtement le meilleur ; le ciment lorsqu'il n'est pas neuf, présente aisément des fissures et absorbe alors l'humidité.

Ces germoirs doivent pouvoir être ventilés, et conserver une température aussi constante que possible ; les murs sont blanchis à la chaux, et tout le local maintenu dans un grand état de propreté pour éviter l'invasion des moisissures.

Ces germoirs sont placés directement au-dessous des cuves à tremper, et le contenu de celles-ci se déverse sur le sol des germoirs.

On étale l'orge en couches assez épaisses, ayant jusqu'à 40-50 centimètres de hauteur. Au bout de vingt-quatre à trente-six heures, l'orge *pique*, c'est-à-dire que les radicelles commencent à paraître à l'exté-

rieur. On suit l'échauffement du tas, ou comme on dit de la couche, au moyen de thermomètres coudés que l'on plonge jusqu'au milieu de la masse (les vieux praticiens se bornent le plus souvent à enfoncer la main dans la couche). Lorsque l'échauffement paraît devenir trop considérable, avec une pelle en bois on prend de l'orge, et on la jette latéralement, en même temps qu'on retourne la pelle. On produit ainsi un refroidissement suffisant du grain. La couche se trouve ainsi transportée par exemple vers la gauche ; on diminue la hauteur des couches, à mesure que l'échauffement devient plus considérable. Les pelletages sont plus ou moins fréquents suivant le genre de malt que l'on veut obtenir.

En même temps on surveille la longueur de la radicelle et de la plumule, et on cesse le travail, lorsque la plumule a atteint la longueur désirée, en général de un demi à trois quarts de la longueur du grain.

Nous citons comme exemple, la conduite d'une couche, avec les différentes données correspondantes.

Marche d'une couche au germoir.

Poids de 1000 grains d'orge..... 46gr,19
Poids de 1000 grains après 70 heures de trempe. 68gr,60
Eau absorbée..... 22gr,41
ou 48gr,52 p. 100.

Date.		Germination. haut. du tas.	Température. au bas.	au mil.	Poids. de 1000 grains.	Eau. absorbée.
8 janv.	7h matin.....	43c/m	11°,5	10°	71gr,36	
	1 pelletage de 7 à 8h matin.					
9 janv.	7h matin.....	38c/m	12°,5	14°,4	71gr,86	
	pellet. à 7h 1/2 et à 7h soir.					
10 janv.	7h matin.....	»	13°,7	21°	69gr,7	
	après pelletage à 9h30.		14°,4	17°,5		

Date.	Germination.	Température.		Poids.	Eau.
	haut. du tas.	au bas.	au mil.	de 1000 grains.	absorbée.
	1h soir.....		15°,5	20	
	pellet. à 1h,30.				
	8h,30 soir.....	25c/m	17°,5	23°,7	
	pelletage à 9h soir.				
11 janv.	4h,30 matin...	16c/m	21°,2	26°,2	65°,39
	pelletage.				
	9h,30 matin...		20°,7	23°,7	
	11h matin	17c/m	22°,6	23°,7	
	pelletage.				
	6h soir.....	13c/m	17°,5	22°,6	
	pelletage.				
12 janv.	5h matin.....	14c/m	19°,4	20°,6	62gr,13
	pelletage.				
	10h matin.....	12c/m	19°,4	20°,6	
	6h soir.....		18°,7	18°,7	
	pelletage.				
13 janv.	10h matin....	12c/m	17°,5	17°,6	61gr,75
	pelletage.				
14 janv.	10h matin....	13c/m	17°	17°	60gr,60
	pelletage.				
15 janv.	10h matin....				60gr,45
16 janv.					59gr,30

Maltage mécanique ou pneumatique. — Les germoirs doivent, comme nous l'avons dit, posséder une température peu élevée, de sorte que la campagne est forcément interrompue vers le mois de mai ou de juin au plus tard ; de plus dans les pays chauds, l'emploi des germoirs n'est possible que pendant un temps assez court. Si l'on persiste à malter avec des températures un peu chaudes, les moisissures se développent abondamment, la germination devient trop rapide et par suite la dissolution ainsi que le pouvoir diastasique défectueux.

Un autre genre de considérations intervient encore : pendant la germination, il y a un dégagement abondant d'acide carbonique, qu'il faut éliminer si l'on veut que

a respiration et par suite le développement du germe
e continue d'une façon normale; or, de même cette
roduction d'acide carbonique est accompagnée d'un
chauffement notable des couches; dans les germoirs,
n n'élimine l'acide carbonique et l'on ne refroidit les
ouches que par le pelletage, c'est-à-dire d'une façon
out à fait discontinue, de telle sorte que le développe-
nent du germe est tout à fait irrégulier. Après un pelle-
age, la respiration est normale, puis l'acide carbonique
'accumulant peu à peu, elle devient de moins en moins
ctive, pour reprendre ensuite brusquement après un
nouveau pelletage. Si l'on représente par des courbes
e dégagement d'acide carbonique et les températures
endant toute la germination, on a une série de chutes
correspondant aux pelletages, les diagrammes obtenus
ressemblent à une sorte d'escalier.

Ces diverses considérations montrent qu'au point de
ue de la perfection du travail, les germoirs ne cons-
ituent pas l'idéal, puisqu'ils demandent une main
l'œuvre considérable, des ouvriers expérimentés, et
ne marche discontinue de la germination. Il n'est
donc pas surprenant que l'on ait cherché à réaliser
l'élimination d'acide carbonique et le refroidissement
de l'orge, d'une façon tout à fait continue, par l'injection
d'air saturé d'humidité.

Il semble certain que la première idée de cette mé-
thode appartienne au Dr Baud de Contrexéville, mais
les premiers essais faits par lui à la Brasserie de Tan-
tonville ne donnèrent aucun résultat pratique; il est
vrai qu'il compliquait les essais par l'emploi d'une
trempe spéciale, avec du nitrate de potasse, sel dont
l'influence est peu favorable à la germination.

M. Galland reprit cette idée et installa à Tantonville de grandes cases, à fond perforé, dans lesquelles l'orge trempée était déversée. Pendant toute la durée de la germination, un courant d'air saturé d'humidité était aspiré à travers la masse. Les premières tentatives montrèrent que dans ces conditions la germination s'effectuait, mais les couches étaient prises en masse, et à la partie inférieure, on observait des radicelles longues de 30 centimètres, par suite du défaut de retournement (communication particulière de M. Saladin). M. Galland considérait l'injection d'air comme donnant une agitation suffisante. M. Saladin qui travaillait à cette époque avec M. Galland, eut alors l'idée de faire retourner les couches placées dans les cases, et il obtint ainsi une germination parfaitement régulière et normale.

Nous voyons donc que le principe de la germination pneumatique est le suivant : faire traverser constamment les couches d'orge par un courant d'air saturé d'humidité, et retourner les couches de temps en temps pour empêcher les radicelles de s'enchevêtrer. La production d'air saturé est réalisée par une tour à coke, ou remplie de bois ; à la partie supérieure, un distributeur laisse tomber en minces filets de l'eau à une température donnée, et l'air qui passe en sens inverse se sature d'humidité en prenant aussi la température de l'eau ; en hiver on réchauffe préalablement l'eau par une injection de vapeur, en été on l'emploie froide, de façon que la température de l'air soit de 14 à 16° au plus.

Le principe précédent est réalisé actuellement par un assez grand nombre d'appareils qui sont tous plus ou

noins imités des deux systèmes primitifs, tous deux français, les cases à germination de M. Saladin, et les ambours de Galland, avantageusement modifiés par M. Guérin, autrefois directeur de la *Société Strasbourgeoise de constructions mécaniques*, à Lunéville.

Système Saladin. — L'installation (1) d'une malterie d'après ce système (fig. 36) comprend trois cuves de

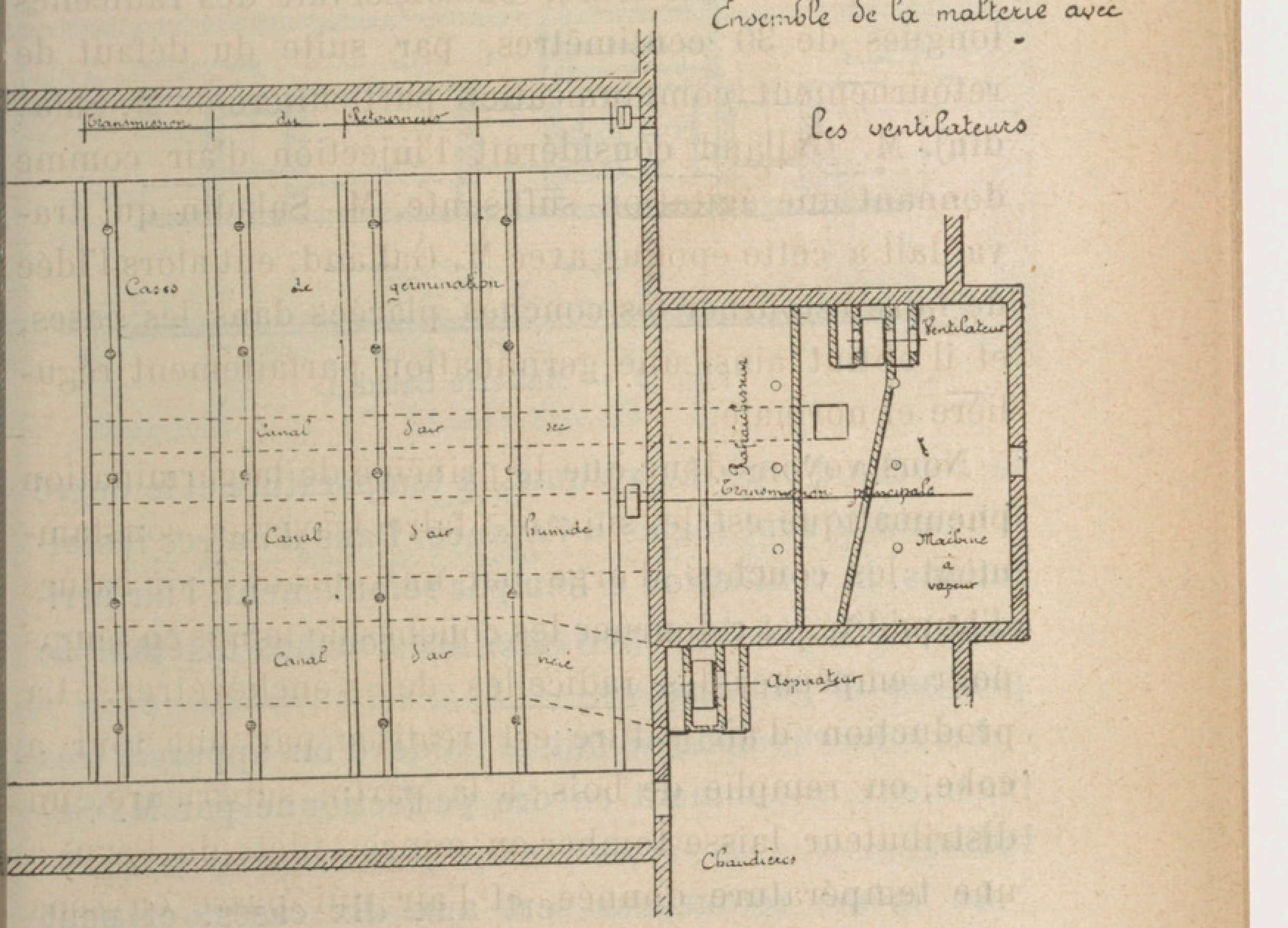


Fig. 36. — Malterie Saladin.

trempe, et dix cases de germination; celles-ci sont en tôle munies d'un fond en tôle perforée, placé à une hauteur assez grande au-dessus du sol pour que les ou-

(1) Les dessins (fig. 36, 37, 38), m'ont été obligeamment fournis par M. Saladin, ingénieur à Nancy.

vriers puissent pénétrer au-dessous du fond, celui-ci se démonte d'ailleurs par sections. L'air saturé d'humidité arrive par un canal placé entre deux cases, et il est aspiré à la partie supérieure après avoir traversé toute

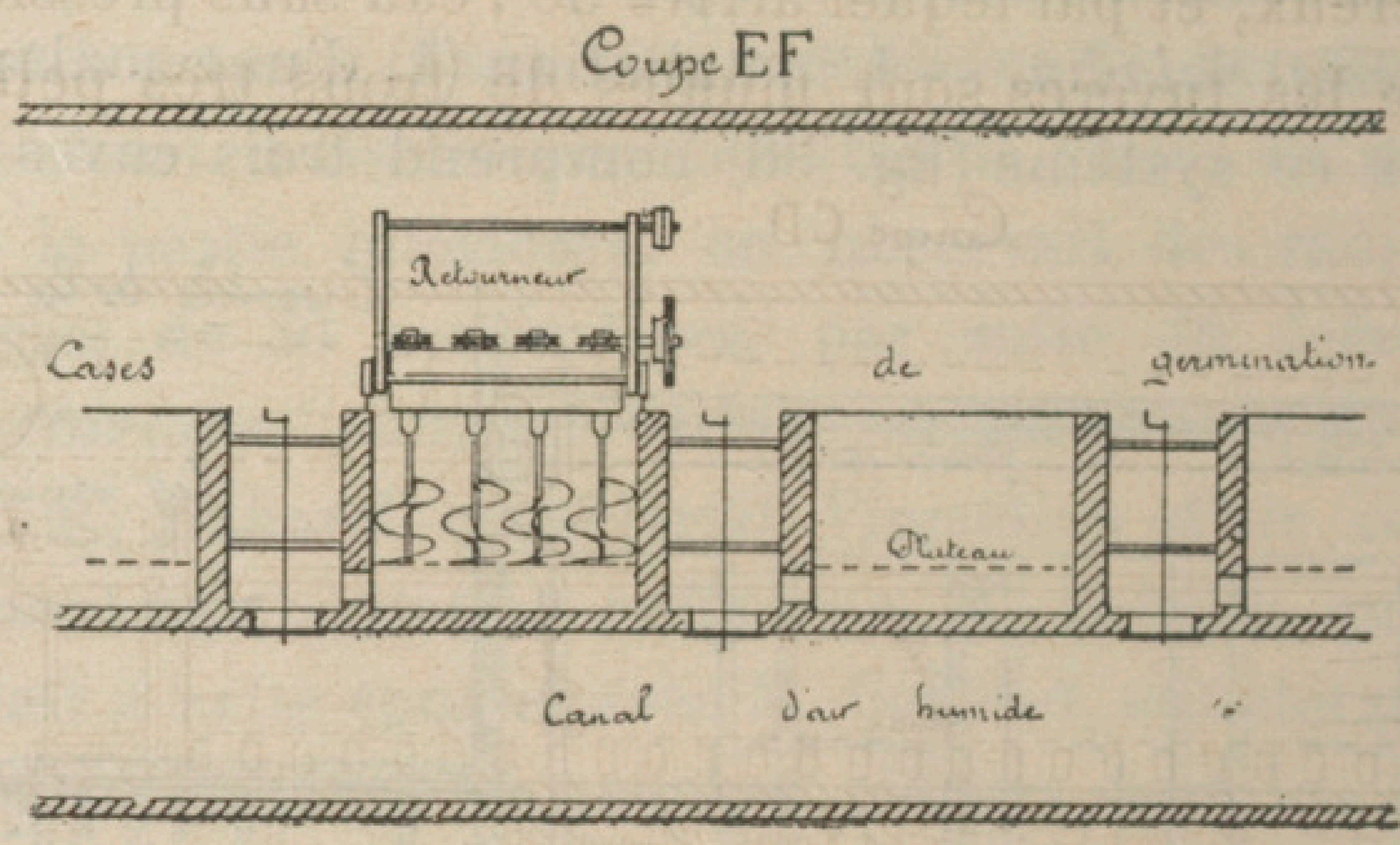


Fig. 37. — Malterie Saladin.

la couche d'orge. Le volume, la température et le degré d'humidité sont réglés à l'avance. Dans d'autres installations, la ventilation a lieu par refoulement, l'air arrivant par la partie supérieure des couches et étant de plus aspiré par dessous.

Le retournement se fait à l'aide d'un appareil très ingénieux, récemment encore perfectionné par M. Saladin.

Le même retourneur sert aux dix cases, et peut être transporté mécaniquement de l'une à l'autre, à l'aide d'un système analogue à celui que l'on emploie pour faire passer un wagon d'une voie à l'autre, sans l'intermédiaire d'aiguilles. Le retourneur est formé d'une série d'hélices en bronze qui se déplacent dans le sens de la longueur de la case, en même temps qu'elles tournent sur elles-mêmes. Le grain est ainsi

ramené du fond à la surface, et toute prise de la couche peut être évitée (fig. 38).

M. Saladin adapte depuis peu à ses retourneurs, des tuyères communiquant avec l'axe des hélices, axe devenu creux, et par lequel arrive de l'eau sans pression. Comme les tuyères sont munies de trous très petits,

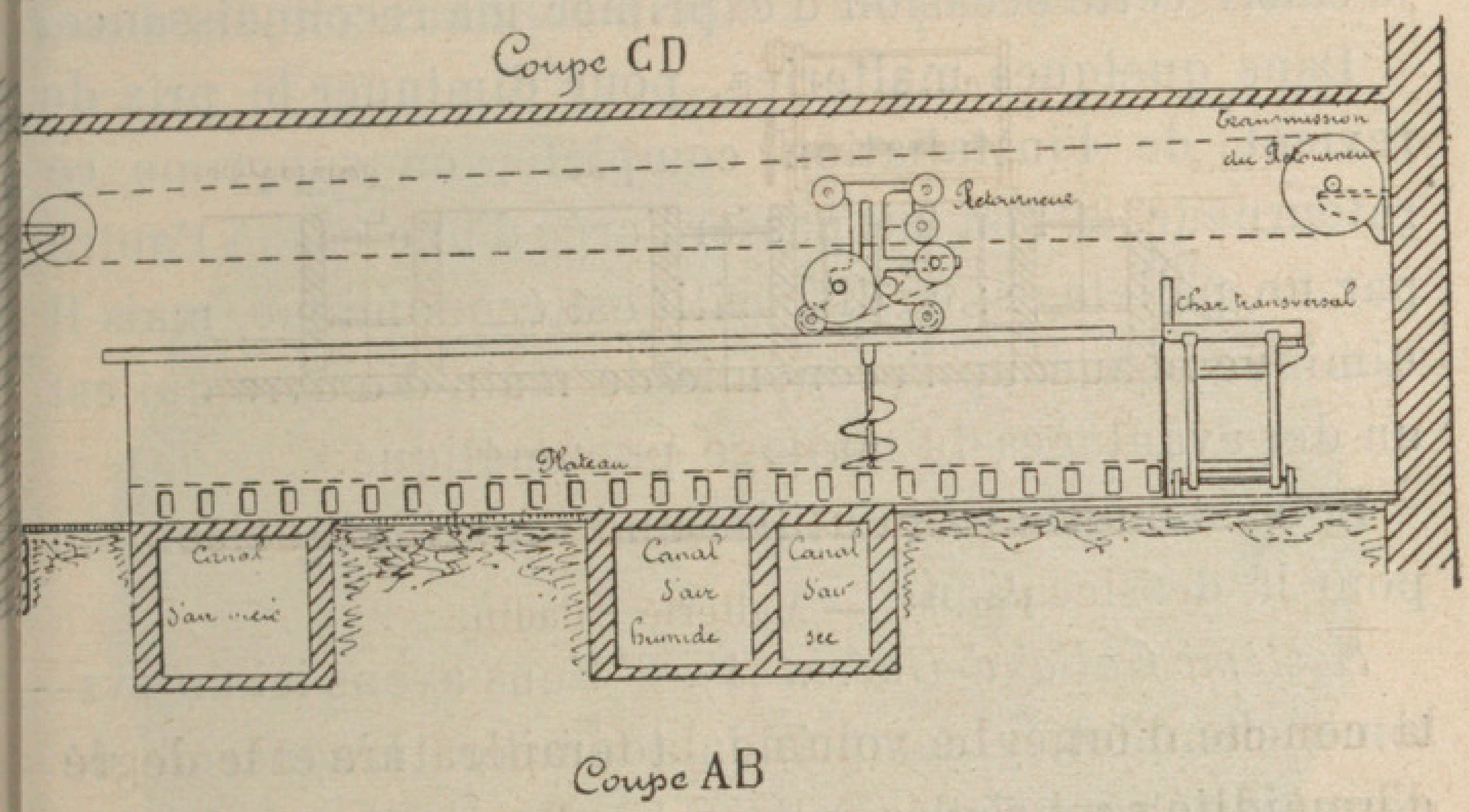


Fig. 38. — Malterie Saladin. — Coupe d'une case.

l'eau est pulvérisée en nuage très fin, ce qui permet de pratiquer dans les meilleures conditions le mouillage complémentaire, si avantageux pour assurer la régularité de la germination.

Dans un tel système la main-d'œuvre est extrêmement réduite, et pour assurer la régularité du travail, on place ordinairement, suivant le conseil de M. Saladin, en face de chaque case, un tableau quadrillé, sur lequel l'ouvrier pointe chaque température observée; lorsqu'il la voit monter, il augmente le volume d'air injecté, et en tous cas l'aspect du diagramme est un excellent contrôle.

Ajoutons que pour diminuer encore la main-d'œuvre,

l'orge trempée est distribuée par une série de tuyaux dans chaque case. Ce système s'est fort répandu en Allemagne, en France et dans les pays méridionaux, et il donne d'excellents résultats.

La plupart des indications précédentes m'ont été obligeamment communiquées par M. Saladin, auquel je saisis cette occasion d'exprimer ma reconnaissance.

Dans quelques malteries, pour diminuer le prix de revient de l'installation complète, on supprime ce retourneur, et l'on fait passer l'orge d'une case à l'autre par un pelletage ; ce dispositif est économique, mais il diminue beaucoup l'économie de main-d'œuvre qui est un des avantages du maltage pneumatique.

Le système Saladin utilise une touraille quelconque pour la dessiccation.

Système Galland-Guérin (1). — Nous avons ici un système complet, y compris la touraille. L'appareil de germination consiste en un tambour métallique à double paroi, l'intérieur étant en tôle perforée ; l'intervalle est divisé en un certain nombre de compartiments par des cloisons. Un distributeur placé à l'une des bases assure l'injection d'air par l'une des moitiés du cylindre, de façon que pendant la rotation de celui-ci, l'air arrive toujours par le dessous de la couche d'orge. C'est en ce point que le tambour breveté par M. Guérin réalise un avantage sensible, parce que dans la disposition primitive de Galland, l'air arrivant de toutes parts, une partie de la couche n'était pas ventilée.

L'axe du tambour est creux et percé de trous, il communique par l'une de ses extrémités avec un aspira-

(1) Brevet de M. Guérin en date du 24 mai 1890 : Appareil à germer, sécher et tourailler l'orge et le malt.

eur: l'air arrive donc saturé d'humidité par l'une des faces, il se répartit à travers toute la couche d'orge, en passant par la double paroi en tôle perforée, puis arrive dans le tube central d'où il est évacué.

Le cylindre est mobile autour de son axe et l'on peut faire varier à volonté sa vitesse de rotation toujours très lente, il est rempli d'orge à un peu plus de moitié

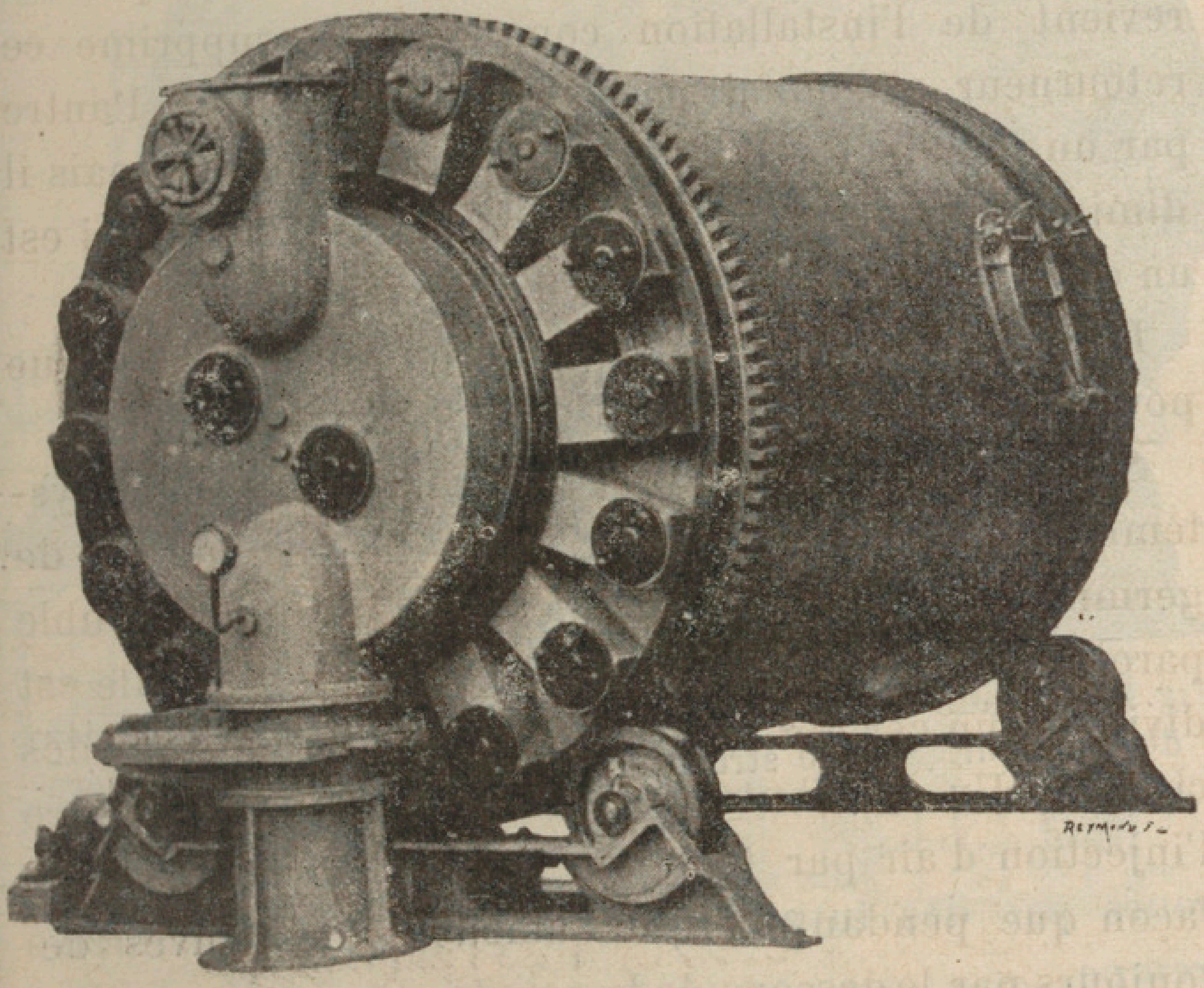


Fig. 39. — Tambour de germination (système Guérin). Vue avant du tambour (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, Lunéville).

a, Distribution d'air automatique.

de façon qu'au début le tube central soit déjà plongé dans l'orge. Le retournement s'effectue par suite de la rotation du tambour (fig. 39, 40).

Comme dans le système Saladin, la température et

l'humidité de l'air sont réglées par des échangeurs et une tour à coke, et le volume est modifié à volonté par le jeu d'une valve d'admission.

L'orge trempée est également répartie dans les tam-

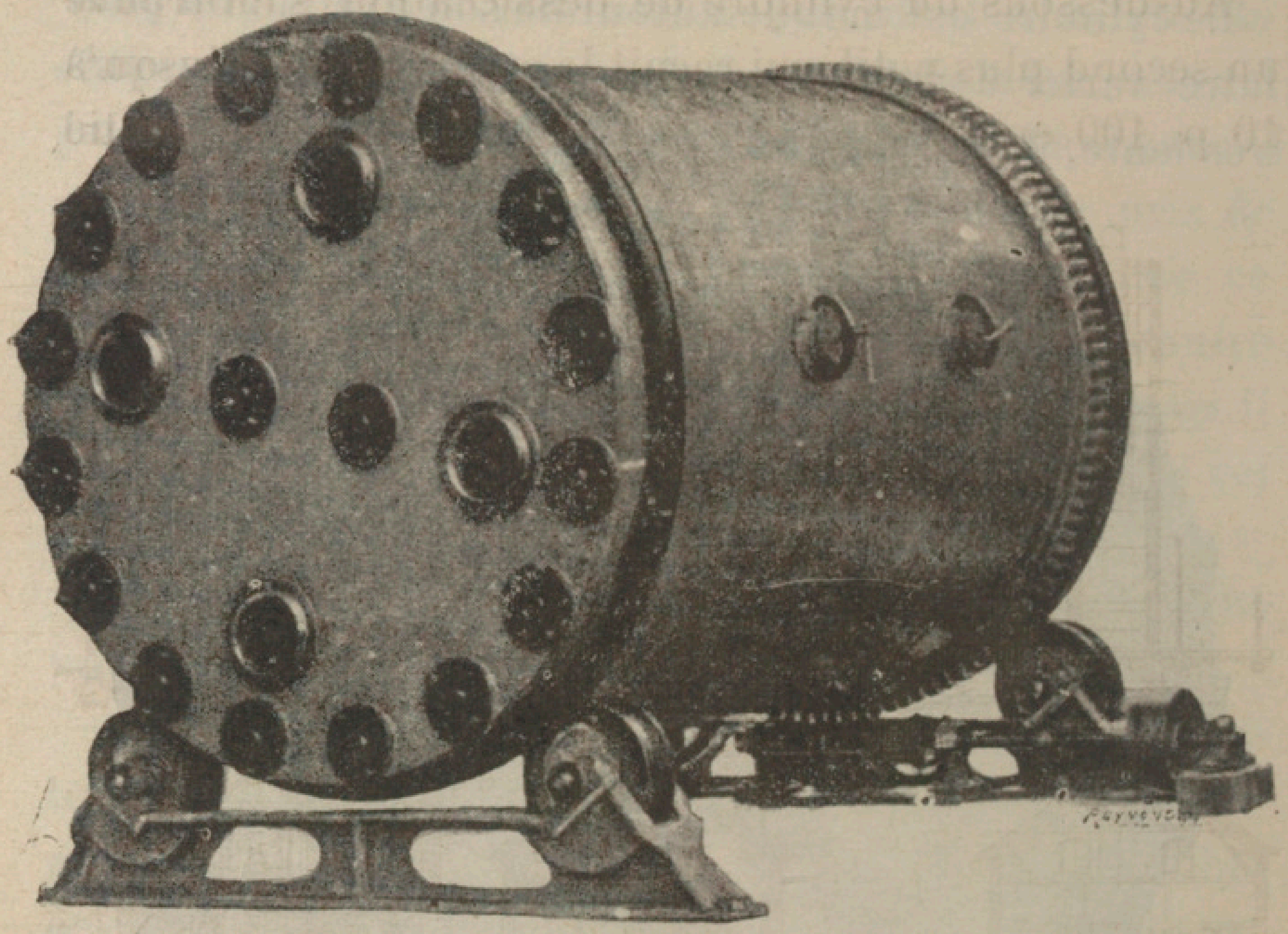


Fig. 40. — Tambour de germination (système Guérin). Vue arrière du tambour (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, Lunéville).

bours par des tuyaux qui l'amènent des cuves de trempe.

La germination terminée, le grain est conduit par une vis sans fin ou par un monte-charge dans un premier cylindre analogue au premier, mais de dimensions plus considérables ; ce cylindre est destiné à dessécher le malt, on y arrive en faisant traverser le malt vert par de l'air chaud, dont la température est réglée à volonté et d'une façon très précise par son passage dans un cylindre chauffé à la vapeur. Un thermomètre

contrôle constamment la température. Ce procédé a l'avantage de rendre la dessiccation absolument régulière et d'éviter tout coup de feu, qui pourrait glacer le grain ou le brunir.

Au-dessous du cylindre de dessiccation, s'en trouve un second plus petit qui reçoit le malt desséché jusqu'à 10 p. 100 environ, et qui est traversé par l'air chaud

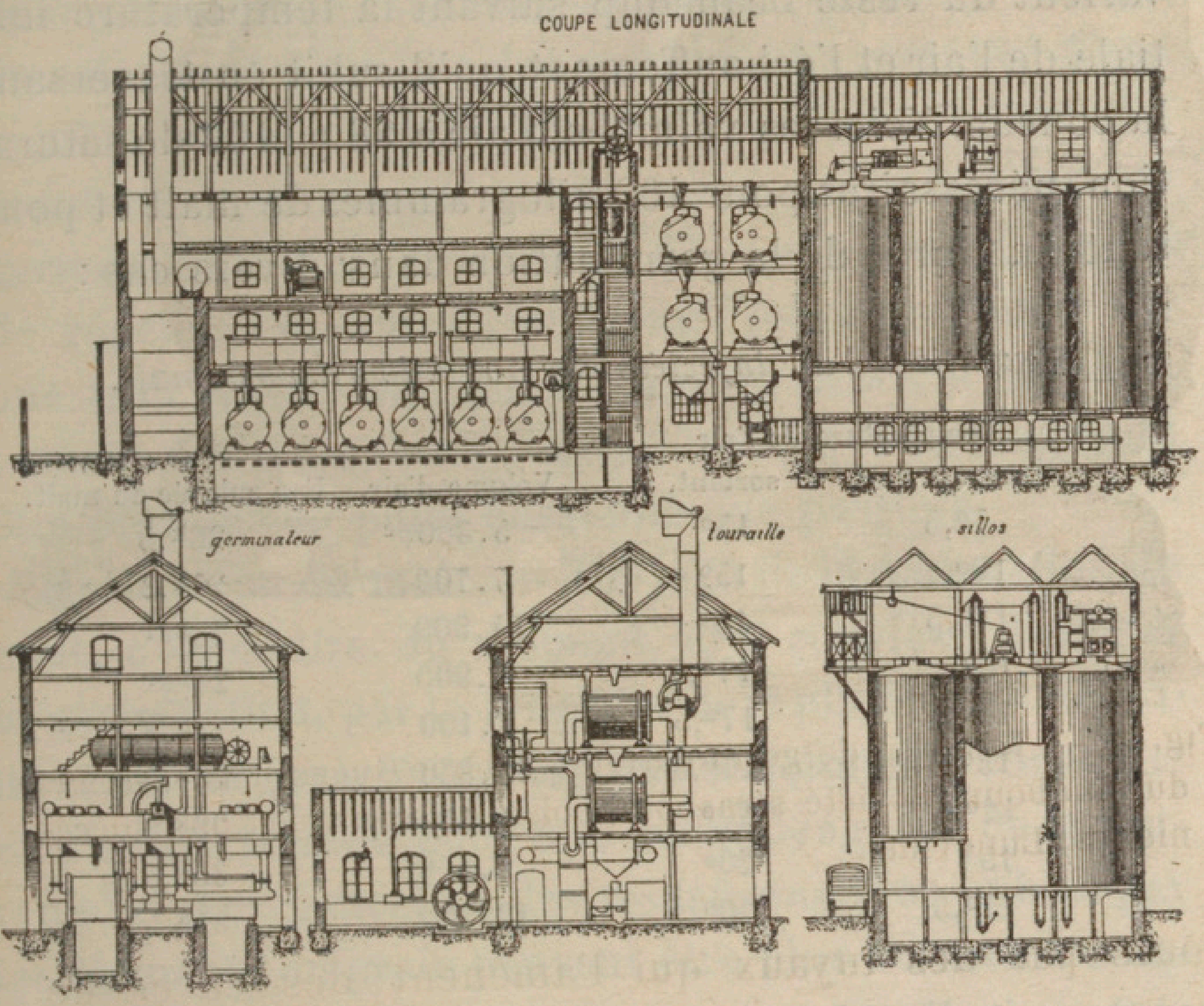


Fig. 41. — Plan d'une malterie (système Guérin).

provenant d'une touraille à coke, ce qui permet d'atteindre la température de 62, 75° ou même 100°, suivant la nature de malt que l'on veut obtenir.

Cette installation du système Galland-Guérin réalise la plus forte économie de main-d'œuvre, puisque le travail peut se faire entièrement d'une façon mécanique ; il existe à la Valentine, par Marseille, à Mazingarbe

(Pas-de-Calais). La figure 41 représente le plan d'une telle malterie faite par M. Guérin, de Lunéville.

Ces renseignements m'ont été fournis avec une grande complaisance par M. Guérin, que je prie d'accepter tous mes remerciements.

Quantités d'air injectées. — Les quantités d'air injectées dans les appareils de maltage pneumatique varient du reste beaucoup suivant la température initiale de l'air et l'échauffement qu'il subit en traversant la couche. Voici les volumes d'air à 98 p. 100 de saturation, nécessaires pour 100 kilogrammes de malt et pour toute la durée de la germination dans divers cas :

Quantités d'air injectées par 100 *kilogrammes malt.*

Température de l'air entrant.	Température de l'air sortant.	Volume d'air.	Eau enlevée au malt.
7°,5	15°	5.300^{mc}	26^{k},5
10°	15°	7.700	27^{k},2
12°,5	15°	14.900	28^{kgr}
10°	17°,5	4.900	28^{kgr}
12°,5	17°,5	7.100	28^{K},8
15°	17°,5	13.800	29^{k},5
12°,5	20°	4.500	29^{k},5
15^{k}	20°	6.500	30^{k},5
17°,5	20°	12.700	31^{K}

On voit, d'après cela, que la quantité d'eau enlevée au malt augmente à mesure que la température initiale de l'air est plus élevée : c'est un fait très normal, puisque la capacité de saturation augmente à mesure que la température monte.

Mouillage complémentaire. — Il peut être pratiqué dans les trois systèmes de germination, mais il est naturellement moins nécessaire pour les appareils pneumatiques, puisque l'orge est dans ceux-ci traversée cons-

tamment par de l'air saturé d'eau. On voit, en effet, la quantité d'eau absorbée par l'orge, s'accroître sensiblement pendant les vingt-quatre ou vingt-six premières heures de germination. Sur les germoirs, au contraire, on n'observe pas cette absorption d'eau au début, quand la trempe a été suffisante. Si la quantité d'eau absorbée par l'orge à la trempe n'est pas assez considérable pour conduire la germination jusqu'à la limite voulue, on est obligé d'arroser les couches. La quantité d'eau ajoutée doit être très faible, et le besoin s'en fait sentir, éventuellement, vers le quatrième ou cinquième jour de germination. Il est préférable d'arroser peu à la fois et de répéter l'opération plusieurs jours de suite ; car une trop grande addition d'eau favoriserait le développement des moisissures. Naturellement, l'arrosage doit être pratiqué en pluie aussi fine que possible.

Maturation du malt. — On juge de la maturation du malt, c'est-à-dire du moment où il convient d'arrêter la germination, par la longueur de la plumule et des radicelles. Ce caractère n'est pas absolument constant ; en d'autres termes, pour une même longueur de la plumule et des radicelles, les transformations subies par les éléments du grain peuvent être plus ou moins complètes. Dans certaines circonstances, un grain peut avoir atteint au bout de cinq jours de germoir le même développement qu'il devrait avoir au bout de huit ou neuf jours dans des conditions normales ; il en résulte que si l'on jugeait uniquement de l'état de la couche par ces caractères, sans avoir égard au temps nécessaire pour une germination parfaite, on risquerait de commettre de graves erreurs.

Ce n'est pas la longueur de la plumule et des radicelles

qui doit régler la durée de la germination, mais il faut au contraire modifier les conditions de température, et de pelletage, de façon à n'atteindre qu'au bout de huit jours au moins, les dimensions voulues pour obtenir une désagrégation complète.

Le temps nécessaire varie d'ailleurs avec l'espèce d'orge, la nature du malt que l'on veut préparer et la durée de la trempe. Cependant, en germant à des températures moyennes, au-dessous de 20°, il faut compter au minimum huit jours, et souvent cette durée doit être portée à neuf et dix jours. Une abréviation du temps de germination se traduit par une dissolution défectueuse et par des malts trop dextrineux.

Une des circonstances qui peuvent accélérer le plus le développement des radicelles et de la plumule, c'est l'humidité de la couche et du germoir. En comparant deux couches de la même orge, l'une A très trempée, maintenue dans une atmosphère très humide, et l'autre B normale, on trouve que pour une même longueur des radicelles, celles-ci contiennent, dans A, moitié moins de matières sèches, que la quantité de substance brûlée par respiration est aussi moitié moindre dans A, que le taux de matières azotées solubles est plus petit de 1 p. 100, et enfin que le pouvoir diastasique est à peine moitié que dans B.

Une telle couche donnera donc un malt plus riche en extrait, mais très peu actif, se dissolvant mal, riche en matières azotées non transformées, et par conséquent capable de fournir une bière peu stable, disposée aux troubles de glutine.

La longueur à laquelle la plumule doit être amenée dépend beaucoup de la nature de l'orge, et aussi des

conditions de végétation de celle-ci; comme les transformations subies par les matières azotées de l'orge sont d'autant plus complètes que le germe est plus allongé, on a intérêt, pour les orges très riches en azote, à pousser la plumule presque jusqu'à la longueur du grain. D'ailleurs plus la plumule est longue, les conditions de germination restant les mêmes, et plus la dissolution a chance d'être parfaite.

Enfin la quantité de diastase existant dans le malt vert, s'accroît à mesure que le germe devient plus développé, jusqu'au moment où il va percer l'enveloppe.

On aurait donc intérêt de toutes façons à pousser la plumule à peu près jusqu'à la longueur du grain ; le seul inconvénient de cette méthode serait un déchet plus considérable, c'est-à-dire un rendement moindre de ces malts. Aussi se contente-t-on d'habitude d'amener la plumule à deux tiers ou trois quarts de la longueur, en ne la poussant davantage que pour les orges très azotées et lorsqu'on veut obtenir des malts très riches en diastase, c'est-à-dire produisant des moûts très sucrés.

Comparaison des malts fabriqués au germoir et aux systèmes pneumatiques. — Nous citons le travail d'une même orge, d'une part au germoir, d'un autre côté au système Saladin, avec les quantités d'eau absorbées et le pouvoir diastasique pour chaque jour :

Comparaison du germoir et du système Saladin.

	Poids de 1000 grains.	Eau absorbée.
Orge avant la trempe....	41gr,174	»
Orge après 23h de trempe.	51gr,684	25 p. 100
— 48 heures....	55gr,404	34 —
— 72 — ...	57gr,837	40 —
— 96 — ...	58gr,434	42 —
— 120 — ...	60gr,091	46 —

L'orge est passée au système après quatre-vingt-seize heures de trempe, et au germoir après cent vingt heures. Les nombres répondent à la fin de chaque période de vingt-quatre heures :

	SYSTÈME.		GERMOIR	
Jours.	Eau absorbée.	Pouvoir diastasique.	Eau absorbée.	Pouvoir diastasique.
1er.	49 p. 100	0	44 p. 100	0
2e.....	45.5 —	0	39 —	0
3e.....	32 —	0	35 —	0
4e.....	29 —	520	32 —	610
5e.....	26 —	190	32 —	225
6e.....	25 —	125	32 —	144
7e.....	25 —	106	32 —	81
8e.....	25 —	43	31 —	46
9e.....	25 —	37.5	30 —	31

La perte d'eau par évaporation est bien plus considérable au Saladin, puisque le malt terminé répond seulement à 25 p. 100 d'eau absorbée par l'orge, au lieu de 30 p. 100 au germoir, Les pouvoirs diastasiques sont à la fin un peu plus considérables pour le germoir, mais cela doit être attribué surtout à la trempe plus complète subie dans ce cas.

La *qualité* des malts obtenus avec la même orge paraît être à l'avantage du système. Schifferer a trouvé, pour une orge trempée à 48 p. 100 d'eau dans les deux cas, un rendement par 100 kilogrammes d'orge de 77 kilogrammes de malt sec pour le système et 75 kilogrammes pour le germoir. Le rendement était de 72, 3 p. 100 pour le malt du système et de 71 p. 100 pour celui du germoir. Au point de vue du brassage et de la conservation de la bière, les deux malts se comportaient de la même façon.

Travail des malts Münich au germoir. — On donne

une trempe très longue, jusqu'à cent dix et même cent vingt heures avec de l'eau assez dure ; cette trempe a pour but de développer la plus grande quantité de diastase possible. La hauteur des couches, de 30 centimètres environ au début, va constamment en décroissant. On fait des pelletages peu fréquents au début, seulement un par jour, de façon à conserver de l'humidité aux couches et à laisser la température s'élever. Aussi obtient-on après soixante-douze heures un développement brusque de la plumule et des radicelles et la température au milieu de la couche s'élève jusqu'à 26° ; à la base, elle n'est que de 21°. On ne fait en neuf jours de germination que dix-huit pelletages, et on laisse la couche *prendre* deux fois vingt-quatre heures, d'abord entre le quatrième et cinquième jour, puis entre le sixième et le septième jour. On dit que la couche *prend* lorsque par suite du défaut de pelletage les radicelles s'entre-croisent de façon que toute la couche forme un véritable feutrage.

Le développement du maximum de diastase au germoir est obligatoire pour le malt Münich, puisque le procédé de touraillage tend, comme nous le verrons, à la destruction d'une grande quantité de cette substance. Si les malts n'étaient pas très actifs, ils seraient, après touraillage, incapables de se saccharifier.

Travail des malts genre Vienne. — La durée de trempe est inférieure de quinze à vingt heures à celle donnée pour le malt Münich, et elle ne dépasse pas quatre-vingt-cinq heures, même pour les eaux assez dures. La hauteur des couches n'est que 5 à 6 centimètres au début, et elle va constamment en augmentant ; les pelletages sont fréquents, vingt-huit pour neuf

jours de germination, de sorte que l'élévation de température n'est jamais considérable et que le développement de la plumule est long et continu. Aussi la température maxima n'est-elle que de 17°,5.

Travail des malts genre Pilsen. — Ces malts étant destinés à ne subir qu'un touraillage à température peu élevée et très ménagé, on peut réduire encore un peu la durée de trempe. Toutefois, comme on recherche pour ces malts une dissolution très rapide, et la production de moûts sucrés, on donne ordinairement une trempe de soixante-douze à quatre-vingts heures, on germe à température très basse, au-dessous de 17°, au milieu des couches, et on fait des pelletages fréquents de façon qu'il n'y ait jamais de forte élévation de température, et que la respiration du germe ne soit jamais gênée; on arrive ainsi à produire des malts qui fournissent en maltose jusqu'à 75 p. 100 de l'extrait, c'est-à-dire des matières dissoutes dans le moût, pour 100 de malt.

Influences nuisibles à la germination. — Le gaz d'éclairage, les gaz de la combustion, entravent la germination et peuvent même l'arrêter complètement.

Le développement de moisissures et de bactéries sur les couches produit le même effet.

Rendement de l'orge en malt. — La quantité de malt sortant de la touraille, fournie par 100 kilogrammes d'orge, varie de 75 à 81 kilogrammes suivant la nature du travail. La perte provient de la matière brûlée par la respiration du germe, et de l'enlèvement des radicelles ; on conçoit que suivant la longueur de ces radicelles et la température de germination, le déficit puisse être plus ou moins considérable.

Fanage du malt vert.

Le malt vert, à la fin de la période de germination, contient encore en moyenne 25 p. 100 d'eau en plus de l'humidité primitive de l'orge ; comme cette eau doit être enlevée au touraillage, et que la dessiccation, pour les malts pâles, est d'autant plus difficile que le malt contient plus d'eau, on a intérêt à enlever celle-ci le plus possible avant d'envoyer le malt vert à la touraille.

De plus, tant que la germination continue, le germe respire et brûle une certaine quantité de sucre formé aux dépens de l'amidon, d'où une perte du rendement en malt ; on a donc aussi intérêt à arrêter la germination dès que la plumule a atteint la longueur voulue.

Enfin, l'action de la diastase sur l'amidon, et la transformation des matières azotées, doivent être aussi complètes que possible, et elles se continuent tant que le malt vert contient assez d'humidité. Si donc l'on pouvait arrêter la respiration du germe, et enlever une certaine quantité d'eau, sans cependant arrêter l'action de la diastase, ni les modifications que subissent les matières azotées, on réaliserait une économie; le malt serait meilleur, et le touraillage bien plus aisé.

On arrive à ce résultat par le *fanage* du malt vert. Celui-ci, une fois mûr, est disposé dans un grenier dont le plancher à jour constitue une sorte de claie, et l'on fait traverser le malt par un courant d'air intense ; la volatilisation d'une grande quantité d'eau amène un abaissement de la température qui descend jusqu'à

10° environ. La respiration du germe est à cette température très peu active, tandis que le travail de la diastase, et les transformations des matières azotées conservent sensiblement la même intensité. Cette ventilation continuée pendant cinq à six heures, permet aussi à la désagrégation du grain de s'achever si elle était incomplète. Le malt perd ainsi une quantité d'eau variable avec l'intensité de la ventilation et la durée du fanage, et il peut être ramené à ne plus avoir que 15 p. 100 eau environ.

Ce fanage, lorsqu'on possède un ventilateur, peut être effectué sur le plateau de la touraille, avant d'allumer celle-ci.

Le fanage est employé couramment en Allemagne, en Moravie, en Hongrie, et il mériterait d'être plus pratiqué en France. La dépense qu'il nécessite est en effet très faible, et compensée largement par l'économie de combustible et la plus grande sécurité du touraillage.

Au lieu du fanage, quelques malteurs emploient, pour arrêter la germination, un procédé tout à fait défectueux. A la fin de la germination, ils entassent le malt vert en couches très épaisses, et suspendent toute ventilation. La température s'élève fortement, jusqu'à 25-28°, le dégagemeut d'acide carbonique s'exagère, et comme il n'y a plus ni pelletage ni ventilation, le germe peut être asphyxié. Mais cet échauffement, dont on n'est pas maître, est dans l'intérieur des grains bien plus considérable que ne l'indique le thermomètre ; la diastase estaffaiblie, l'eau ne s'évapore pas, et l'élévation de la température est extrêmement favorable aux moisissures et aux bactéries.

Aussi les malts ainsi traités sont-ils en général acides d'une façon anormale, beaucoup moins actifs, et d'un touraillage aussi délicat qu'avant l'opération. C'est donc un mode de procéder tout à fait défectueux.

Touraillage.

Le but du touraillage est d'enlever au malt vert l'eau qu'il renferme, d'effectuer encore certaines transformations des principes constituants du grain, et de lui donner un arome particulier, ou une coloration spéciale, pour certaines bières, celle du genre Munich, par exemple.

L'enlèvement d'eau doit être fait de façon à ne pas détruire la diastase ; or nous avons vu que si la diastase humide était chauffée au-dessous de 75°, elle était détruite, et seulement affaiblie quand on la portait aux températures supérieures à 60°. Au contraire, une fois déshydratée à basse température, la diastase et les matières azotées coagulables par la chaleur peuvent être chauffées jusqu'à 110° et même 120° sans altération. Le touraillage devra donc comprendre deux phases : 1° dessiccation à basse température ; 2° échauffement à température élevée pour donner au malt son arome spécial.

Le touraillage s'effectue dans des appareils appelés *tourailles*, qui sont de véritables étuves à air ou à gaz chauds. Les tourailles sont de plusieurs systèmes. Les unes, dites à feu direct ou à *cochon*, sont des espèces de tours, en maçonnerie, comprenant à la partie inférieure un foyer placé dans un massif de briques, qui porte le nom de cochon. Dans la hauteur de la touraille

sont disposés horizontalement un ou deux *plateaux* en fils de fer ou d'acier, de manière à constituer un treillage, qui laisse passer l'air, mais retienne les grains. Au-dessous du plateau inférieur, se trouve une chambre, dite chambre à air, où arrive en même temps que le gaz de la combustion, l'air extérieur, dont l'accès est réglé par des registres.

La touraille est surmontée d'une haute cheminée, à tirage très énergique ; quelquefois, on emploie en plus un ventilateur, pour augmenter la quantité d'air qui entre dans la touraille.

Le combustible employé est généralement du coke, dit métallurgique, qui ne fournit presque plus de matières goudronneuses, mais souvent on utilise soit du coke ordinaire, soit même de l'anthracite.

Le malt vert étant placé sur le plateau unique, ou sur le plateau supérieur, suivant la disposition de l'appareil, les gaz de la combustion, ramenés à la température voulue par l'introduction d'air extérieur, qui se mélange aux gaz dans la chambre à air, s'élèvent dans la touraille en traversant le malt, qu'ils échauffent peu à peu, en même temps qu'ils lui enlèvent de l'eau par évaporation.

Les registres permettent de régler à volonté la température des gaz.

Dans la touraille à *calorifère* (fig. 42) les gaz de la combustion circulent autour du foyer dans une double enveloppe en terre réfractaire, qu'ils échauffent, puis ils sont évacués sans passer sur le malt. On fait arriver à l'aide de registres, ou mieux avec un ventilateur, l'air extérieur, qui s'échauffe par contact avec la terre réfractaire, et qui se dirige ensuite sur la couche de malt

vert. La touraille à calorifère possède soit un, soit plusieurs plateaux.

Dans ce système on peut employer un combustible quelconque, puisque les gaz de la combustion ne touchent pas le malt. Dans la touraille à feu direct, au contraire, on doit utiliser des substances qui ne donnent pas de goudron puisque ceux-ci communiqueraient leur odeur au malt. Aussi les malts touraillés à l'anthracite ont-ils une odeur de fumée qui n'est guère recherchée que pour la fabrication du wisky. D'ailleurs même les cokes métallurgiques contiennent encore une assez forte proportion de matières sulfurées, de sorte que dans

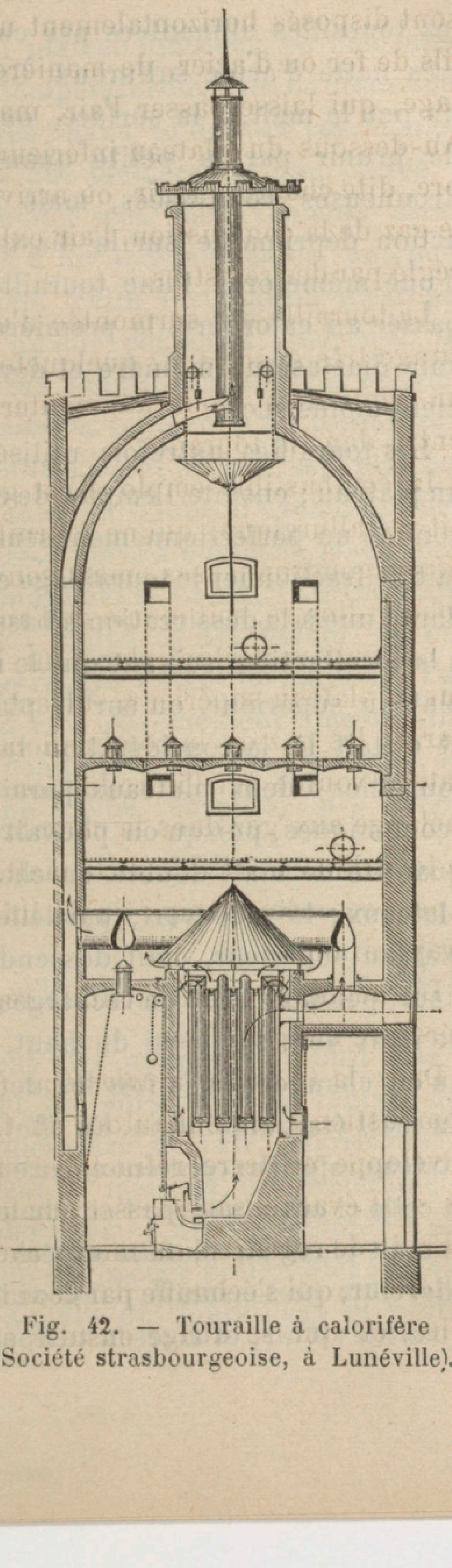


Fig. 42. — Touraille à calorifère (Société strasbourgeoise, à Lunéville).

les tourailles alimentées par eux, on sent une odeur très nette d'acide sulfureux. Cet acide décolore bien un peu le malt, à la surface, ou du moins l'empêche de brunir par la petite quantité de matières goudronneuses volatilisées, mais il paraît exercer une action déprimante sur la diastase; de deux couches d'une même orge, l'une touraillée à feu direct, l'autre passée au calorifère, la première avait en effet un pouvoir diastasique moindre et donnait un moût notablement moins sucré.

Les tourailles autrefois utilisées avaient seulement un plateau ; ensuite l'emploi de deux plateaux apparut comme un perfectionnement sensible, puisqu'il permettait de fractionner le touraillage en deux phases, répondant l'une à la dessiccation à basse température, l'autre à la torréfaction, suivant que le malt était placé sur le plateau supérieur, ou sur le plateau inférieur. Enfin, et c'était là la considération la plus importante, les tourailles à deux plateaux paraissaient beaucoup plus économiques, puisqu'on pouvait traiter à la fois une quantité de malt double, en chargeant à la fois deux plateaux ; le malt vert, partiellement desséché sur le plateau supérieur, était descendu sur le plateau inférieur, pendant que l'on rechargeait une nouvelle couche de malt vert sur celui du haut. Mais on s'est aperçu qu'en changeant à la fois les deux plateaux, la qualité du malt était amoindrie. En effet, le malt qui est sur le plateau inférieur contient encore 8 p. 100 d'eau environ, et celle-ci entraînée par l'air chaud, va se condenser sur le malt placé au plateau supérieur. Si l'on veut empêcher cette condensation, il faut ou bien injecter d'énormes quantités d'air, et alors la température n'est plus assez

élevée pour le malt du plateau inférieur, ou bien augmenter, au contraire, la température de l'air, en diminuant l'ouverture des registres ; dans ce dernier cas, le malt vert est alors soumis à une température trop élevée.

Le seul moyen d'éviter ces inconvénients serait d'avoir deux chambres à air indépendantes, une pour chaque plateau. Comme cette installation n'est pas possible partout, et qu'elle est assez onéreuse, on commence à revenir aux tourailles à un seul plateau.

Pour augmenter encore la perfection du touraillage, on a imaginé des tourailles ayant jusqu'à sept plateaux (système Lauth). Cet appareil donne d'excellents produits, mais son prix assez élevé a empêché jusqu'ici sa propagation ; il fonctionne chez M. Lauth, à Carcassonne, et il en existe deux aux malteries Eckenstein, au Puy.

Différence de température entre le malt et l'air chaud. — L'écart peut être extrêmement considérable, jusqu'à 30°. Ainsi en comparant, heure par heure, les températures dans une même touraille, on a obtenu les degrés suivants :

Heure.	1re	2e	3e	4e	5e	6e	7e	8e	9e	10e	11e	12e
Air..	28°	32	32	35	39	45	50	60	65	70	70	70
Malt.	47	50	56	65	67	70	72	80	94	100	100	100

Ces écarts paraissent être moindres la nuit que le jour, mais ils existent toujours, et en se réglant uniquement sur la température de l'air, on risque de chauffer trop fortement le malt. Il est préférable de placer dans la couche même, un thermomètre sensible ; un enregistreur est encore préférable, puisqu'il donne la marche complète du touraillage et permet d'en conserver la trace.

Coloration du malt. — Elle se produit quand le malt contenant plus de 10 p. 100 d'eau est chauffé à une température supérieure à 50°. Cette coloration ne se manifeste cependant qu'après que le malt a été ensuite porté à une température plus élevée et déshydraté. Pour le montrer, Lintner chauffa pendant six heures en vase clos et à 50-55°, des échantillons de malt vert à 10, 15 et 20 p. 100 d'eau ; ensuite ces malts furent déshydratés complètement dans le vide, à la température de 15°, et enfin chauffés à 100° dans la touraille. Le malt à 10 p. 100 eau donne un malt pâle dont la coloration est représentée par 2°,8 tandis que les malts à 15 et 20 p. 100 eau ont une coloration à peu près identique et représentée par 7°,5, c'est-à-dire presque trois fois plus forte que pour le premier échantillon.

Le malt humide, chauffé au-dessus de 50°, est donc capable de se colorer fortement lorsqu'il est ensuite desséché et porté à une température supérieure.

Avant sa déshydratation, le malt ainsi traité ne présente pas trace de coloration : il est donc comparable à une plaque photographique, où l'image invisible, d'abord, n'apparaît que par un révélateur. Ici le révélateur, c'est la dessiccation plus complète.

L'effet de la chaleur sur le malt humide apparaît d'ailleurs, quoique moins forte, quand le malt contient de faibles quantités d'eau. Ainsi si l'on chauffe en vase clos, à 100°, des échantillons de malt contenant de 0,9 à 9,7 p. 100 eau, on obtient des colorations de 2°,3 à 2°,9 faiblement croissantes avec la teneur en eau du malt.

Nous pouvons en conclure que pour avoir du malt très pâle, on doit le déshydrater aussi complètement

que possible à une température aussi basse que possible, en tous cas inférieure à 50°.

Retournement du malt. — On procédait autrefois à cette opération à main d'homme; depuis on a adopté presque partout les retourneurs mécaniques. Ce sont des espèces d'hélices, qui tournent autour d'un axe pendant que celui-ci se déplace parallèlement à lui-même.

Le retourneur est mis en action de l'extérieur.

L'utilité du retournement est évidente. En effet, surtout au début du touraillage, — l'air arrivant par dessous, échauffe d'abord la partie inférieure de la couche, en contact avec le plateau; les couches supérieures

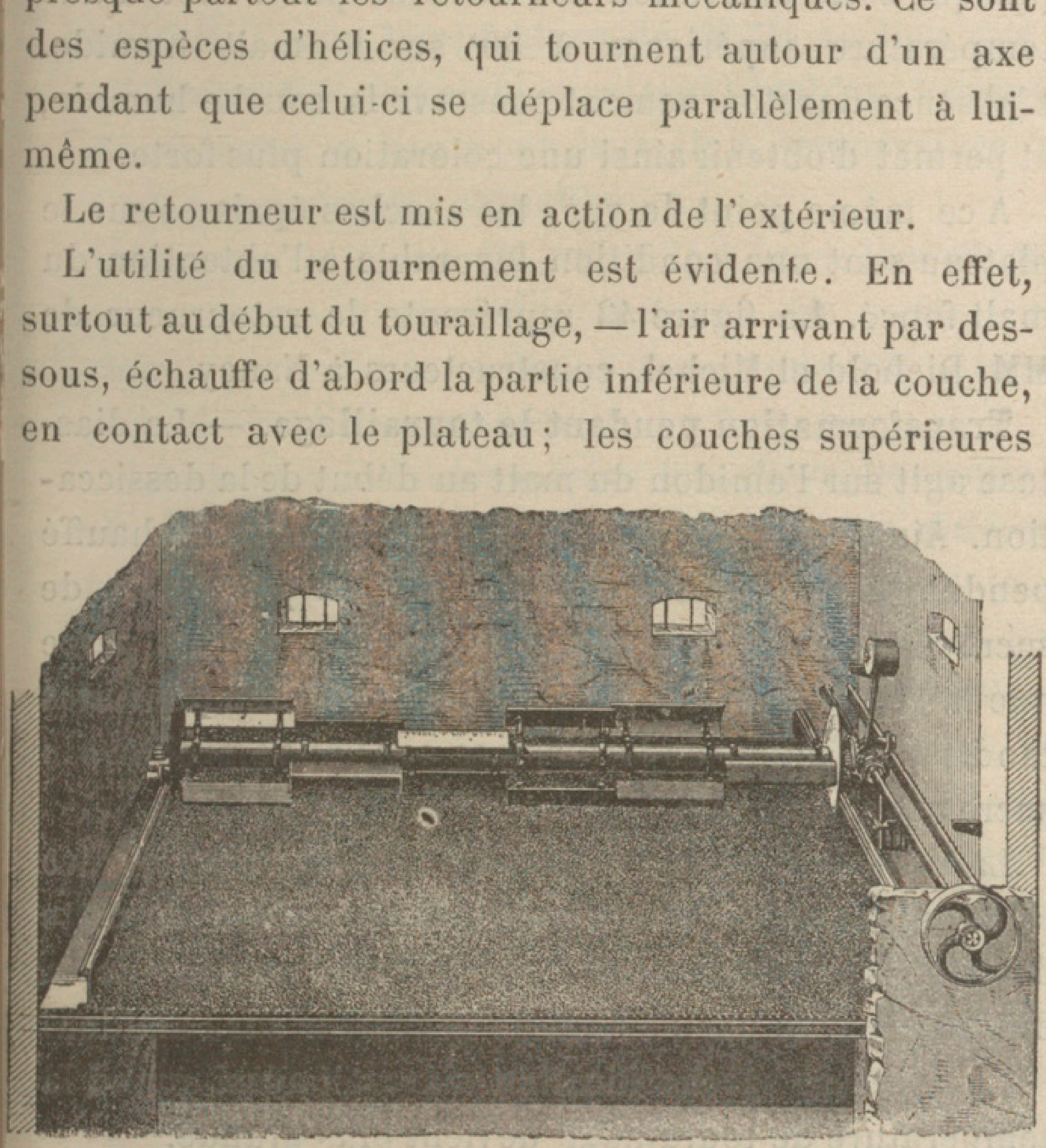


Fig. 43. — Pelleteur mécanique pour tourailles (Diebold et Michel, à Nancy).

restant froides, l'eau entraînée par évaporation des parties basses, se condense de nouveau à la partie supérieure; pour chasser cette eau, il faudrait élever la température du bas plus qu'il n'est nécessaire. Le re-

retournement égalise les températures et permet un échauffement régulier de toute la couche.

Les retournements doivent d'après cela être beaucoup moins fréquents pour la fabrication du malt coloré, puisque cette coloration est obtenue par l'effet d'une température supérieure à 50° sur le malt humide. L'absence de retournement conserve la couche humide, et permet d'obtenir ainsi une coloration plus forte.

A ce même point de vue, les couches épaisses sur le plateau sont une condition favorable à l'obtention du malt foncé. La figure 43 représente le retourneur de MM. Diebold et Michel, constructeurs à Nancy.

Transformation pendant le touraillage. — La diastase agit sur l'amidon du malt au début de la dessiccation. Ainsi du malt à 12-15 p. 100 eau étant chauffé pendant cinq heures entre 45 et 55°, la proportion de sucre serait de 13 à 16,8 p. 100. Ceci s'explique, parce que la respiration du germe cesse à ces températures tandis que l'action de la diastase continue à produire le sucre qui s'accumule.

La dose de dextrine augmente à mesure que s'élève la température de touraillage : la formation de cette dextrine s'explique partie par l'affaiblissement de la diastase, partie par l'action de la chaleur sur l'amidon.

La durée de saccharification s'accroît aussi quand la température de touraillage devient plus grande.

Les matières azotées du malt, subissent également dans certains cas des transformations.

Les substances albuminoïdes, coagulables, dissoutes, peuvent comme on sait se coaguler à une température de 70-75°, et elles sont ensuite incapables de se remettre en solution dans l'eau. Si, au contraire, elles

ont été d'abord deshydratées à basse température, on peut les chauffer ensuite à 110 et même 120°, sans qu'elles perdent la propriété de se dissoudre dans l'eau. Le premier effet, insolubilisation des albuminoïdes coagulables se produit quand on touraille le malt vert humide à une température de 70-75° au lieu que les albuminoïdes coagulables restent solubles, lorsque la dessiccation a lieu pour le malt à température peu élevée, par simple ventilation.

Lorsque le malt a été touraillé à basse température, on remarque en général qu'il donne des moûts moins clairs, par suite sans doute d'une coagulation incomplète des matières azotées.

La diastase subit les mêmes transformations que les albuminoïdes coagulables, mais avec cette différence qu'elle est détruite en tant que ferment, à 75° et qu'elle est affaiblie par les températures comprises entre 60 et 75°. Cet affaiblissement se traduit par une proportion de dextrine plus considérable dans les moûts; nous pouvons exprimer le même fait en disant que si la température de touraillage s'élève, la proportion et le type des maltodextrines s'élève aussi. Le pouvoir diastasique s'abaisse au contraire. Ainsi quatre malts, étant touraillés à température croissante, le n° 1 au plus bas, on obtient :

	1	2	3	4
Pouvoir diastatique.....	47	45	34	17
Maltodextrines du moût....	4.2 p. 100	7.9 p. 100	14.9 p. 100	22.4 p. 100
Type.....	$\frac{2}{1}$	$\frac{2}{8}$	1/2	1/2

Touraillage du malt genre Munich. — Il se fait

d'habitude en quarante-huit heures, mais on est parfois conduit à le limiter à trente-six heures et même à vingt-quatre pour gagner du temps. On met le malt en couches épaisses sur les plateaux à raison de 150 à 165 litres de malt vert par mètre carré de plateau. Cette épaisseur des couches entretient l'humidité et permet au début du touraillage la production de matières dextrineuses qui donnent de la *bouche* à la bière.

Considérons le cas d'un touraillage complet en quarante-huit heures.

Sur le plateau supérieur, on laisse les registres ouverts pendant les douze premières heures en ne dépassant pas 34° dans le malt et on les ferme progressivement de façon à les avoir au trois quarts fermés à la fin.

Sur le plateau inférieur on ouvre des registres les douze premières heures, de façon à ne pas dépasser 45° dans le malt : ensuite on ferme peu à peu les registres qui sont tout à fait clos à partir de la seizième heure.

On retourne le malt sur le plateau inférieur, chaque heure et demie les douze premières heures, puis chaque heure pendant les huit suivantes et au moins chaque demi-heure pendant les quatre dernières.

Voici un tableau de marche de malt Munich touraillé en trente-six heures :

Touraillage du malt genre Munich.

PLATEAU SUPÉRIEUR.

Heure.	Temp. du malt.	Eau.	Registre.
1	20°	46 p. 100	ouvert.
4	25°	42 —	—
8	31°	34 —	—
12	40°	25 —	1/2 fermé.
16	56°	12 —	—
18	60°	14 —	3/4 fermé.

PLATEAU INFÉRIEUR.

Heure.	Temp. du malt.	Eau.	Registre.
1	50°	14 p. 100	ouvert.
4	62°	10 —	—
8	75°	6 —	2/3 ouvert.
12	94°	4 —	1/2 ouvert.
16	104°	3 —	fermé.
18	103°	1,5 —	fermé.

Lorsqu'on touraille en vingt-quatre heures, la marche des températures est nécessairement différente.

Touraillage du malt genre Pilsen. — Les couches doivent être beaucoup moins épaisses sur le plateau et les retournements fréquents, de manière à faciliter l'évaporation de l'eau. On conduit le touraillage de préférence en quarante-huit heures, en desséchant sur le plateau supérieur jusqu'à 8 p. 100 d'eau au moins. Les registres doivent être ouverts, sauf pendant les trois dernières heures; à ce moment, la fermeture des registres peut donner de l'arôme au malt.

La température maxima de touraillage pour le malt Pilsen est de 62°.

Voici la marche d'une touraille de malt Pilsen :

	PLATEAU SUPÉRIEUR.		PLATEAU INFÉRIEUR.	
	Temp. du malt.	Eau.	Temp. du malt.	Eau.
1°	20°	42 p. 100	31°	8 p. 100
6 h.	28°	35 —	50°	6 —
12 h.	44	18 —	56°	4 —
18°	50°	12 —	60°	3 —
24°	56°	8 —	62°5	2°5 —

On voit que pour le malt, spécialement pâle, de Pilsen, le malt n'est descendu au plateau inférieur, qu'après après avoir perdu par dessiccation à basse température, l'eau en plus de 8 p. 100; au contraire, on a descendu

le malt Munich, encore avec 14 p. 100 d'eau, quantité suffisante pour amener la coloration désirée pour le malt.

Dégermeuse. — En sortant de la touraille le malt passe par un tambour animé d'une vitesse de rotation assez grande, ce qui élimine la presque totalité des radicelles. Quelques malteurs suppriment cette opération et conservent le malt avec ses radicelles, il

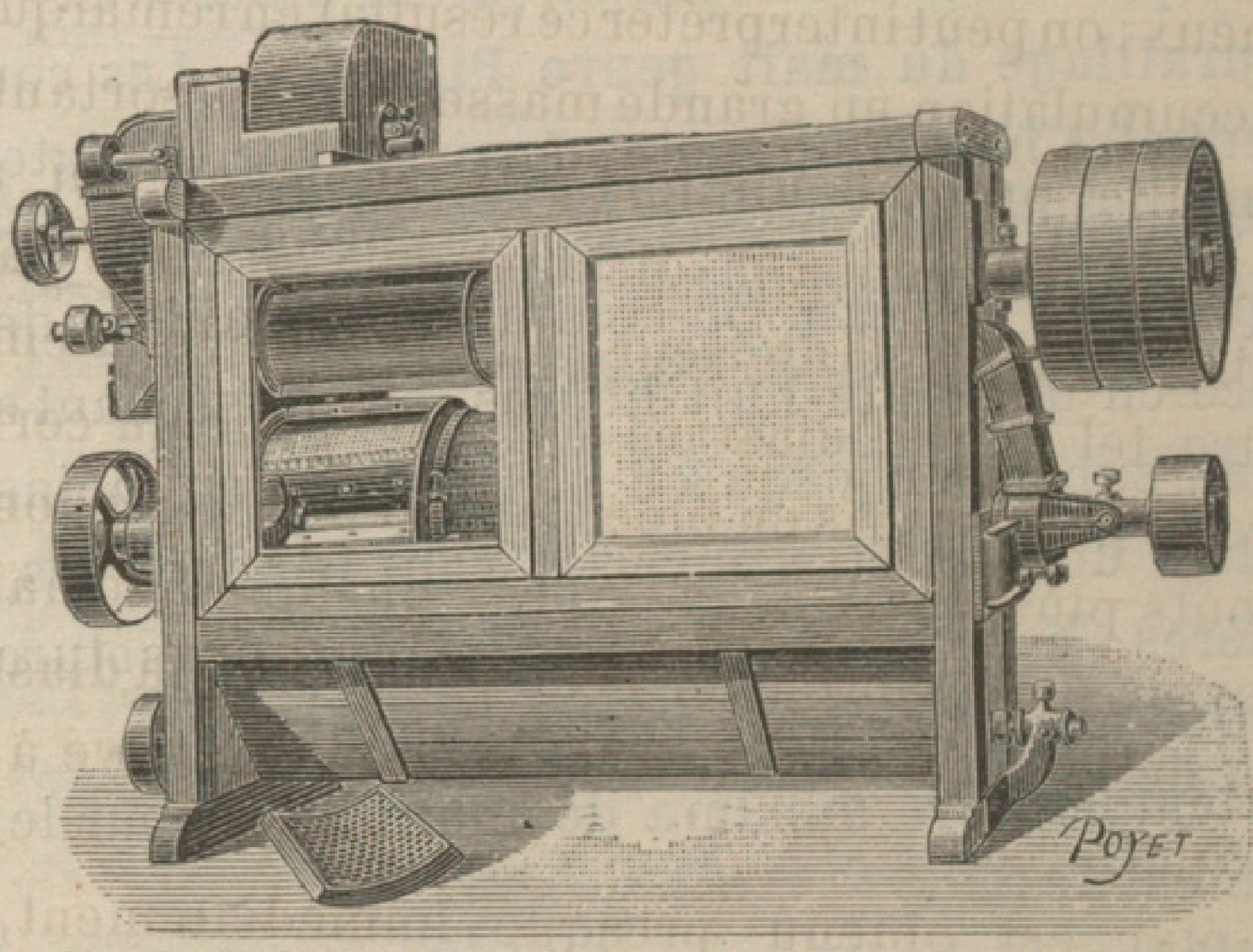


Fig. 44. — Dégermeuse et polisseuse de malt (Diebold et Michel, constructeurs à Nancy).

ne semble pas que cela ait d'inconvénient, si le local est très sec, et tout à fait exempt de moisissures, mais, dans le cas contraire, les moisissures attaquent très facilement les radicelles et infectent ensuite le malt. La figure 44 représente la dégermeuse de MM. Diebold et Michel, constructeurs à Nancy.

Conservation du malt. — Le malt sortant de la touraille est généralement entassé dans les silos, en grande masse. Si l'on fait l'essai de ce malt, à divers moments :

1° au sortir de la touraille, le malt étant refroidi en couche mince ;

2° après deux ou trois jours de repos, le malt étant conduit directement dans le silo;

3° après cinq à six semaines dans le silo.

On trouve que l'échantillon 1 donne la même durée de dissolution, et sensiblement les mêmes proportions de sucre que l'échantillon 3; au contraire le n° 2, a une dissolution bien plus longue et fournit un moût plus dextrineux ; on peut interpréter ce résultat en remarquant que l'accumulation en grande masse du malt sortant de la touraille produit un fort échauffement qui agit encore, pour déprimer la diastase déjà affaiblie par le touraillage ; dans l'intérieur du silo, l'échauffement peut être tel que la diastase soit tuée pour un certain nombre de grains ; pris en bloc, le malt doit donc donner des moûts plus dextrineux. Après quelques semaines de repos, le malt reprend de l'eau peu à peu, la diastase devient de nouveau plus active, et le malt arrive à son état d'équilibre.

Cet état est obtenu presque immédiatement, en laissant refroidir le malt en couches minces, au sortir de la touraille, et en l'ensilant seulement après refroidissement.

L'entassement du malt en grandes masses au sortir de la touraille ne peut avoir de sens que pour donner au malt un arome plus prononcé, et en même temps pour faire des malts très dextrineux ; mais en général, c'est justement l'inverse que l'on recherche dans la plupart de nos brasseries, de sorte qu'il sera préférable de conserver au malt le maximum de diastase, en l'étalant en couches minces au sortir de la touraille.

Analyse du malt. — Le malt sortant de la touraille est à peu près complètement anhydre, mais il reprend très vite de l'humidité; il est important de connaître la dose d'eau du malt, puisque le prix d'achat comprend l'eau comptée comme malt et au même prix.

On donne le nom d'*extrait* à la quantité de matières contenues dans 100 grammes de malt, qui se dissolvent dans l'eau, à une température de 70°. Un malt, toutes choses égales d'ailleurs, aura d'autant plus de valeur que son extrait sera plus considérable, car plus le malt sera riche en extrait, et moins il en faudra pour obtenir un hectolitre de moût à une densité déterminée.

On dose le maltose dans le petit brassin fait pour déterminer l'extrait et l'on en déduit le maltose donné par 100 grammes de malt; plus cette quantité est élevée et plus le malt est riche en diastase, plus il donnera de moûts sucrés, et de bières fortement atténuées.

Le rapport de maltose à non maltose, indique quelle est la proportion de maltose dans l'extrait. On admet généralement que pour les bières, genre Dreher, ce rapport doit varier entre 1/0,48 et 1/0,52.

La durée de dissolution indique le temps mis par le malt à 70° pour saccharifier intégralement l'amidon.

Elle est d'autant plus courte que le malt aura été mieux désagrégé, c'est-à-dire que les parois cellulosiques des grains d'amidon ont été plus complètement dissoutes par la cytase. On considère quatorze à dix-huit minutes comme une très bonne dissolution, dix-huit à vingt-cinq, comme une dissolution moyenne, enfin de vingt-cinq à trente-cinq comme mauvaise.

Comme exemple, voici un spécimen d'analyse de malt :

Eau.....	5.08	p. 100
Extrait du malt.....	72.77	—
Extrait du malt sec.....	76.67	
Maltose de 100 gr. malt sec.....	50.69	—
Matose à non maltose.....	1/0,51	—
Durée de saccharification.....	20 m.	

Comparaison entre l'orge et le malt correspondant. — Il n'existe pas de relation certaine entre l'orge et le malt correspondant, d'ailleurs une telle relation est impossible à établir, à cause de l'influence énorme exercée sur la qualité du malt par le travail de germination et de touraillage. Naturellement une orge pauvre en amidon ne peut donner qu'un malt à extrait faible, et inversement une orge très riche en amidon, fournira, en général, un malt à extrait élevé. On ne peut même pas fixer d'une façon sûre, le rendement en malt de 100 kilogrammes d'orge, puisque la perte dépendra et de l'intensité de la germination et de la longueur des radicelles.

Le seul but que l'on puisse se proposer, c'est de chercher pour une malterie déterminée, travaillant toujours avec une absorption d'eau égale à la trempe, les mêmes températures de germination et la même ventilation, quelle sera la composition du malt répondant à une orge déterminée. Cette prévision ne saurait acquérir de caractère certain qu'après une longue série d'analyses comparatives.

Malt couleur. — On donne ce nom à du malt fortement coloré en brun, et qui sert à donner au moût de bière brune, sa teinte. Ce malt est incapable de se saccharifier seul, puisqu'il a été soumis à une température suffisante pour détruire toute diastase.

On peut fabriquer le malt couleur sans grande ins-

tallation spéciale, en grillant le malt vert dans un appareil analogue à celui qui sert pour le café ; toutefois ce procédé donne des produits très inégaux, et le malt se brûle très facilement.

Le procédé industriel consiste à prendre soit du malt vert, soit du malt bien touraillé que l'on fait macérer de quatre à six heures avec de l'eau à 65-70°. Après ce temps on l'introduit dans un cylindre à double enveloppe, chauffé à la vapeur à une température de 100-120°, et qui est parcouru par un fort courant d'air chaud ; le cylindre peut tourner autour de son axe.

On laisse le malt dans cet appareil jusqu'à ce qu'il soit devenu bien brun, ce qui demande une heure environ ; ensuite on le laisse refroidir, on chauffe de nouveau et ainsi de suite jusqu'à ce que le grain soit complètement gonflé et d'une belle couleur. On emploie environ 60 centilitres de ce malt couleur, par 100 kilogrammes de malt pour les bières brunes.

La composition des malts couleur, commerciaux a été étudiée par Prior ; en traitant un tel malt par l'eau bouillante, celle-ci contient pour cent de matière sèche :

Saccharose.....	4.21 p. 100
Maltose et sucre inverti.....	19.07 —
Isomaltose.....	22.57 —
Dextrine et caramel.....	54.12 —

Cette forte production de sucre n'a rien d'étonnant, étant donné le mode de préparation : pendant le gonflement du malt sec, et au bout de la dessiccation, l'action de la diastase peut se produire, sans que le germe continue à respirer.

Touraillons ou germes de malt. — Les radicelles sont enlevées par la dégermeuse au malt sortant de la

touraille. Elles constituent une matière très riche en azote, environ 3,20 p. 100 correspondant en moyenne à 19-20 p. 100 de matières albuminoïdes. En outre, elles renferment 35 p. 100 à peu près de matières saccharifiables ou de sucre préexistant.

Ces touraillons sont employés soit pour l'alimentation des animaux, soit comme engrais, leur prix de vente varie de 8 à 12 francs les 100 kilogrammes suivant l'abondance des fourrages. Leur valeur alimentaire est considérable, et ils sont hautement appréciés en Allemagne, où l'on achète la plus grande partie des touraillons produits dans l'est de la France.

Ces touraillons réussissent aussi très bien comme engrais à la dose de 1000 à 1500 kilogrammes par hectare, mais ils sont en France, encore moins employés comme engrais que comme aliment pour le bétail.

Le Dr Roux, de Lyon, et M. Lauth ont vanté récemment l'action énergique des touraillons contre le choléra, mais ce remède ne peut être encore considéré comme certain.

CHAPITRE IV

EAU

On dit souvent qu'une eau potable est toujours bonne pour la brasserie, mais c'est là une affirmation qui n'est pas absolue, puisque les conditions exigées dans les deux cas ne sont pas identiques.

On demande bien dans les deux cas que l'eau soit claire, sans dépôt, qu'elle n'ait aucun goût, mais des substances qui dans l'eau de boisson n'ont aucune action hygiénique, deviennent très importantes en brasserie et peuvent modifier gravement le caractère de la bière. De même, au point de vue bactériologique, ce ne sont pas les mêmes êtres qui sont à considérer comme dangereux, pour l'eau potable et pour l'eau servant à la fabrication. Nous considérerons d'abord l'eau servant à la malterie et à la brasserie, ensuite les eaux servant à l'alimentation des chaudières.

MATIÈRES EXISTANT DANS L'EAU

On doit considérer les *matières organiques*, les *matières minérales*, les *êtres microscopiques*.

Matières organiques. — Elles comprennent les substances qui réduisent le permanganate de potasse; elles proviennent, en général, des débris végétaux plus

ou moins décomposés qui existent dans le sol traversé par l'eau, quelquefois aussi ces matières organiques ont une origine moins innocente et sont dues à des infiltrations d'eaux résiduelles, de fosses d'aisance ou de fumier.

Une bonne eau de brasserie doit contenir aussi peu que possible de matières organiques, car celles-ci fournissent aux bactéries des aliments ; une eau chargée de matières organiques est généralement infectée par une ou plusieurs espèces de ferments.

De plus, la présence des matières organiques, en quantité supérieure à 40 milligrammes par litre environ, amène une coloration plus forte de la bière. Cette action ne se manifeste pas d'une façon sensible pendant le travail en cuve matière, mais elle apparaît pendant l'ébullition du moût, et elle est d'autant plus marquée que l'ébullition est plus longue. La bière peut devenir presque deux fois plus foncée, avec une eau contenant 100 milligrammes de matière organique par litre.

On peut admettre qu'une bonne eau de brasserie ne contiendra pas plus de 40 milligrammes de matières organiques par litre.

Pour la malterie, c'est-à-dire pour la trempe de l'orge, ces substances sont moins nuisibles ; toutefois, elles présentent encore l'inconvénient de fournir des aliments aux bactéries ou moisissures apportées par l'orge, de sorte que l'eau de trempe s'altère bien plus vite.

Matières minérales. — On doit considérer comme importantes : l'ammoniaque, l'acide nitreux, l'acide nitrique ou les nitrates, les chlorures, les sulfates de

chaux et de magnésie, le carbonate de chaux, le carbonate de potasse et quelquefois le fer.

L'*ammoniaque* ne doit exister qu'en quantités indosables, c'est-à-dire moins de $0^{mgr},2$ par litre. Quand cette proportion est dépassée, il y a lieu de craindre des infiltrations de fosses d'aisance ou de purin. Quelquefois aussi l'ammoniaque provient de ce que l'eau a traversé des couches de sol tout à fait saturées d'ammoniaque, par suite des mêmes infiltrations. Une eau de brasserie ne doit pas contenir d'ammoniaque, et il n'y a aucun moyen d'éliminer celle-ci quand elle existe.

Nitrites. — L'acide nitreux ne se trouve que dans les eaux insuffisamment aérées, et à l'état de nitrite de chaux ou de potasse; il existe généralement à côté d'une quantité notable de matières organiques.

Les nitrites sont des poisons violents pour la levure, mais il n'y a guère à craindre que, de l'eau employée au brassage, ils parviennent au contact de la levure; en effet, les nitrites s'oxydent avec une extrême facilité, par le simple contact de l'eau avec l'air, et cette oxydation a lieu au moins partiellement pendant la manipulation de fabrication. De plus, pendant l'ébullition du moût et des trempes, les acides du moût décomposeraient en partie les nitrites, et l'acide nitreux, mis en liberté, serait sûrement détruit ou expulsé par l'ébullition.

Les nitrites ne deviendraient donc dangereux que s'ils étaient en proportion très considérable, ce qui est extrêmement rare. On aurait d'ailleurs toujours le moyen de les éliminer en aérant l'eau avant l'emploi, soit par simple séjour à l'air dans un réservoir, soit par

une injection d'air. Ce traitement transforme les nitrites en nitrates, qui viennent s'ajouter à ceux existant déjà dans l'eau, de sorte que celle-ci peut devenir alors mauvaise, non plus par les nitrites mais par les nitrates.

Nitrates. — Les nitrates sont maintenant des produits existant normalement dans presque toutes les eaux, surtout depuis que l'emploi du nitrate de soude comme engrais s'est beaucoup généralisé. Tant que la dose de nitrate ne dépasse pas 40 milligrammes, elle est à peu près sans effet; mais il n'en est plus de même, si elle monte à 70, 80 milligrammes par litre; l'action des nitrates sur la levure se manifeste par une dégénérescence de celle-ci, en même temps, par une coloration rougeâtre et une saveur âcre de la bière.

L'élimination des nitrates est à peu près impossible. On a indiqué cependant comme un bon procédé d'ajouter à l'eau du bisulfite de chaux; mais ce traitement ne pourrait réussir que si l'on ajoutait en même temps de l'acide sulfurique pour décomposer les nitrates et mettre en liberté l'acide nitrique qui pourrait alors oxyder le bisulfite. Même avec chances de succès, cette méthode ne serait pas à conseiller, car l'introduction d'acide sulfurique dans une eau est toujours un fait grave, et qui peut prêter à des erreurs dangereuses lorsque le maniement de l'acide est laissé aux soins d'ouvriers.

Chlorures. — Ils n'existent normalement qu'en petite quantité, sauf bien entendu au bord de la mer. A une distance de 50 kilomètres de la mer, on ne trouve pas plus de 30 milligrammes de chlore par litre, sauf le cas d'infiltration et encore souvent cette dose de 30 milligrammes est-elle loin d'être atteinte, les quantités

les plus courantes sont de 8 à 20 milligrammes. Le chlore existe à l'état de chlorure soit de sodium (sel ordinaire) soit de calcium. L'action de ces deux sels sur les produits de la saccharification est assez analogue, mais le chlorure de calcium est beaucoup plus énergique.

Si l'on compare la bière faite d'une part avec de l'eau distillée, d'autre part avec l'eau additionnée de 71gr,35 de chlorure de sodium ou 71gr,35 de chlorure de calcium, on reconnaît après conservation que le chlorure de calcium a donné une coloration notablement plus foncée, une saveur douce et sucrée, avec une clarification médiocre. Pour le chlorure de sodium, la clarification seule est défectueuse et la bière reste nuageuse.

Le chlorure de calcium rend la levure grasse et difficile à presser.

Le chlorure de calcium augmente la proportion de maltose combinée, c'est-à-dire de malto-dextrines et peut donc rendre des services pour la préparation de bières très dextrineuses à faible atténuation.

Quant au sel, à dose faible, 1 gramme par litre au plus, il développe un goût sucré qui persiste dans la bière, tandis qu'en proportion plus forte, il communique un goût un peu amer. D'ailleurs, pour les doses supérieures à 1 gramme par litre, la levure s'affaiblit et laisse pour la fermentation secondaire des malto-dextrines de types très bas qui auraient dû fermenter à la cuve.

Sulfate de chaux ou gypse. — Ce sel à la dose de 57 grammes par hecto donne sensiblement le même extrait que l'eau distillée, mais la proportion de maltose est plus forte ; de sorte que dans la bière, il y a

plus d'alcool, non seulement que pour l'eau distillée, mais encore que pour les autres sels. Il semble que la proportion de dextrine combinée augmente également, et que cet accroissement du maltose libre et de la dextrine soit compensé par une diminution des sucres difficilement ou non fermentescibles ; en somme, l'atténuation est à peu près la même pour l'eau gypseuse et pour l'eau distillée, un peu plus forte cependant pour l'eau gypseuse. Comme *clarification* et comme *goût*, la bière brassée à l'eau contenant du gypse se montre supérieure.

La présence du gypse augmente la quantité de matières azotées précipitées par ébullition des infusions froides de malt ; tandis qu'avec l'eau distillée, 100 grammes de malt donnent 1^{gr},06 albuminoïdes précipités, cette quantité s'élève à 1^{gr},72 pour l'eau gypseuse. Lorsque l'infusion est faite à une température plus élevée, 71° par exemple, la proportion se renverse, 0,566 pour l'eau distillée, 0,39 pour l'eau gypseuse.

De ces matières azotées coagulées, une très petite proportion peut être redissoute par l'eau gypseuse, environ 0^{gr},01 par 100^{cc} de moût.

A dose faible, le gypse ne précipite pas plus d'acide phosphorique que l'eau distillée, mais pour les eaux très gypseuses, il n'en est plus de même. En comparant les quantités d'acide phosphorique laissées dans 100 grammes de moût, Moritz et Morris ont trouvé :

	Eau distillée.	Eau avec 71^{gr},2 gypse par hecto.	Eau avec 142.7 gypse par hecto.
Acide phosphorique.	0^{gr},129	0^{gr},104	0^{gr},089

Les eaux contenant de pareilles doses de gypse sont rares ; cependant on en cite quelques exemples, no-

tamment, Moritz et Morris (*Handbuch der Brauwchenschaft*) donnent une eau de Leicester avec 158 gr. de sulfate de chaux par hectolitre.

Sulfate de magnésie. — C'est un élément qui n'existe en général qu'en très faible proportion. Cependant, Schula cite dans les *Mittheilungen* de la station de Prague, une eau contenant $46^{gr},76$ de ce sel par hecto. Aussi la bière en renfermait-elle $1^{gr},1$ par litre, tandis que l'eau de Carlsbad n'en donne que $0^{gr},73$. C'est donc une bière purgative énergique.

Le sulfate de magnésie paraît agir d'une façon analogue au sulfate de chaux, sauf toutefois que la clarification est défectueuse, et que la bière contracte un goût un peu pharmaceutique.

Carbonates de soude et de potasse. — Ces substances empêchent la saccharification du malt, ou tout au moins la rendent très difficile ; elles diminuent l'atténuation, et le taux d'alcool dans une forte proportion.

L'action la plus importante des carbonates alcalins s'exerce sur la coloration des bières et sur la redissolution des matières azotées précipitées en chaudière; tandis que l'eau distillée ne redissout que $0^{gr},01$ en moyenne de ces substances, l'eau additionnée de carbonate de soude ou de potasse en dissout jusqu'à $0^{gr},16$ par 100 grammes. Ces substances dissoutes à chaud sont ensuite reprécipitées partiellement par refroidissement, et viennent rendre la bière louche. On reconnaît aisément cette action à la *cassure*, qui, très nette avec l'eau distillée ou avec l'eau gypseuse, devient nulle avec l'eau alcaline; par conséquent, le moût qui se sépare limpide des flocons de matières azotées dans le premier cas, reste trouble en présence du carbonate

de soude ou de potasse. C'est surtout ce dernier sel que l'on rencontre dans les eaux.

Les carbonates alcalins communiquent aussi à la bière un goût fade et désagréable dès qu'ils se trouvent en proportion notable.

Un autre inconvénient, c'est que les carbonates alcalins saturent partiellement au moins l'acidité des moûts, ceux-ci deviennent alors beaucoup plus altérables pour les bactéries, dont un grand nombre se développe aisément en milieu neutre, tandis que leur vie est presque impossible dans un moût acide.

Carbonate de chaux. — Ce corps existe dans l'eau à l'état de bicarbonate, mais par l'ébullition il se précipite. Il exerce cependant avant cette précipitation, une action notable sur le caractère de la bière. D'abord, la coloration du moût augmente, elle est très supérieure à celle que provoquent les autres sels, mais un peu au-dessous de celle due au carbonate de soude. La clarification ne se fait que difficilement, et enfin le goût est amer, brûlant, avec un arrière-goût désagréable. Ces manifestations gênantes se produisent pleinement à la dose de 70 grammes de carbonate de chaux par hecto, mais elles subsistent à un degré plus ou moins fort, pour des proportions même peu élevées de carbonate de chaux.

Ajoutons que l'effet signalé pour les carbonates alcalins, se manifeste ici encore, et à un degré plus élevé au point de vue de l'altérabilité du moût. Le carbonate de chaux qui existe dans les eaux en quantités beaucoup plus grandes que les carbonates alcalins, sature aussi l'acidité du moût ; le développement des ferments est ainsi rendu plus aisé, et, de plus, une fois celui-ci

commencé, la présence du carbonate de chaux sature encore les acides au fur et à mesure de leur production, de sorte que l'altération va croissant.

Fer. — C'est un élément constant des eaux, mais ordinairement à doses tellement faibles, qu'il faut concentrer un grand volume d'eau pour le trouver et le doser. Dans ces conditions, qui sont les plus habituelles, le fer n'a aucune action. On rencontre cependant quelques eaux qui contiennent du fer en proportion notable, 1 à 3 milligrammes par litre. On voit alors se produire une coloration verdâtre des moûts due à l'action du tannin du houblon sur le fer; cette coloration persiste dans la bière, et se communique même partiellement à la levure. La présence du fer nuit aussi à l'action de la diastase.

Au point de vue malterie, l'eau ferrugineuse brunit les grains et gêne la germination.

Action des matières minérales de l'eau sur le caractère et la composition des bières. — Voici un tableau publié par Readman (1), les eaux employées étaient :

1°	Eau distillée.		
2°	Eau avec..	71.35 carbonate de chaux par hectolitre.	
3°	—	71.35 chlorure de calcium	—
4°	—	71.35 sulfate de chaux	—
5°	—	71.35 carbonate de magnésie	—
6°	—	71.35 chlorure de magnésium	—
7°	—	71.35 sulfate de magnésie	—
8°	—	71.35 chlorure de sodium	—
9°	—	71.35 carbonate de soude	—
10°	—	71.35 azotate de potasse.	—

La saccharification faite entre 62 et 70° était com-

(1) *Journ. of the Soc. of Chem. Industr.* XIII, p. 867.

plète en une heure, sauf pour le carbonate de magnésie (deux heures) et le carbonate de soude, avec lequel elle ne peut être terminée.

Les moûts étaient clairs, sauf pour le carbonate de soude et de magnésie.

Ordre de coloration croissante. — 1, 7, 4, 6, 10, 3, 8, 2, 5, 9.

Clarification quatorze jours après la fermentation principale. — 1° Presque claire; 2° trouble; 3° assez claire; 4° très claire; 5° limpide mais foncée; 6° nuageuse; 7° nuageuse; 8° nuageuse; 9° limpide mais foncée; 10° un peu voilée.

Composition des bières.

	Alcool p. 100.	Extrait réel p. 100.	Azote p. 100.	Acide phosphorique p. 100.	Extrait fermenté p. 100.
Eau distillée.....	4.57	5.15	0.098	0.122	45.5
Carbonate de chaux..	3.96	4.25	0.084	0.089	42.5
Chlorure de calcium.	4.02	6.10	0.101	0.104	41
Sulfate de chaux.....	4.88	5	0.112	0.097	47
Carbonate de magnésie.....	4.14	»	»	0.101	44
Chlorure de magnésium.....	4.64	5.12	0.095	0.104	46
Sulfate de magnésie.	4.33	6.07	0.101	0.113	42
Chlorure de sodium.	3.84	6.15	0.100	0.090	38
Carbonate de soude..	3.73	5.72	0.067	0.093	39
Azotate de potasse..	3.26	6.29	0.090	0.118	33

Comme goût, un mois après le brassage, on a trouvé :

1° Odeur agréable, pas de caractère spécial ;

2° Goût amer et brûlant, arrière-goût;

3° Odeur douce, agréable;

4° Bière parfumée;

5° Non dégustée;

6° Odeur désagréable;

7° Saveur de pharmacie, mais odeur agréable;
8° Mauvaise odeur, goût désagréable, bière trouble ;
9° Goût fade, désagréable ;
10° Arrière-goût désagréable.

Êtres microscopiques. — Ceux qui existent dans l'eau sont le plus souvent des bactéries et des moisissures, parfois des torulas, rarement des levures.

De ces organismes, les seuls intéressants pour le brasseur sont ceux qui peuvent provoquer des altérations du moût et de la bière, et comme les infections qui proviennent de ces ferments de l'eau sont toujours très graves, il est prudent avant d'employer une eau, de savoir quelle est l'action des microorganismes qu'elle renferme sur le moût et la bière.

On distingue en effet trois catégories parmi les bactéries de l'eau, au point de vue de la brasserie :

1° Celles qui vivent seulement dans le moût;
2° Celles qui vivent seulement dans la bière;
3° Celles qui vivent à la fois dans le moût et dans la bière.

Le cas le plus général est celui de bactéries se développant uniquement dans le moût, et beaucoup d'eaux n'en renferment pas d'autres. Quelquefois l'une ou l'autre des deux dernières catégories est représentée. Pour que cet essai ait une portée pratique, il faut que la recherche des bactéries, ou plus généralement des organismes qui se développent dans la bière, soit faite sur de la bière normale, stérilisée bien entendu, mais saturée d'acide carbonique, et possédant son taux habituel d'alcool. Si la recherche était effectuée sur de la bière stérilisée sans précautions spéciales, c'est-à-dire ayant perdu tout son acide carbonique et la ma-

jeure partie de son alcool, on trouverait bien plus fréquemment, presque chaque fois, des ferments vivant dans une telle bière, qui ne serait plus qu'une espèce de moût dilué.

On procède généralement pour étudier l'action des microorganismes de l'eau sur le moût et la bière de la façon suivante (méthode de Hansen).

On met dans vingt flacons contenant du moût stérilisé, une goutte d'eau à l'aide d'un tube stérile ; dans un flacon de bière stérilisée avec les précautions nécessaires pour lui conserver son acide carbonique et son alcool, on introduit 1 ou 2 centimètres cubes d'eau. Le tout est placé dans une étuve à la température de 25° pendant huit à dix jours. Après ce temps, on examine au microscope chaque flacon et l'on peut reconnaître si chacun contient une espèce unique ou plusieurs, ou enfin s'il n'est pas altéré. On admet que chaque espèce développée dans un flacon, provient d'un germe unique qui était contenu dans l'eau ; on détermine aussi la nature de ces espèces, et l'on peut en déduire ce que l'on nomme le nombre de colonies par centimètre cube d'eau, c'est-à-dire le nombre de germes capables de se développer dans le moût, et contenus dans un centimètre cube de l'eau.

Pour la bière, l'examen se fait de la même façon, on reconnaît d'abord s'il y a eu un développement, quelle est l'espèce ; on examine aussi si la limpidité, le goût ou l'acidité ont été modifiés par cette infection.

Il est indispensable de tenir compte, surtout pour les organismes vivant seulement dans le moût, de la rapidité du développement. Si une eau ne provoque dans le moût un trouble ou une odeur désagréable

qu'au bout de cinq ou six jours à 25°, il serait inexact de considérer cette eau comme dangereuse; en effet, elle ne restera jamais en contact avec le moût plus de vingt-quatre heures et à une température bien inférieure à 25°, c'est-à-dire dans des conditions de développement bien plus mauvaises encore, et il est certain qu'aucune altération ne prendra naissance du fait de l'eau en question.

Appréciation de la valeur d'une eau. — On doit considérer comme dangereuse :

1° L'eau qui renferme des bactéries capables de se développer dans la bière, en y produisant soit un trouble, soit des acides, soit une odeur particulière ;

2° Celle qui contient de l'ammoniaque ou des nitrites ;

3° Celle qui donne au moins cent cinquante colonies par centimètre cube de bactéries se développant en deux jours au plus dans le moût.

4° Celle qui présente des signes d'infiltration de fosses d'aisance, d'eau résiduelles ou de fumier, c'est-à-dire présence simultanée d'ammoniaque, d'une forte proportion de chlorures, de nitrates et de matières organiques.

En dehors de ces cas, l'eau est plus ou moins bonne, plus ou moins pure, mais elle n'est pas inutilisable et l'on peut toujours arriver à la corriger. Il est nécessaire, d'ailleurs, que cette appréciation de l'eau soit faite, non pas seulement par un chimiste ou par un bactériologiste, mais par quelqu'un au courant de la brasserie et connaissant le rôle des divers éléments dans la fabrication.

TRAITEMENT DES EAUX DÉFECTUEUSES

On peut arriver dans un certain nombre de cas à améliorer une eau, sinon impropre au brassage, du moin défectueuse ; mais il existe un grand nombre de procédés qui, loin d'améliorer l'eau, la rendent plus mauvaise encore, quand ils sont traités industriellement, alors que les essais de laboratoire donnent d'excellents résultats; il faut donc avoir soin, avant d'acquérir tel appareil plus ou moins vanté, de le prendre à l'essai, ou tout au moins avec garantie d'une épuration ou d'une modification déterminée de l'eau.

Filtration. — Le but des divers filtres est de débarrasser l'eau des ferments qu'elle renferme; comme matières filtrantes, on emploie un petit nombre de substances, le sable, le charbon, l'amiante, la porcelaine dégourdie et quelquefois l'éponge.

Les seuls filtres qui donnent une stérilisation satisfaisante, au moins pendant quelque temps, sont les filtres du genre Chamberland (fig. 45), c'est-à-dire en porcelaine dégourdie ou en porcelaine d'amiante (système Garros) mais ces instruments ont, au point de vue industriel, un grave inconvénient, c'est leur faible débit. De plus, ils ne fonctionnent d'une façon satisfaisante, qu'avec de l'eau sous pression assez forte, ce qui n'existe pas dans toutes les brasseries. Aussi ces filtres ne se sont-ils pour ainsi dire pas répandus en brasserie.

Restent donc le sable, le charbon, l'amiante et l'éponge. Quelle est l'action d'un tel filtre? Au début de la filtration, l'eau abandonne en effet à la masse,

une partie de ses ferments, avec un peu de matière organique ; mais ces germes ne tardent pas à se développer vigoureusement aux dépens des dépôts orga-

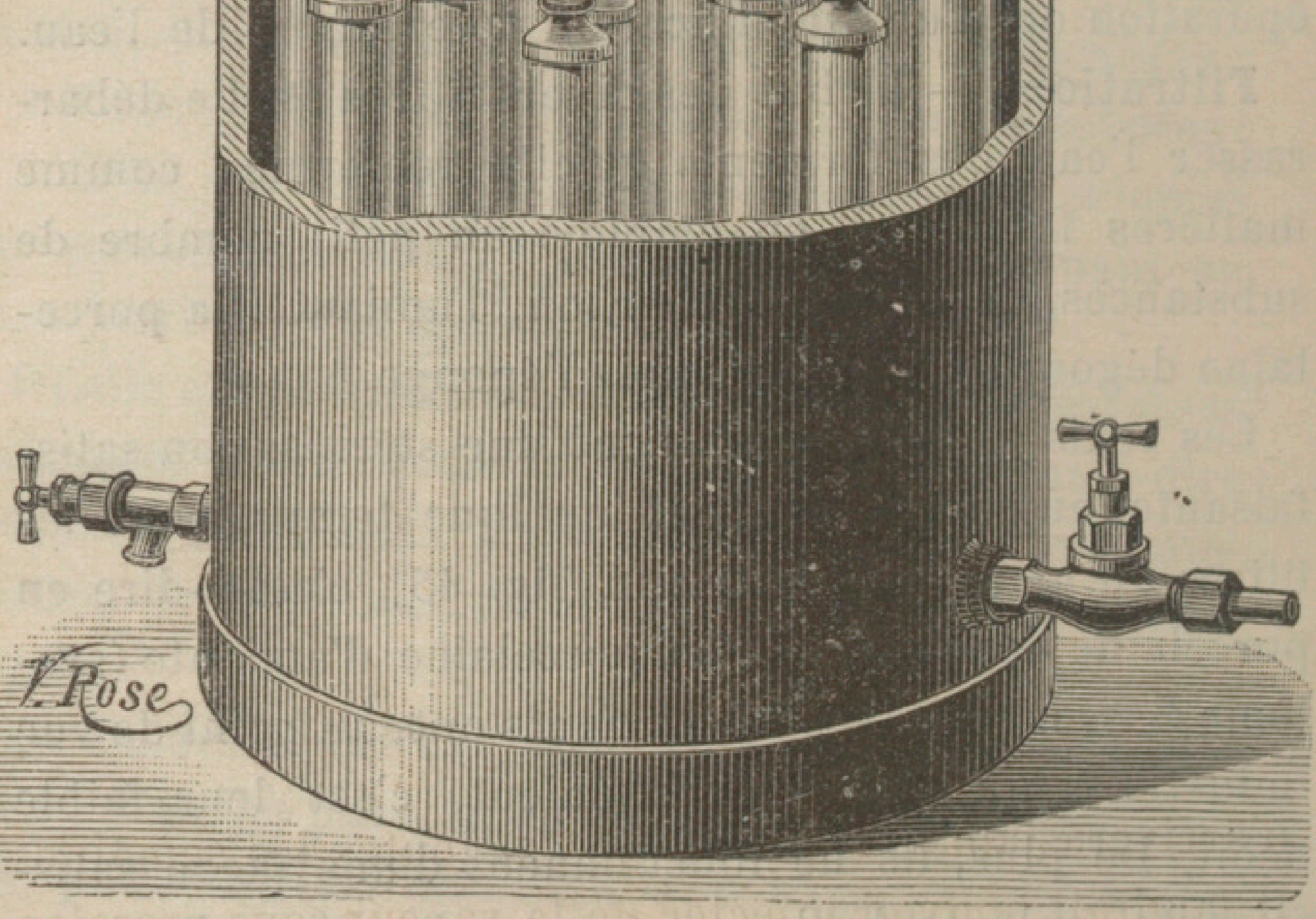


Fig. 45. — Filtre Chamberland.

niques laissés par l'eau, et bientôt l'eau qui passe sur le filtre, entraîne des ferments, au lieu d'en laisser. Il en résulte qu'au bout de peu de temps, le filtre laisse passer de l'eau plus souillée que s'il n'y avait pas de filtration.

Cette infection des filtres est extrêmement rapide. Au bout de quatre à cinq jours, une semaine au plus, l'infection de l'eau et son nombre de colonies par centimètre cube augmentent.

Le seul remède à une telle situation serait la stérilisation complète et fréquente de la masse filtrante, mais c'est là une opération difficile, longue, et que l'on

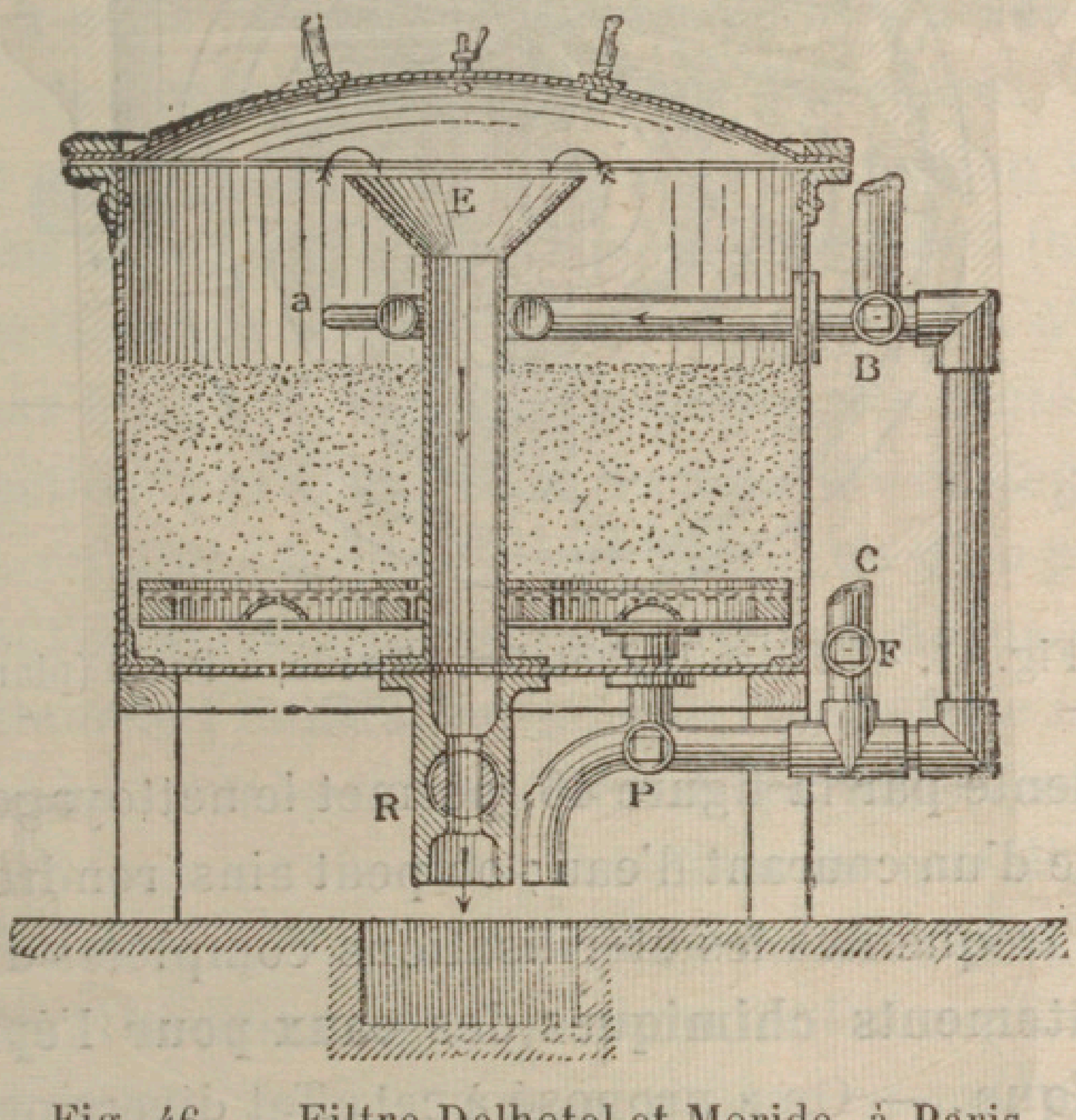


Fig. 46. — Filtre Delhotel et Moride, à Paris.

n'arrivera jamais à faire exécuter toutes les semaines. Il faudrait pouvoir injecter de la vapeur sous pression, mais le filtre n'est pas toujours à proximité d'une conduite de vapeur. Et encore pour le charbon, par exemple, ce traitement serait-il insuffisant. D'ailleurs, dans la plupart des brasseries, on se contente de laver à l'eau, à intervalles éloignés, chaque deux mois par exemple, les appareils à filtration. Il en résulte que par excès de précaution l'on utilise de l'eau plus chargée de bactéries.

Nous pouvons donc dire que l'emploi des filtres destinés à débarrasser l'eau des ferments, n'est recommandable que si l'on veut s'astreindre à un nettoyage sérieux et très fréquent. Le filtre à sable Delhotel et Moride,

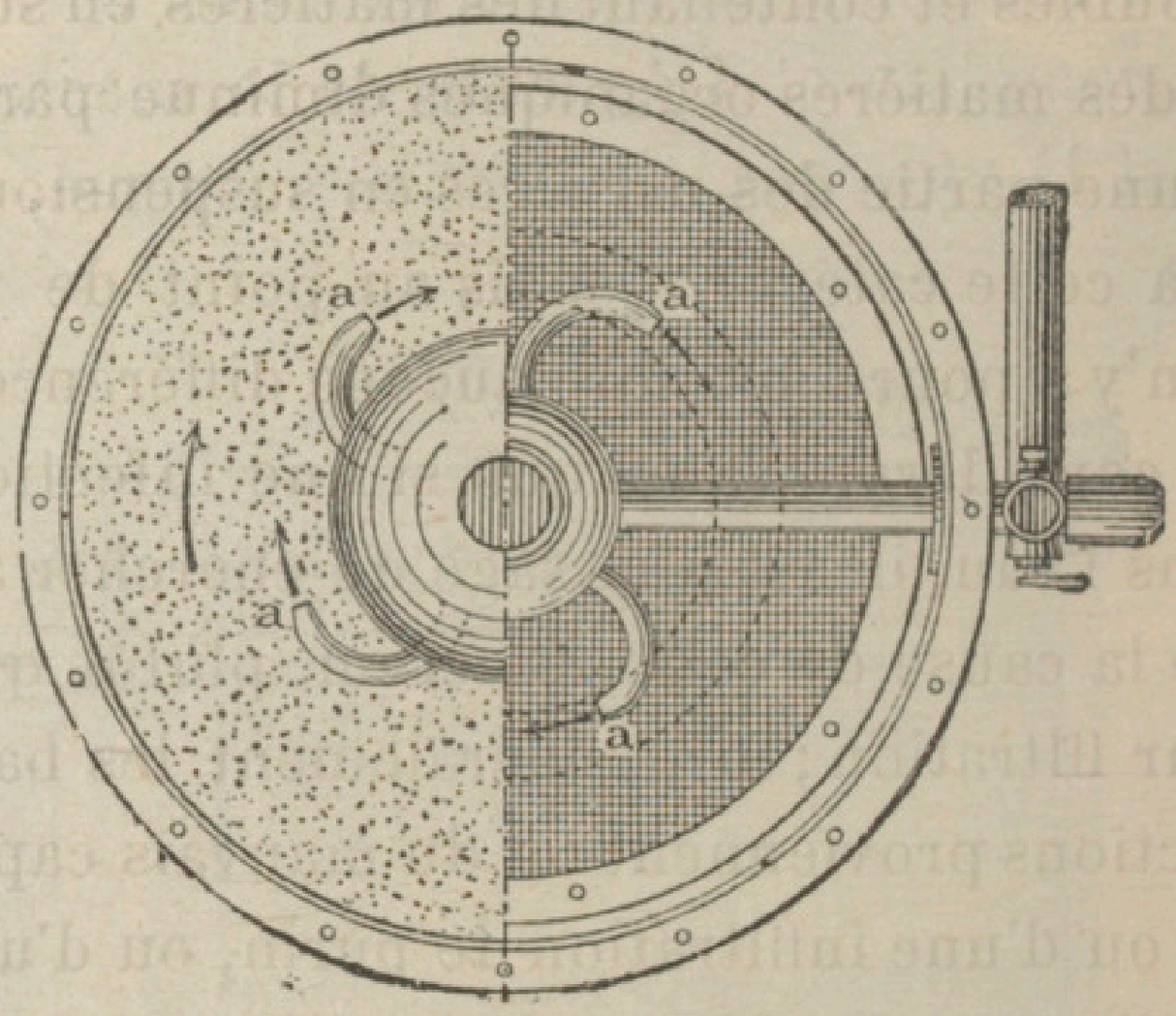


Fig. 47. — Filtre Delhotel et Moride, à Paris (plan).

représenté par la figure 46, permet le nettoyage partiel à l'aide d'un courant d'eau ; on peut ainsi rendre un peu moins fréquentes les stérilisations complètes du sable.

Traitements chimiques des eaux pour l'épuration organique. — On a proposé à cet effet divers procédés : l'emploi du permanganate de potasse a été fortement recommandé ; sans doute c'est là un traitement efficace pour les matières organiques, mais pour des ferments, il ne donne de résultats que si l'opération est faite à l'ébullition. On peut alors se demander si c'est l'ébullition ou le permanganate qui agit.

Le traitement au permanganate est assez coûteux et ennuyeux puisqu'il faut faire bouillir l'eau d'abord, la laisser déposer et refroidir ; aussi ne l'applique-t-on guère que dans les petites brasseries, où le vo-

lume d'eau à traiter chaque fois est peu considérable.

L'alun ou le sulfate d'alumine, sont aussi indiqués souvent: ces substances avec ou sans addition de chaux amènent certainement une clarification parfaite des eaux troubles et contenant des matières en suspension; le taux des matières organiques diminue par là même, puisqu'une partie des matières en suspension appartenaient à cette catégorie, mais au point de vue bactérien, il n'y a pour ainsi dire aucune différence.

Nous considérons donc que si une infection se produit dans l'eau, il est plus sage de chercher à faire disparaître la cause de cette infection, plutôt qu'à épurer l'eau par filtration; or, généralement les bactéries ou les infections proviennent ou du mauvais captage d'une source, ou d'une infiltration de purin, ou d'un puits infecté. Si l'on améliore le captage, qu'on supprime par un canal étanche l'infiltration ou que l'on nettoie le puits, on arrivera certainement à faire disparaître l'infection.

Reste le cas où l'on ne peut disposer que d'une eau infectée, sans qu'il soit possible de remédier à cette infection. On doit alors faire bouillir l'eau qui est destinée au lavage de la levure, n'employer pour le rinçage des fûts et des bouteilles que de l'eau additionnée d'antiseptique, de même pour les tuyaux.

Enfin, si pour essayer de purifier l'eau destinée au brassage, on emploie un filtre, on fera bien de s'en tenir au simple filtre à sable, mais en installant celui-ci à proximité d'une conduite de vapeur, et il faudra s'astreindre, au moins une fois par semaine, à arrêter le filtre, et à le soumettre à une injection de vapeur sous pression; on aura soin de rejeter les premières eaux qui traverseront ensuite le filtre.

Eaux contenant du fer ou des nitrites. — Les nitrites aux doses contenues dans l'eau, s'oxydent avec une extrême facilité au contact de l'air en se changeant en nitrates; il suffira donc d'injecter de l'air, dans l'eau, ou de la faire couler d'une certaine hauteur en filets minces pour éliminer les nitrites.

Une grande partie du fer peut s'éliminer de la même manière, l'oxygène de l'air changeant en sesquioxyde les sels de protoxyde de fer existant dans l'eau.

Eaux contenant des carbonates alcalins. — En présence du sulfate de chaux, les carbonates alcalins donnent du sulfate de potasse et du carbonate de chaux; or le sulfate de potasse ou de soude, aux doses ainsi produites est pratiquement inoffensif.

On procède ordinairement de la façon suivante: on fait traverser à l'eau une caisse, ou cylindre en ciment ou en tôle, complètement remplie de pierre à plâtre ou gypse naturel concassé en morceaux de la grosseur d'une noix. L'eau se débarrasse complètement de ses carbonates alcalins et de plus elle dissout une assez forte proportion de gypse. Suivant la vitesse de passage, on peut atteindre jusqu'à 50 grammes de sulfate de chaux à l'hectolitre. On transforme donc ainsi très aisément une eau mauvaise en une eau de bonne qualité, puisque le sulfate de chaux est de toutes les matières minérales dissoutes dans l'eau, celle qui exerce la meilleure influence sur la cassure du moût, la clarification et la saveur de la bière.

Eaux calcaires. — Le carbonate de chaux n'est dissous dans l'eau que grâce à la présence d'une certaine quantité d'acide carbonique. Si l'on fait disparaître

celui-ci, le carbonate de chaux se précipite à peu près complètement.

Pour éliminer l'acide carbonique, on peut employer deux procédés :

1° *L'ébullition*. — C'est là un procédé coûteux, puisqu'il faut ensuite laisser refroidir l'eau et la décanter avant l'emploi, de plus, pendant le refroidissement, l'eau reprend de l'acide carbonique de l'air et redonne du carbonate de chaux. C'est cependant la méthode employée de préférence par les brasseurs, parce qu'elle n'exige aucune surveillance ni aucun dosage.

2° *La saturation de l'acide carbonique par la chaux*. — On peut arriver par des procédés simples, dont l'un des plus commodes est celui de M. L. Vignon, à déterminer la quantité de chaux nécessaire pour saturer l'acide carbonique dissous dans l'eau, et l'essai peut être fait avec la chaux même que l'on veut employer. On a donc ainsi directement et sans calcul, la dose à ajouter par chaque mètre cube d'eau.

On réunit donc dans un réservoir un volume déterminé d'eau, on ajoute la quantité calculée précédemment de chaux, on agite et on laisse reposer. Il suffit de décanter pour avoir de l'eau débarrassée de carbonate de chaux.

Ce procédé est surtout employé pour l'épuration des eaux destinées à l'alimentation des chaudières, mais rien n'empêche son extension aux eaux de brasserie. Si l'on craint de laisser dans l'eau un excès de chaux, qui ferait colorer la bière, il est facile de ne faire qu'une épuration partielle, en ajoutant par exemple seulement les 9/10 de la quantité de chaux déterminée directement. Il existe d'ailleurs des appareils où l'on peut placer en une fois la provision de chaux nécessaire

pour traiter l'eau qui coule en vingt-quatre heures. Ce traitement s'applique aussi aux eaux contenant du carbonate de magnésie.

Eaux contenant d'autres sels de chaux ou de magnésie. — Les chlorures de calcium et de magnésium exerçant une action bien plus énergique que le chlorure de sodium, on substitue ce dernier aux premiers, en traitant l'eau par du carbonate de soude. Il se forme du carbonate de chaux ou de magnésie et du chlorure de sodium.

Ce traitement, qui s'effectue dans les mêmes conditions que celui indiqué précédemment pour la chaux, n'est pas à conseiller pour les eaux de brasserie, parce qu'il élimine en même temps le sulfate de chaux, en le remplaçant d'une façon peu avantageuse par du chlorure de sodium. Mais il convient parfaitement pour les eaux de chaudière.

On combine même souvent le traitement à la chaux et celui au carbonate de soude pour obtenir des eaux qui ne forment presque plus d'incrustations dans les chaudières. On effectue le plus souvent l'opération dans un seul réservoir, en ajoutant tout à la fois le carbonate de soude et la chaux. Ce système est mauvais, car la chaux réagit aussi sur le carbonate de soude pour donner de la soude caustique et du carbonate de chaux. Celui-ci se précipite seul, et alors loin d'avoir épuré l'eau, on a ajouté aux sels qu'elle contenait primitivement de la soude caustique, c'est-à-dire une matière dangereuse qui attaque les tuyaux des chaudières : de plus, la soude peut être entraînée et si on l'introduit dans le moût, son action est tout à fait funeste et pour la coloration et pour la stabilité de la bière.

CHAPITRE V

HOUBLON ET SUCCÉDANÉS. — PRODUITS ACCESSOIRES.

Les cônes de houblon seuls sont utilisés en brasserie ; on attribue généralement le rôle prédominant à la résine jaune, dite lupuline, que l'on aperçoit entre les folioles et au tannin ; mais comme nous allons le voir, ce ne sont pas là des substances simples, et de plus, d'autres principes, notamment les matières azotées solubles non coagulables et la diastase, interviennent également.

Le houblon contient une certaine quantité d'humidité, 5 à 10 p. 100 suivant la perfection du séchage et de la conservation, 10 p. 100 de cendres ou matières minérales, 12 à 18 p. 100 de matières azotées dont la moitié environ n'est pas coagulable par la chaleur ni par le tannin; la proportion de résine est variable de 12 à 18 p. 100 et celle de tannin aussi de 0,9 à 4 p. 100. Les quantités de lupuline et de tannin changent du reste avec l'âge du houblon, et, en particulier, le taux de tannin baisse beaucoup dans les surannés.

Le houblon est quelquefois soufré pour assurer sa conservation et lui donner une teinte plus belle. Cette falsification peut être reconnue à l'analyse.

Actuellement l'analyse du houblon ne peut mettre en évidence que quelques notions utiles ; elle peut déter-

miner par comparaison avec un échantillon de provenance certaine, l'origine du houblon, constater un mélange de suranné, le soufrage, mais on ne peut guère établir d'une façon certaine, dans l'état de nos connaissances, si un échantillon de houblon est meilleur que tel ou tel autre, soit au point de vue parfum, soit au point de vue conservation. D'ailleurs le mode d'emploi et l'oxydation modifient singulièrement les propriétés.

Hayduck qui a étudié d'une manière très soignée les propriétés du tannin du houblon, constate qu'on peut distinguer deux variétés de cette substance, l'une le *phlobaphène* forme avec les matières azotées des combinaisons insolubles, et donne avec le perchlorure de fer une coloration vert pâle, l'autre, le tannin proprement dit fournit avec les albuminoïdes des combinaisons solubles à chaud, insolubles à froid, et se colore fortement en vert avec le perchlorure de fer. L'ébullition transforme partiellement le tannin en phlobaphène. D'ailleurs ce dernier corps est beaucoup plus utile que le tannin, puisque les matières azotées précipitées par lui sont définitivement éliminées. Hayduck a déterminé les quantités de tannin contenues dans diverses espèces de houblon ; nous donnons ci-dessous ses résultats :

Origine.	Tannin du houblon sec.
Saaz	3.64 p. 100
Spalt	2.92 —
—	2.56 —
Neutomischel	1.94 —
Wolznach	1.91 —
Mainburg	1.84 —

Lupuline. — Hayduck, puis Lintner et Bungener ont constaté dans le houblon la présence de trois résines qu'ils désignent par les indices α, β, γ. Les deux pre-

mières sont de consistance molle, mais on a pu isoler la résine α à l'éclat cristallisé. C'est une substance dénuée de goût mais qui est fortement amère en solution alcoolique. Ces résines sont peu solubles dans l'eau, surtout froide, et leurs solutions claires à chaud se troublent par refroidissement.

Ces résines α et β paraissent jouer un rôle important dans la formation des kraüsen ou mousses de la fermentation. Les résines paraissent aussi précipiter certaines matières azotées du moût. Elles ont une action antiseptique assez prononcée, mais qui ne s'applique pas au ferment acétique ni à quelques autres bactéries.

Matières azotées du houblon. — Elles varient de 12 à 18 p. 100 et les matières azotées non coagulables sont comprises entre 5 et 10 p. 100 d'après Hayduck. Ces substances entrent en solution dans le moût bouillant, et viennent remplacer une partie des albuminoïdes coagulés par la chaleur ou précipités par le tannin. Ces matières non coagulables qui paraissent appartenir à la catégorie des amides sont assimilables par la levure, tandis que les albuminoïdes coagulés ne le sont pour ainsi dire pas. La substitution des amides du houblon aux matières azotées du moût, produit une sorte de compensation apparente, le taux d'azote du moût ne variant que très peu par le houblonnage, si l'on tient compte de la concentration, mais la nature des matières azotées a sensiblement changé, et dans un sens favorable à la nutrition de la levure.

Diastase du houblon. — Brown et Morris ont montré l'existence dans le houblon d'une diastase capable de transformer en maltose soit l'empois d'amidon, soit même les maltodextrines. Cette diastase qui paraît sur-

tout localisée dans les graines est gênée dans son action par le tannin du houblon, mais celui-ci est utilisé à la précipitation des albuminoïdes et la diastase peut alors dans certains cas exercer son action, si elle est en contact avec du moût à une température peu élevée.

L'importance pratique de la diastase du houblon est fort restreinte par sa localisation dans les graines, puisque celles-ci dans le houblon fin, n'existent pas, ou sont à l'état embryonnaire.

Qualité du houblon. — Elle paraît varier beaucoup avec le climat, l'année, les conditions de culture. On peut considérer comme désirables : une forte proportion de tannin, de lupuline, et un extrait aqueux et alcoolique aussi élevé que possible. Mais ces conditions sont très peu importantes au regard des praticiens, en les comparant à l'arome du houblon, à sa couleur et beaucoup à sa provenance. Cette confiance en la provenance donne lieu à un trafic assez curieux ; les houblons d'origine peu appréciée, ceux des Vosges, par exemple, sont expédiés en Allemagne, et reviennent ensuite avec une étiquette de Saaz ou de toute autre localité haut cotée, et ce simple voyage suffit souvent pour doubler la valeur marchande du houblon.

Nous donnons, d'après *Zeitschrift für gesammte Brauwesen* 1894, le taux d'humidité, l'extrait aqueux et l'extrait alcoolique de quelques sortes.

	1	2	3	4	5
	Auerland.	Saaz Bez.	Spalt.	Saaz.	Alsace.
Eau p. 100.....	7.26	6.25	5.28	6.79	7.30
Extrait alcoolique.....	42.44	46.65	44.09	43.06	43.29
Extrait aqueux..,.....	10.98	10.20	13.96	13.86	13.88

L'auteur fait remarquer que le Saaz n° 4 et l'Alsace

n° 5 ont une composition identique et cependant c'est entre ces deux échantillons que l'écart de prix de vente était le plus élevé. Il en déduit, et nous nous associons pleinement à ses conclusions, qu'actuellement l'analyse du houblon ne peut être d'aucune utilité pratique, sauf toutefois pour la recherche du soufrage, le dosage du tannin, et la comparaison d'une livraison avec un échantillon.

Conservation du houblon. — La lupuline s'oxyde rapidement à l'air, et cette action se manifeste par un changement apparent. Dans le houblon frais, la lupuline est en globules jaunes clairs, et en les pressant, il s'en écoule un liquide incolore ou faiblement coloré en jaune. Dans le houblon vieilli, la lupuline est jaune foncé, ses globules sont flasques, ridés et le liquide qui s'en écoule est visqueux et coloré en jaune foncé ou en brun. Pendant cette oxydation il paraît se former de l'acide valérianique.

Ajoutons que le taux de tannin diminue progressivement à mesure que le houblon vieillit et que le parfum devient âcre et rance.

Pour éviter ces fâcheuses modifications, on a eu recours d'abord uniquement à la compression. On diminue ainsi la surface en contact avec l'air et par suite les phénomènes d'oxydation.

Ce remède ayant été reconnu insuffisant, on a perfectionné le procédé. Le houblon a été comprimé par quelques maisons dans des cylindres de fer, où l'on fait le vide et que l'on soude pour empêcher toute rentrée d'air. On a aussi rempli ces cylindres d'acide carbonique au lieu d'y faire le vide. En conservant le houblon ainsi traité à une très basse température, dans les caves

de garde par exemple, on arrive à lui maintenir pendant longtemps toutes ses qualités.

Houblon normal. — Quels que soient les soins apportés à la conservation du houblon, il est impossible de l'utiliser seul, lorsqu'il a plus d'une année d'existence. Comme d'autre part le prix est très variable, il serait intéressant de pouvoir, les années de récolte abondante et de bas prix, emmagasiner du houblon pour pouvoir l'utiliser même plusieurs années après, lorsque les prix éprouvent une hausse considérable. C'est là le but que s'est proposé la Société du houblon normal à Alost (Belgique), dont nous pouvons parler d'autant plus volontiers qu'elle se borne à transformer les houblons qui lui sont apportés, sans vendre directement ses produits.

Partant de ce principe que la lupuline était l'un des principes les plus importants et de la conservation la plus difficile, et que toutes les matières utiles se trouvaient solubles dans l'alcool, cette Société sépare d'abord la lupuline du houblon, et enferme immédiatement la résine dans des boîtes de plomb, remplies d'acide carbonique. Les cônes débarrassés de la lupuline sont ensuite épuisés par l'alcool chaud, l'alcool évaporé à basse température, et l'extrait alcoolique une fois sec, va rejoindre la lupuline dans des boites de métal. Celles-ci sont alors remplies à nouveau d'acide carbonique et soudées. Cet extrait de houblon, avec la lupuline correspondante se conserve très longtemps, puisqu'au bout de six ans, on en a retrouvé le contenu intact.

Ces conserves de houblon ne sont évidemment pas identiques au houblon frais, mais elles permettent de garder sous un faible volume et pendant longtemps, le

houblon acheté à des conditions favorables, et qui sans cette transformation aurait perdu bientôt toute valeur. Le véritable rôle de ces conserves est de remplacer une partie du houblon dans la chaudière ; pour obtenir l'arome, il faut nécessairement employer avec elles une certaine quantité de houblon frais, mais même avec cette restriction, la normalisation est susceptible de rendre de grands services.

SUCCÉDANÉS DU HOUBLON

Partant de ce principe que le houblon avait surtout pour but la précipitation des matières azotées, à l'aide du tannin, et que les meilleures sortes étaient en général riches en tannin, un certain nombre d'industriels ont eu l'idée de remplacer une partie du houblon par du tannin. De cette manière, disaient-ils, on obtient une coagulation aussi complète qu'avec les meilleures espèces de houblon, et l'on a ainsi double avantage, aussi bonne précipitation d'albuminoïdes qu'avec le houblon le meilleur, et forte économie.

On a ainsi lancé dans le commerce sous divers noms, que nous ne mentionnerons naturellement pas, des tannins que l'on a prétendu être extraits du houblon et contenir 98 p. 100 au moins de tannin pur.

En réalité ces tannins n'ont aucune relation avec le tannin de houblon. Comme pureté ils titrent 55 à 60 p. 100 de tannin pur, et sont en somme des glucosides, c'est-à-dire des tannins bruts obtenus par simple concentration de jus végétaux.

Il est à peine besoin de dire que ces substances ne peuvent remplacer à aucun degré le houblon. Comme

elles ne renferment pas de matières azotées non coagulables, les albuminoïdes qu'elles précipitent du moût ne sont remplacés par rien, et la nutrition de la levure devient défectueuse; ces tannins n'apportent non plus aucune trace de résine, aucun parfum, mais en revanche, ils laissent dans la bière des glucosides infermentescibles, qui viennent augmenter indûment l'extrait de la bière, et tromper sur l'atténuation.

A un autre point de vue, les tannins vendus comme extraits du houblon sont vendus très cher, et le brasseur est trompé de deux façons, d'abord sur la qualité, puisqu'on lui livre comme tannin de houblon, un tannin quelconque, et ensuite sur la quantité, puisque on lui vend pour 98 kilogrammes de tannin, seulement 55 à 60 kilogrammes de ce produit.

Nous devons donc considérer comme une fraude la vente et comme un procédé défectueux l'emploi de ces tannins quels que soient leurs noms plus ou moins pompeux. La fraude est d'ailleurs évidente, puisque les houblons les plus riches ne contiennent pas plus de 4 p. 100 de tannin, en admettant une extraction complète il faudrait donc 25 kilogrammes de houblon au moins pour produire 1 kilogramme de tannin vendu 10 francs; or, quel est le houblon dont on peut avoir 25 kilogrammes pour 10 francs? Cela seul suffirait à mettre en garde contre de tels produits.

PRODUITS ACCESSOIRES

Poix. — On distingue la poix naturelle de la poix artificielle. La première provient de la résine de sapin et elle est mélangée au moment de la récolte avec du

sable, de la terre, des fragments d'écorce et de bois, etc. ; pour la purifier on la fond, une partie des impuretés monte à la surface et peut être écumée ; le reste tombe au fond. On passe la poix fondue à travers un tamis et on la coule dans des moules. Elle est prête à la vente.

Cette poix naturelle est extrêmement rare, et l'on rencontre le plus souvent la poix artificielle. Celle-ci peut être considérée comme un sous-produit de la fabrication d'essence de térébenthine. En distillant la résine brute, ou la colophane, il passe d'abord de l'eau, puis l'essence de térébenthine, enfin des huiles de résine. Le résidu de la distillation est fondu et additionné d'une quantité déterminée d'huile de résine. On peut aussi ajouter de l'huile de résine à la colophane elle-même.

Les poix à bon marché sont aussi fabriquées avec des huiles minérales ou des huiles grasses, huile de colza, de lin, de sésame, etc.

Parfois la poix est colorée avec du chromate de plomb, et mélangée comme surcharge, avec du kaolin, du sulfate de baryte, du sable fin, etc.

Une partie de ces surcharges peut être évitée, si la poix achetée est bien transparente, parce que l'addition de matières insolubles produit forcément une certaine opacité.

Caractères de la poix. — Elle doit être de couleur claire, paraître transparente en petits fragments ; sa cassure sera conchoïdale et brillante et de même couleur que le reste de la poix.

La poix ne doit être ni trop cassante ni trop molle. Le premier cas indiquerait une distillation poussée trop loin, le second une addition trop forte d'huile de résine. Le point de fusion doit être compris entre 40 et 56° ;

s'il est trop bas, la poix fond dans les tonneaux soit en été, soit par les lavages à l'eau chaude ; si le point de fusion est trop élevé, la poix se fendille dans les fûts.

L'humidité doit être très faible ; dans certaines poix de mauvaise qualité, elle s'élève à 8 et 10 p. 100, une telle matière mousse en fondant, ce qui rend son emploi malaisé et, de plus, l'eau est comptée au même prix que la poix.

La poix de bonne qualité doit être presque intégralement soluble dans l'alcool absolu, la proportion maxima des matières insolubles doit être 0,1 p. 100, et la poix est d'autant meilleure que ce résidu est plus faible.

La poix ne doit pour ainsi dire rien céder à l'alcool étendu à 5 p. 100, ce qui représente le degré alcoolique moyen des bières ; la proportion de matières solubles dans cet alcool dilué ne doit pas dépasser 0,05 p. 100. L'alcool à 5 p. 100, laissé vingt-quatre heures au contact de la poix, ne doit être ni acide ni alcalin, il doit avoir la saveur franche de la poix, sans goût amer ni âcre ; ce goût se communiquerait en effet à la bière.

Enfin il est évident que la poix ne doit pas contenir de matières minérales, ni surtout de chromate de plomb, que l'analyse peut du reste aisément découvrir.

Clarifiants. — Le collage des bières ne se fait plus que pour les bières de fermentation haute, et là encore les filtres commencent à être employés.

Le collage se fait avec des matières gélatineuses, qui se combinant avec le tannin resté dans la bière forment une sorte de réseau de matières insolubles, réseau qui entraîne les matières en suspension. On colle tantôt par le haut (peau de raies), tantôt par le

bas (colle de poisson). Dans ce premier cas, la colle et les matières entraînées sont rejetées par la bonde des tonneaux, par l'acide carbonique qui se dégage. Il faut naturellement, pour que le collage réussisse, que la bière soit encore en fermentation ou remise en fermentation par l'addition de bière jeune.

La préparation de la colle de poisson peut se faire de la manière suivante : on laisse tremper la colle sèche dans l'eau froide pendant seize heures environ pour la ramollir, ensuite on la malaxe à la main, et on ajoute 50 parties d'eau froide pour une de colle pétrie à la main, on passe au tamis et on ajoute un peu d'acide tartrique ou de vinaigre à la matière qui prend l'aspect d'une gelée transparente ; un litre de ce liquide doit suffire pour 250 litres de bière.

Cette colle s'altère rapidement, on lui ajoute quelquefois un peu d'acide sulfureux ou de bisulfite de chaux pour la rendre inaltérable.

La colle ainsi préparée ne coûte pas très cher et elle est aussi efficace que les clarifiants vendus tout préparés dans le commerce ; l'un d'eux, vendu 6 francs le litre, contient environ 25 à 30 grammes de colle de poisson, avec un peu d'acide sulfurique et sulfureux, et le reste est de l'eau. Les brasseurs doivent donc se méfier beaucoup de ces clarifiants tout préparés, dont le prix est tout à fait hors de proportion avec la valeur réelle.

On emploie aussi quelquefois en chaudière, soit des pieds de veau, soit du lichen, pour produire une clarification plus belle. L'usage de ces matières ne se comprend guère qu'avec de mauvais malts, ou des malts trop frais, ou encore avec des eaux défectueuses. Avec

de bonnes matières premières, le moût doit avoir une belle cassure et sortir brillant de la chaudière. D'ailleurs cette clarification artificielle est effectuée par le tannin du houblon, qui ne peut naturellement plus ensuite précipiter les matières albuminoïdes du moût.

Copeaux. — Les copeaux agissent comme clarifiant par simple action mécanique en présentant une grande surface de dépôt aux matières en suspension. Ils sont généralement en noisetier, mais il n'y a aucun inconvénient à remplacer le noisetier par d'autres essences, à condition que celles-ci ne donnent pas de goût à la bière et n'y provoquent pas de trouble, par du tannin par exemple. A ce titre le chêne doit être exclu.

Les copeaux doivent être, bien entendu, avant l'emploi, passés à la vapeur ou cuits avec de l'eau, jusqu'à ce que l'eau passe sur eux, incolore et sans goût ni odeur. Les copeaux doivent être maintenus très propres et stérilisés, si l'on veut éviter les infections dont ils sont souvent la cause.

Antiseptiques. — On peut les diviser en deux catégories : ceux qui servent au nettoyage des tuyaux, cuves et locaux, et ceux qui sont destinés à assurer la conservation de la bière.

Les premiers comprennent surtout le bisulfite de chaux et le chlorure de zinc. Le bisulfite est vendu à une concentration de 10 à 12° Baumé et s'oxyde facilement à l'air en se changeant en sulfate, de sorte que son action antiseptique diminue constamment ; de plus, son odeur en rend le maniement assez désagréable.

Le chlorure de zinc se vend à une concentration de 30° Baumé, il est inaltérable et sans odeur ; on peut donc le considérer comme supérieur au bisulfite, d'au-

tant plus qu'à poids égal, son action antiseptique est au moins égale, et que le chlorure de zinc est généralement pur, tandis que le bisulfite est tantôt trop dilué, tantôt additionné d'autres sels, pour obtenir d'une façon apparente la même concentration, ou si l'on veut le même degré Baumé.

Le seul inconvénient du chlorure de zinc est de ne pouvoir être employé à la désinfection des objets en fer, qu'il attaquerait ; toutefois à une dilution telle que celle où on l'emploie, 1/15 à 1/20, cette action est insignifiante.

Un nouveau désinfectant a fait depuis quelques années son apparition, c'est le sulfate ferrique de MM. Buisine ; ce produit trouve surtout son emploi dans les caves; en l'employant pulvérisé, il maintient la propreté, au sens bactériologique du mot, en détruisant les ferments qui pourraient se développer dans la bière tombée sur le sol. Il suffit d'un peu d'eau pour l'entraîner de temps à autre; on doit en maintenir constamment sur le sol. En dehors de ces produits, le chlorure de chaux, la soude et la chaux peuvent rendre de grands services; le chlorure de chaux, à cause de son odeur désagréable, ne sert guère que dans les grands nettoyages des caves vides ou des germoirs. La soude est surtout utilisée pour les tuyaux et les murs.

Enfin, la chaux peut jouer le même rôle que le bisulfite et le chlorure de zinc ; si ceux-ci la remplacent peu à peu, cela tient non à une action plus complète, mais à une utilisation plus commode.

Quant aux antiseptiques destinés à assurer la conservation des bières, ils devraient être tout à fait sans emploi, puisque avec une bonne fabrication, la bière

doit sortir stérile ou à peu près de la cave et par conséquent se conserver longtemps si les fûts et les bouteilles sont également stériles. Malheureusement ce n'est pas toujours le cas, et bien des brasseurs, pour éviter des accidents et des altérations trop fréquentes, additionnent la bière d'antiseptiques avant l'expédition.

En admettant cette pratique, qu'un peu plus de soins de propreté et de fabrication rendrait superflue, le seul antiseptique acceptable est le bisulfite de chaux, à la dose de 30 centimètres cubes environ de bisulfite à 11° par hecto ; on introduit ainsi dans la bière à peu près 3 grammes d'acide sulfureux par hectolitre, dose insensible à la dégustation et à l'odeur, et qui peut retarder les altérations, sans cependant les empêcher entièrement.

Mais le bisulfite de chaux est un produit trop simple et trop peu coûteux pour qu'il soit resté seul employé. Il est peu de substances pour lesquelles l'imagination des chimistes ait autant travaillé et le résultat a été la naissance d'une quantité innombrable d'antiseptiques, composés de la manière la plus bizarre, prônés sous des noms baroques et vendus toujours très cher.

Nous avons eu l'occasion d'examiner un grand nombre de ces produits, quelquefois composés très ingénieusement pour dérouter l'analyse, mais sans aucun souci de l'hygiène du consommateur, ni même parfois du brillant et du goût de la bière, et nous allons mentionner quelques-uns des résultats auxquels nous sommes arrivé.

L'un des plus innocents antiseptiques était tout simplement du bisulfite étendu de dix fois son volume d'eau.

Deux autres se sont trouvés être des bisulfites de soude plus ou moins saturés. Un échantillon était du bisulfite d'ammoniaque ; le produit était cité comme impossible à retrouver dans la bière.

Un antiseptique assez connu en Belgique contenait de l'acide fluorhydrique, de l'alumine et de l'acide sulfurique ; on devait en mettre 10 grammes par hectolitre de bière.

Enfin, pour terminer, nous avons trouvé un antiseptique, français celui-là, qui troublait la bière, aussi bien que les bactéries les plus dangereuses.

Nous n'avons mentionné ni l'acide salicylique, ni l'abrastol, ni les divers phénols, parce que ce sont des produits nettement interdits, et que pour l'acide salicylique en particulier, la campagne vigoureuse de M. Charlie, dans son livre *le Poison allemand*, et quelques condamnations sévères ont fait disparaître, au moins pour quelque temps cette répréhensible sophistication et cependant les annonces d'acide salicylique, *le meilleur antiseptique pour la bière*, continuent à s'étaler aux annonces.

Il y a là une contradiction qui peut paraître singulière ; légalement l'usage de l'acide salicylique est interdit, et l'on ne peut impunément en recommander l'emploi.

Nous avons insisté longuement sur ces antiseptiques de charlatans, non parce que leur emploi est fréquent, mais pour prémunir les brasseurs contre le danger de pareilles supercheries.

Désincrustants pour chaudières. — Le seul procédé permettant de supprimer les incrustations, ou du moins de les rendre non adhérentes, c'est l'épuration prélimi-

naire des eaux par la chaux et le carbonate de soude, comme nous l'avons indiqué plus haut.

On peut également obtenir de bons résultats en introduisant du carbonate de soude dans la chaudière elle-même, en quantité calculée d'après le volume d'eau vaporisée.

Le système Chevalet, qui est une vraie épuration de l'eau, par ébullition, et qui conduit en somme à n'employer que de l'eau distillée pour l'alimentation, réussit parfaitement, mais paraît d'un établissement un peu plus coûteux.

Quant aux désincrustants commerciaux ils valent les antiseptiques, et c'est tout dire. Ils sont du reste à base de pétrole ou de carbonate de soude, ou d'un corps gras quelconque. L'assimilation que nous venons de faire entre eux et les antiseptiques commerciaux nous dispense de nous étendre davantage sur ce point.

Épurateurs pour eaux résiduelles. — Dans un certain nombre de cas, le brasseur est obligé de soumettre ses eaux résiduelles à une opération, avant de les laisser couler dans un cours d'eau. On exige que cette épuration rende les eaux limpides et inodores, mais sans s'inquiéter outre mesure des matières qu'elles peuvent retenir dissoutes.

Le meilleur procédé d'épuration est sans conteste l'irrigation des prairies, les eaux résiduelles constituant un engrais très appréciable et l'augmentation dans la production du foin payant plus que la dépense de refoulement et de canalisation.

En dehors de cela, il faut recourir aux agents chimiques. On conseille ordinairement soit la chaux et le sulfate d'alumine, soit le sulfate ferrique. Dans les deux

cas, il faut organiser des bassins étendus, où se réunissent les eaux résiduelles; on leur y fait subir le traitement et, la clarification effectuée, on décante le liquide clair.

Le sulfate ferrique constitue l'agent le plus économique et le meilleur pour ce genre d'épuration ; il revient en effet à 6 francs les 100 kilos, en moyenne, pris à Lille, et il suffit largement de 3 à 400 grammes par mètre cube d'eau à traiter. Lorsqu'on augmente la dose, l'eau reste teintée de jaune, et, pour achever la clarification, il faut ajouter un peu de chaux; mais avec les doses indiquées, on obtient d'excellents résultats avec une dépense de 3 centimes au plus par mètre cube, c'est un prix bien inférieur à celui que coûte le traitement au sulfate d'alumine. Des essais ont été faits avec le sulfate ferrique à la Brasserie de la Samaritaine à Vittel, et l'on a trouvé dans la substitution du sulfate ferrique au sulfate d'alumine et à la chaux, une économie de moitié environ.

CHAPITRE VI

BRASSAGE

Le but du brassage est la saccharification de l'amidon du malt ou des grains crus par la diastase, et la solubilisation de matières azotées et de matières minérales contenues dans les grains maltés ou non. On emploie soit le malt d'orge seul, soit un mélange de ce malt avec du riz, du maïs, du blé et quelquefois du blé malté.

Les appareils à brasser comprennent au minimum un moulin à malt, une cuve matière, deux chaudières, dont l'une peut être remplacée par un réservoir à eau chaude, une pompe. A ce minimum on ajoute souvent une cuve à filtrer, un hydrateur et une chaudière munie d'un vagueur, ce que l'on nomme chaudière à trempes.

Moulin à malt. — Il est formé de deux ou mieux de quatre cylindres rapprochés, et entre lesquels le malt déversé par une trémie doit passer. Le but de ce concassage n'est pas de réduire les grains en poudre fine, parce que les enveloppes de ces grains doivent servir de couche filtrante; si les enveloppes sont brisées en petits fragments, ceux-ci s'enchevêtreraient les uns dans les autres, formeraient une masse compacte qui ne permettrait pas la filtration. Les grains doivent être simplement écrasés, sans donner de farine légère ni de débris d'enveloppes. Lorsqu'on travaille cependant,

comme dans quelques brasseries, avec un hydrateur et sans agitateur dans la cuve matière, on fait une farine très fine.

Il est indispensable, pour avoir un épuisement com-

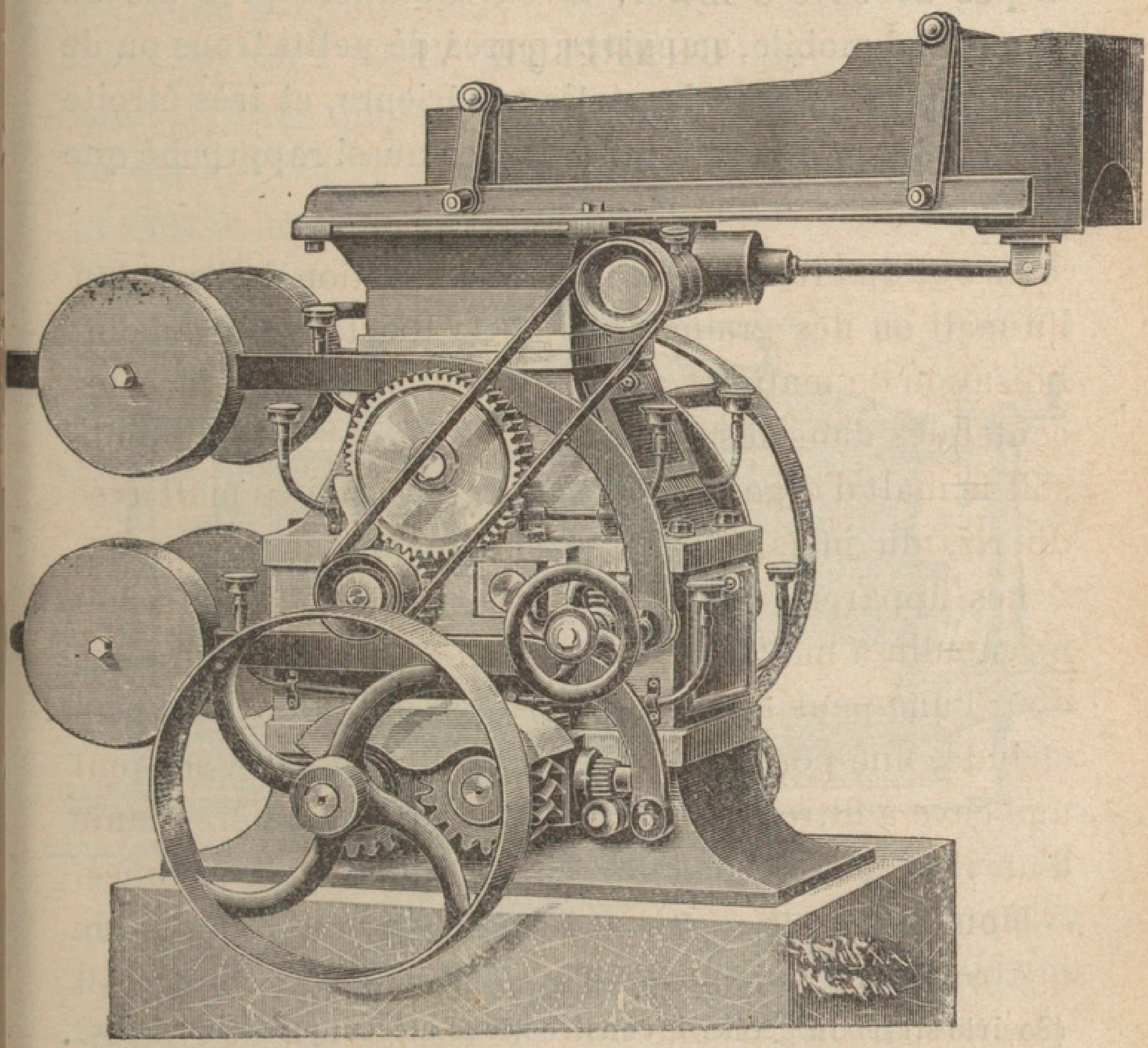


Fig. 48. — Moulin à malt à quatre cylindres
(Société strasbourgeoise de constructions mécaniques à Lunéville).

plet du malt, que tous les grains soient au moins écrasés et l'amidon mis à nu, les grains entiers ne cédant à peu près rien à l'eau, et ne la saccharifiant même pas; à ce point de vue les moulins à quatre cylindres sont bien préférables à ceux à deux cylindres.

Le rendement pratique du malt est d'autant plus grand que la farine est plus fine, en tenant compte des observations qui précèdent.

Cuve matière. — Lorsqu'elle est seule, ce qu'il n'y a pas de cuve à filtrer, la cuve matière présente un faux fond mobile, en cuivre, percé de petits trous ou de fentes plus larges à la partie supérieure, et très étroite vers le bas. Ce faux fond doit être aussi rapproché que

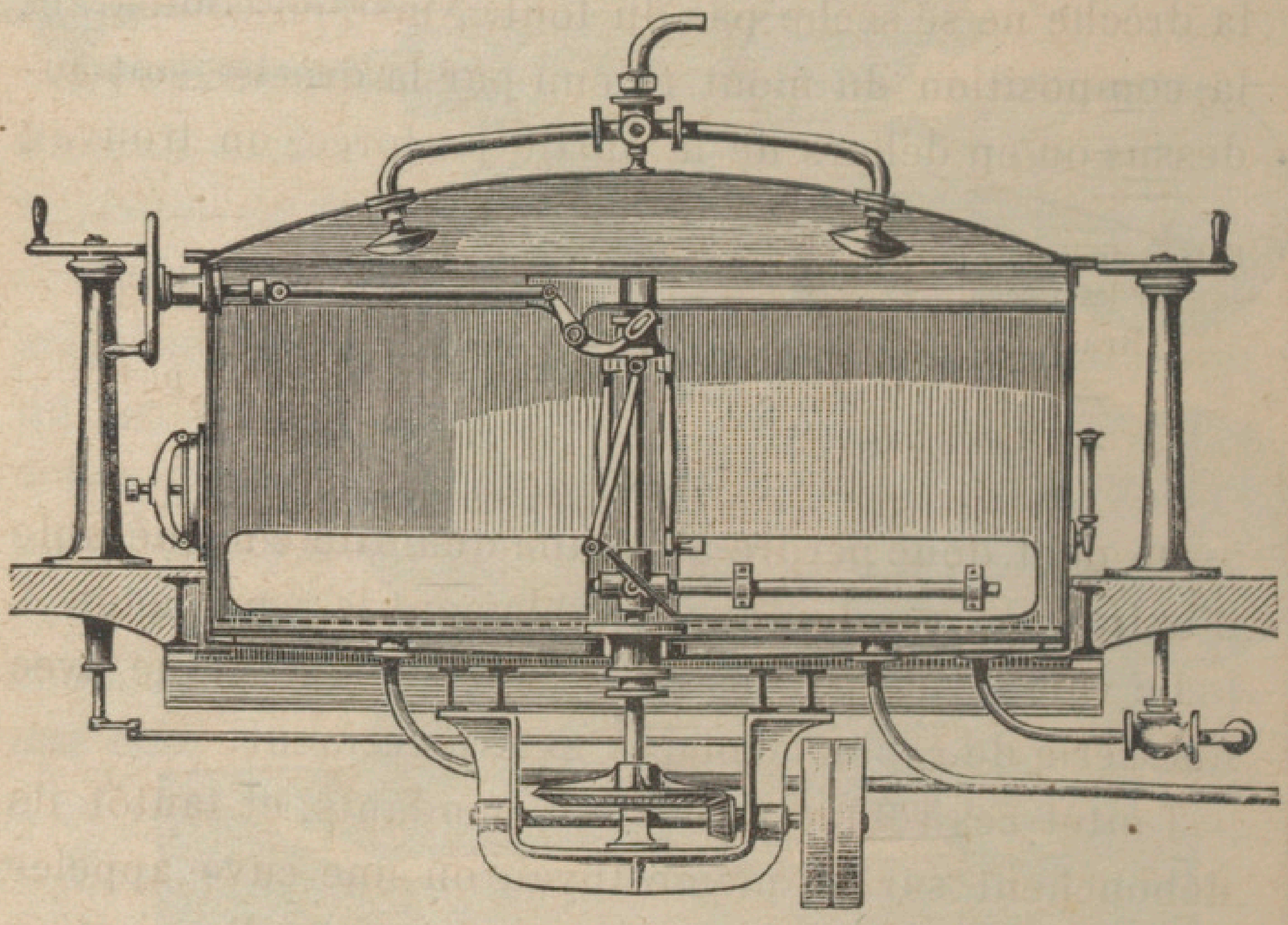


Fig. 49. — Cuve matière
(Société strasbourgeoise de constructions mécaniques à Lunéville).

possible du fond véritable, l'intervalle entre les deux ne doit pas dépasser 15 millimètres. Quand l'espace est considérable, une partie de l'amidon changé par le moulinage en fine poussière, va se déposer entre les deux fonds, d'où il est difficile de la chasser ; on a ainsi une diminution de rendement.

Le faux fond est constitué par des plaques de cuivre,

percées soit de petits trous coniques dont la pointe est tournée vers le bas, soit de fentes plus étroites à la partie inférieure.

L'espace compris entre les deux fonds doit être aussi petit que possible, mais il faut éviter d'une façon absolue les faux fonds, soit en pente, soit ceux qui ne sont perforés que sur une partie de leur surface ; dans ce dernier cas, le rendement est défecteux, parce que la drèche ne se sèche pas du tout. Ainsi, en comparant la composition du moût retenu par la drèche, soit au-dessus ou en dehors de la partie perforée, on trouve :

Extrait du liquide retenu par les drèches.	Sur la partie perforée.	En dehors.
Brassin n° 1	1°	7,9
— n° 2	0,5	8 p. 100
— n° 3	0,6	8,2 —

On peut donc perdre ainsi une quantité considérable d'extrait, ce qui diminue notablement le rendement.

Le vide formé par les deux fonds communique avec une série de robinets placés extérieurement.

Tantôt ces robinets sont indépendants, et tantôt ils débouchent sur un même tuyau ou une cuve appelée *reverdoir* et dans laquelle plonge le tuyau d'aspiration de la pompe.

Latéralement la cuve matière porte une large ouverture fermée par une vanne et communiquant avec une pompe, dite pompe à trempes. Une seule pompe est d'ailleurs suffisante.

La cuve matière est ordinairement en tôle recouverte extérieurement de bois pour empêcher autant que possible son refroidissement. La forme est tantôt ronde, tantôt carrée, tantôt enfin carrée à coins arrondis.

On peut reprocher aux cuves rondes que le liquide y prend aisément un mouvement de rotation qui n'est pas une vraie agitation ; mais il en est presque de même pour les autres formes si l'agitateur n'est pas rationnellement disposé. Les cuves carrées ont en revanche l'inconvénient de permettre aux drèches de s'accumuler dans les angles, en empêchant ainsi la dissolution des matières restées dans les coins. Les cuves carrées mais à coins arrondis paraissent les plus convenables.

La cuve matière est munie le plus souvent d'un va-

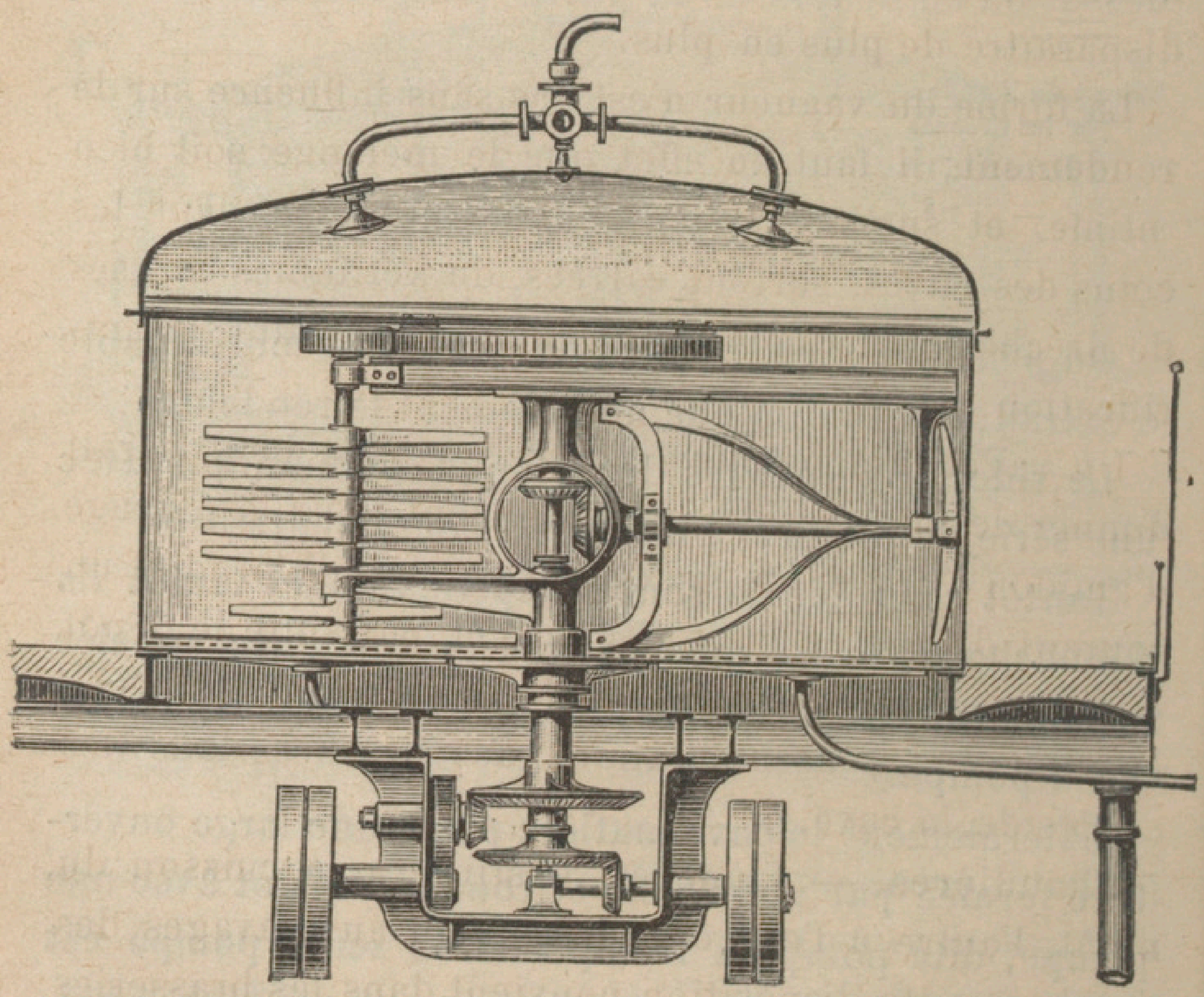


Fig. 50. — Cuve matière
(Société strasbourgeoise de constructions mécaniques à Lunéville).

gueur plus ou moins complexe (fig. 50). Dans les petites cuves, il suffit de deux bras, inclinés, en sens inverse et

tournant très près du faux fond autour d'un axe vertical. Dans les cuves de grande dimension, ce dispositif serait insuffisant et donnerait simplement à la matière un mouvement continu de rotation. Tantôt on place dans la cuve des espèces de persiennes qui brisent ce mouvement circulaire, tantôt on a deux agitateurs, marchant en sens inverse, et à des profondeurs différentes. Dans les brasseries où le vagueur n'existe pas, on continue comme autrefois à mélanger la farine de malt et l'eau à la main, à l'aide du *fourquet*, mais c'est là une méthode pénible et très imparfaite, qui tend à disparaître de plus en plus.

La forme du vagueur n'est pas sans influence sur le rendement; il faut en effet que le mélange soit bien ntime, et surtout éviter qu'il se produise dans les coins des cuves, surtout carrées, de véritables masses de drèches et d'amidon qui échappent à toute saccharification.

Un vagueur à palettes courbées vers le haut paraît donner de bons résultats, notamment pour le passage d'amidon à travers le faux fond, parce qu'il produit un courant de bas en haut et empêche par suite le dépôt de ces parcelles d'amidon; la même forme empêche également les accumulations des drèches dans les angles de la cuve.

Chaudières. — L'une est destinée à la cuisson du moût, l'autre à l'eau chaude servant aux lavages des drèches, cette disposition convient dans les brasseries où se pratique le procédé dit d'infusion, et il est alors inutile que ces chaudières possèdent un vagueur, puisqu'on y fait bouillir seulement des liquides clairs ou de l'eau.

La forme des chaudières, qui sont ordinairement en cuivre, a beaucoup varié; autrefois on faisait le fond concave, mais uni; la chaudière étant haute et assez

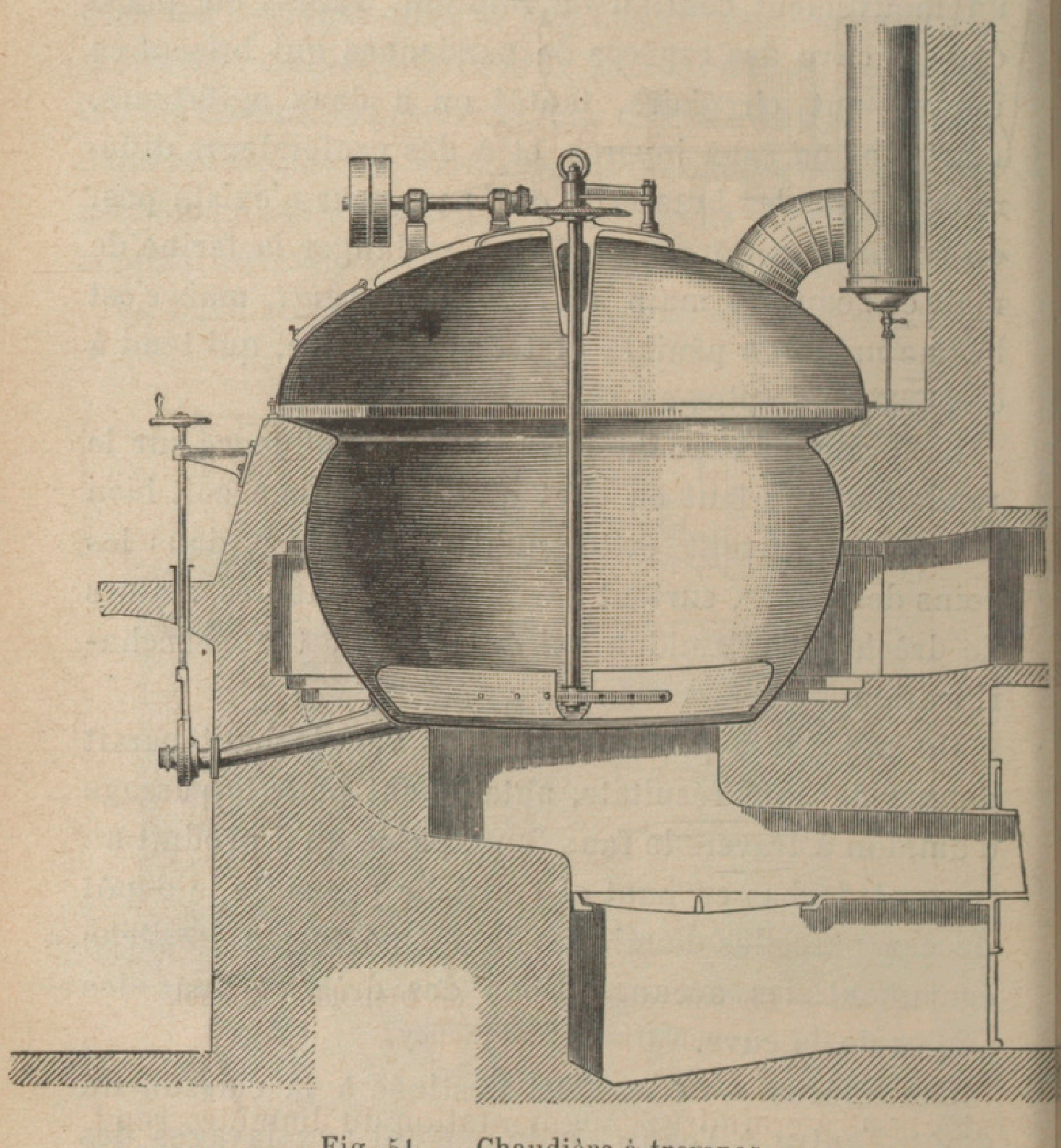


Fig. 51. — Chaudière à trempes.

étroite, une partie du métal était en contact direct avec ce foyer. Il se produisait alors des surchauffes locales qui conduisaient à un goût de brûlé désagréable. Actuellement on fait les chaudières larges et peu pro-

fondes, et le fond, au lieu d'être une portion de sphère, est renflé au milieu, de sorte qu'il y a une épaisseur de liquide plus grande sur les bords, là où la surchauffe

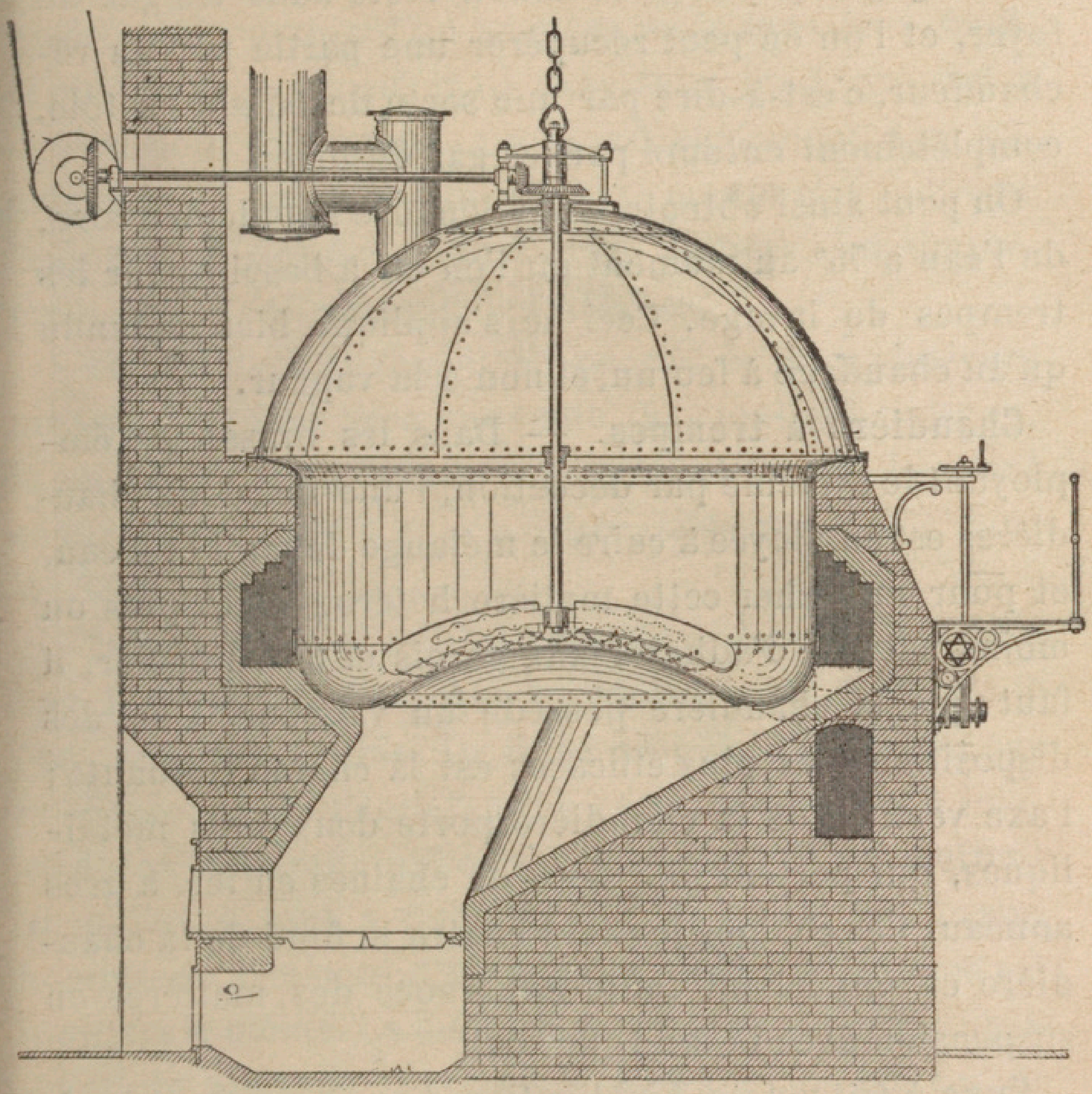


Fig. 52. — Chaudière à trempes, de Diebold et Michel, constructeurs à Nancy.

est le plus à craindre ; l'augmentation du diamètre rend aussi l'évaporation plus active. Les chaudières à cuire sont aujourd'hui presque toutes fermées avec une cheminée à fort tirage qui entraîne les vapeurs.

On peut remplacer la chaudière à eau par un bac réchauffeur, que l'on fait entourer par les gaz du foyer

avant de les laisser s'échapper dans la cheminée. Comme le rendement du combustible brûlé est seulement de 40 p. 100 en moyenne, on voit que 60 p. 100 de la chaleur dégagée par la combustion reste dans les gaz du foyer, et l'on en peut récupérer une partie par un réchauffeur, c'est-à-dire par une sorte de bassin en tôle, complètement entouré par les gaz du foyer.

On peut ainsi obtenir, sans dépense supplémentaire, de l'eau à 75° au moment où l'on en a besoin pour les trempes de lavage. Ceci ne s'applique bien entendu qu'au chauffage à feu nu, et non à la vapeur.

Chaudière à trempes. — Dans les brasseries employant le système par décoction, l'une des deux chaudières est employée à cuire le mélange de malt et d'eau, et pour empêcher cette matière hétérogène et plus ou moins pâteuse d'adhérer aux parois et de se brûler, il faut que la chaudière possède un vagueur. Une des dispositions les plus efficaces est la chaîne traînante ; l'axe vertical de la chaudière porte deux bras métalliques, qui portent une série de chaînes en fer, à gros anneau. Ces chaînes frottent contre le fond de la chaudière et empêchent toute adhérence des matières en suspension avec le fond (fig. 52).

Cuve à filtrer. — L'obligation d'avoir un faux fond, pendant le travail du malt, permet aux parties farineuses de traverser les fentes de cuivre, et de s'aller loger dans l'intervalle entre les deux fonds. Il est fort difficile de retirer toutes ces parties farineuses, constituées par de l'amidon presque pur, qui peuvent même se transformer en empois, boucher les orifices d'écoulement de la cuve, et outre une perte de rendement, provoquer des troubles d'amidon. Comme d'une part

l'emploi d'un vagueur augmente la perte d'amidon, et d'autre part, est indispensable pour obtenir un bon mélange, on a séparé complètement le mélange et la filtration. On a alors comme cuve matière une cuve quelconque, munie d'un vagueur mais sans faux fond, et en outre une cuve, mais avec faux fond, qui sert à la filtration. Quelquefois on munit également d'un vagueur cette cuve à filtrer, de manière à pouvoir l'utiliser au besoin comme cuve matière, ou simplement pour l'enlèvement des drèches.

L'emploi de la cuve à filtrer permet de faire plusieurs brassins par jour avec une seule cuve matière, puisque, la saccharification terminée, le moût et les drèches sont envoyées dans cette cuve à filtrer, laissant libre la cuve matière.

Hydrateurs. — Une des conditions essentielles d'un bon rendement, c'est que le mélange du malt et de l'eau soit bien intime. Or il est difficile d'y arriver par le simple jeu de l'agitateur en cuve matière. On a imaginé des appareils appelés *hydrateurs* qui permettent un mélange tout à fait complet. Il existe un grand nombre de systèmes d'hydrateurs, mais le principe est toujours le même. Le malt concassé passe dans un tuyau muni de cloisons en chicane d'étranglements ou de palettes en hélices, tournant avec l'axe pour gêner sa marche, et dans son trajet, il reçoit de tous côtés, par une infinité de petites ouvertures, de l'eau sous pression. De l'hydrateur coule ainsi une pâte tout à fait homogène. Ce mélange peut être fait avec de l'eau à une température quelconque, bien entendu. Quand on dispose d'un hydrateur, on peut employer une farine bien plus fine, et même se dispenser complètement de



Fig. 53. — Hydrateur (Ateliers de la Bleuse-Borne, à Anzin).

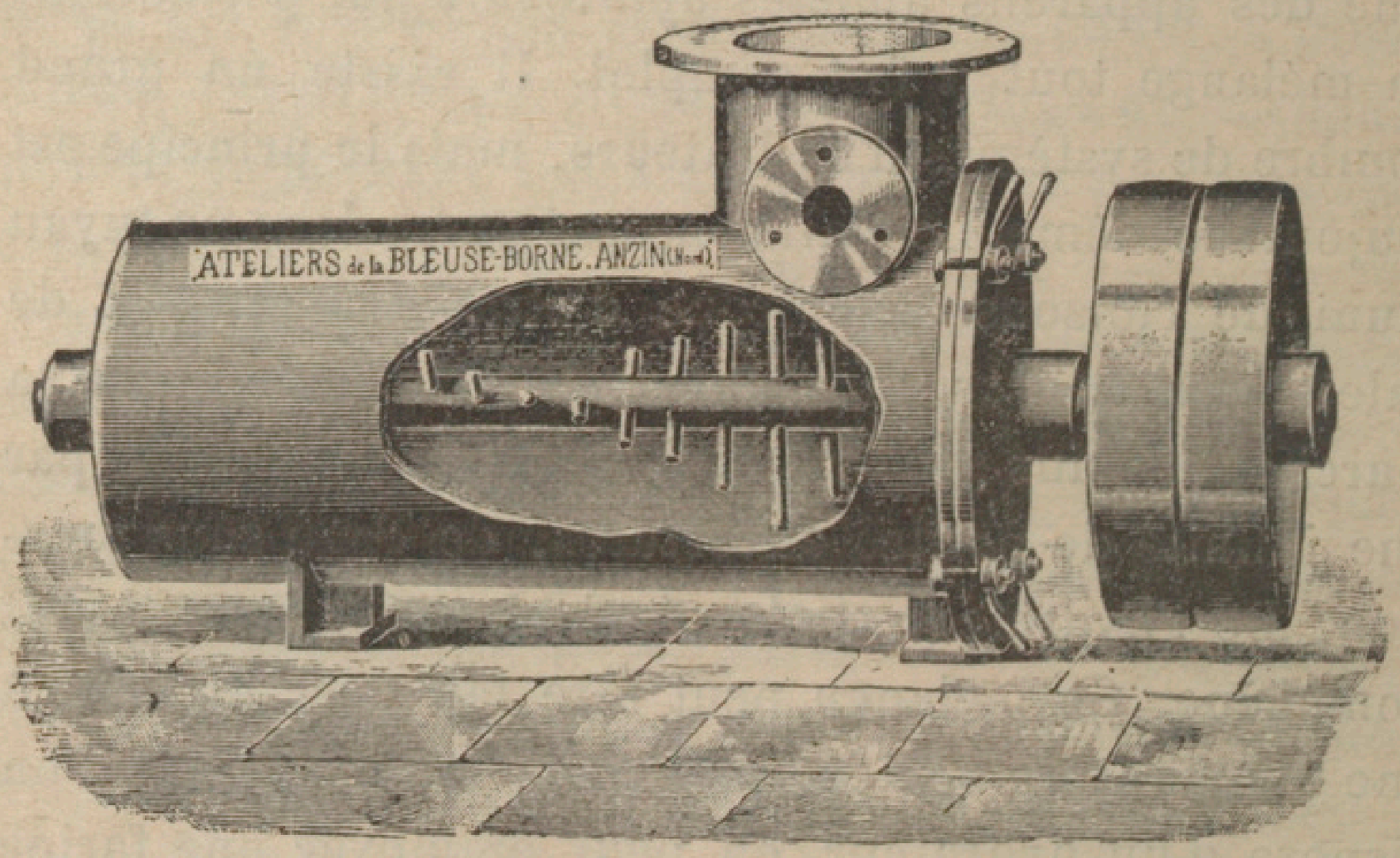


Fig. 54. — Hydrateur (Ateliers de la Bleuse-Borne à Anzin).

vagueur; c'est un procédé sur lequel nous reviendrons.

Appareils accessoires. — Lorsqu'on emploie seulement une cuve matière, sans cuve à filtrer, on place ordinairement sous les robinets de la cuve, une autre petite cuve, dite reverdoir, dans laquelle plongent les tuyaux de deux pompes; l'une, plus grosse, est destinée à pomper le moût clair dans la chaudière à cuire; l'autre sert à ramener dans la cuve le liquide provenant de la *purge* des faux fonds. Nous avons dit en effet que les parties les plus fines de la farine de malt, parties constituées presque uniquement par de l'amidon, traversent le faux fond et vont tomber dans l'intervalle entre les deux fonds. Si l'on ouvre violemment les robinets de la cuve, robinets qui ont leur ouverture dans cet intervalle, il se produit une chasse qui entraîne l'amidon; en renouvelant plusieurs fois cette chasse, on peut débarrasser la cuve d'amidon, ou, comme on dit, purger le faux fond.

Quand on travaille par décoction, il faut encore une pompe pour monter en chaudière le mélange de malt et d'eau ou pour ramener la trempe en cuve; cette pompe peut être confondue avec celle qui envoie en chaudière le moût filtré, à condition d'adapter à cette dernière un robinet à trois voies.

Pour l'*arrosage des drèches*, on emploie divers systèmes. L'un des plus communs est celui de la *croix écossaise*; sur l'axe de la cuve matière ou de la cuve à filtrer se trouvent montés deux tuyaux à bouts recourbés et qui peuvent tourner autour de cet axe; par là ils sont en communication à l'axe, avec un tuyau amenant l'eau destinée aux lavages et qui s'ouvre sous

pression ; par le même jeu de forces que pour l'expérience faite en physique sous le nom de tourniquet hydraulique, les deux tuyaux se mettent à tourner en déversant de l'eau chaude sur toute la surface de la cuve.

Quelquefois on se contente de monter un tuyau de cuivre perforé, concentrique à la cuve, et de mettre ce tube en communication avec le réservoir à eau chaude.

Dans un certain nombre de brasseries, il existe un dispositif permettant de faire arriver l'eau par-dessous le faux fond ; de cette manière le lavage est plus complet. Mais on obtient l'épuisement maximum en faisant le lavage à la fois par-dessous et par-dessus.

Cette disposition d'eau arrivant par le faux fond peut être utilisée aussi pour mélanger le malt avec l'eau, on a ainsi moins d'amidon au-dessous des faux fonds.

Machine à piquer la drèche. — Lorsque le bouillon a été filtré, la drèche est recouverte d'une couche épaisse de matières azotées coagulées, ce qui forme comme un enduit grisâtre, très peu perméable ; pour permettre à l'eau de lavage de pénétrer dans les drèches, on pique cette couche superficielle, soit à la pelle, soit avec des machines. Elle consiste ordinairement en une série de rosaces à bras tordus et pointus, montées sur un bras perpendiculaire à l'axe de la cuve ; celui-ci peut être animé d'un mouvement de rotation, tandis que l'ensemble des rosaces et leur axe tourne d'un mouvement horizontal autour de l'axe de la cuve, en grattant la surface des drèches.

Tantôt on se contente de piquer la drèche, tantôt on la brasse avec de l'eau en la remettant en mouvement

avec le vagueur; dans ce dernier cas, la machine à piquer la drèche peut également servir à la retourner.

Les figures 55 et 56 représentent des cuves matières avec appareils à piquer les drèches, l'une (55) cons-

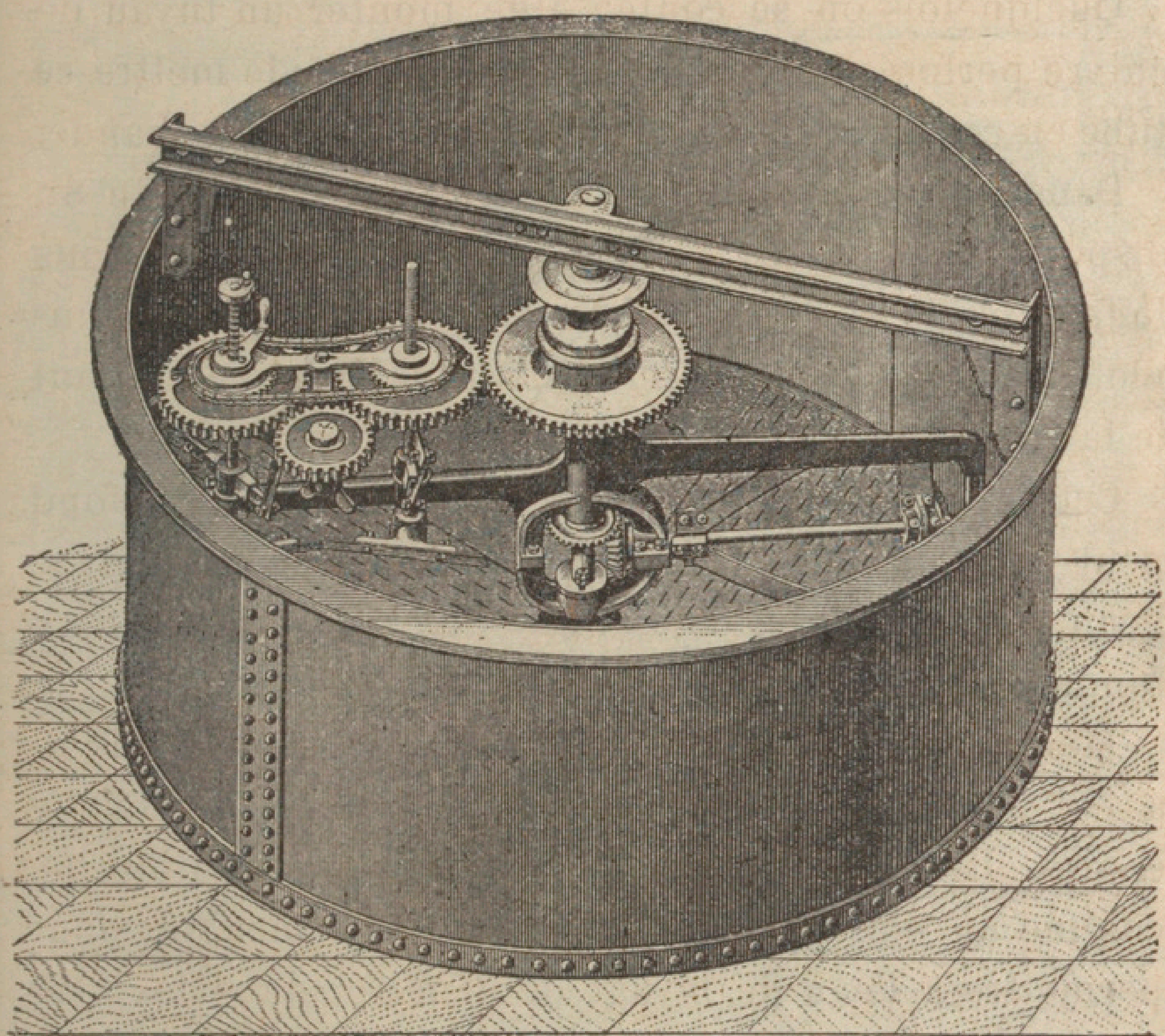


Fig. 55. — Cuve matière avec appareil à piquer la drèche (Diebold et Michel, à Nancy).

truite par MM. Diebold et Michel à Nancy, l'autre (56) par les ateliers de la Bleuse-Borne d'Anzin.

Disposition des appareils à brasser. — Le moulin à malt est placé d'habitude à l'étage supérieur, de telle sorte que la farine tombe naturellement soit dans l'hydrateur, soit directement dans la cuve matière l'hydrateur se trouve au bord de la cuve matière.

Le plus souvent la cuve matière se trouve à un niveau plus élevé que les chaudières, soit à trempe,

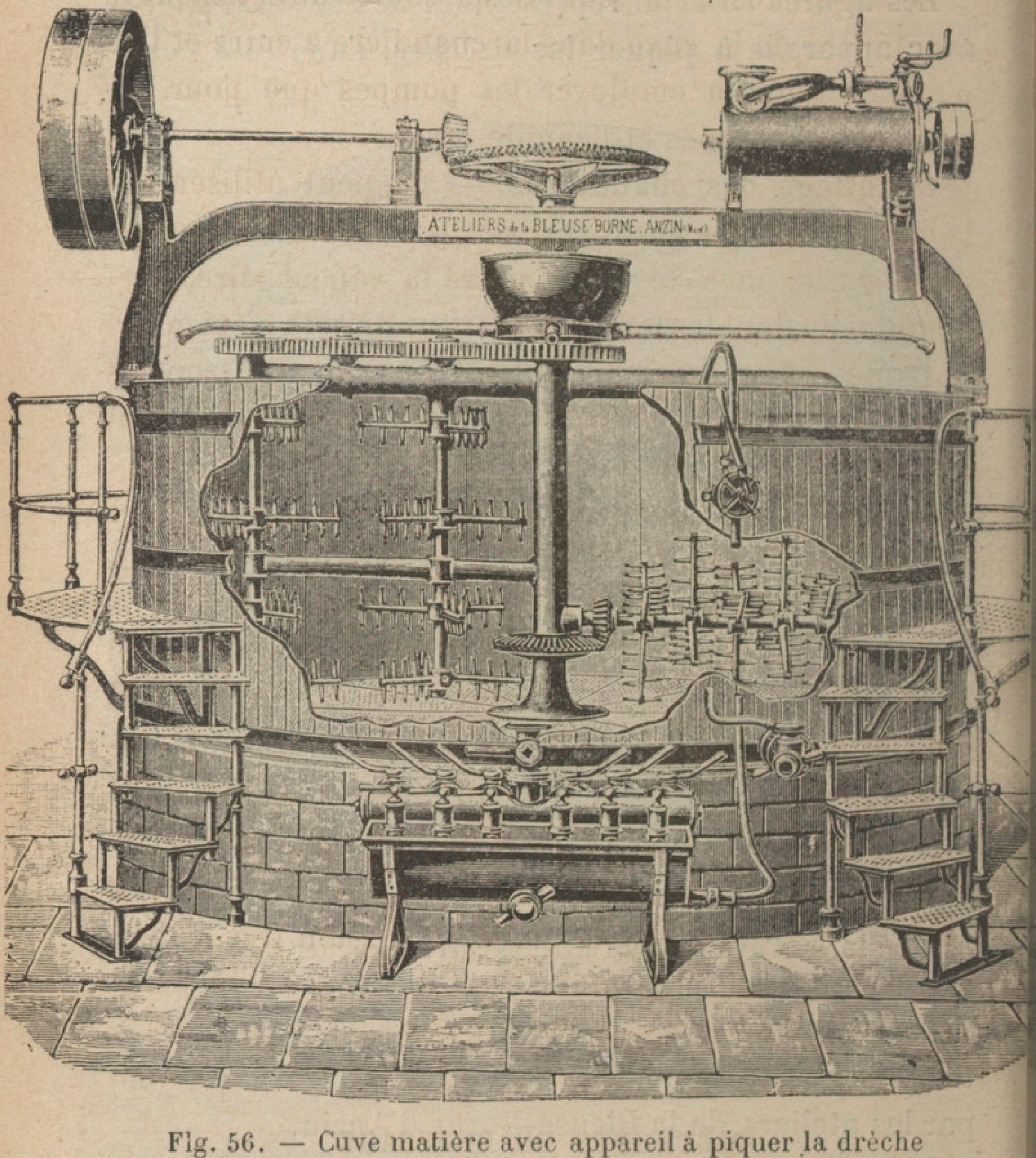


Fig. 56. — Cuve matière avec appareil à piquer la drèche (Ateliers de la Bleuse-Borne à Anzin).

soit à cuire ; les trempes qui ont bouilli dans la chaudière sont en effet plus fluides et engorgent moins les pompes ; au contraire, par suite de la différence de

niveau, on peut faire passer sans pompe, une partie du contenu de la cuve dans la chaudière.

De même aussi, on peut laisser couler directement le moût filtré de la cuve dans la chaudière à cuire et l'on n'a en somme à employer les pompes que pour remonter les trempes et l'eau de lavage.

Chauffage des chaudières. — On peut utiliser soit la chaleur directe du foyer, soit la vapeur, et, dans ce dernier cas, on a le choix entre la vapeur directe et l'emploi de doubles fonds. La vapeur directe n'est guère possible en brasserie parce qu'elle diluerait trop les moûts. Aussi n'y a-t-il que deux catégories ; à feu nu, et vapeur indirecte.

A Munich, on continue à employer le chauffage à feu nu qui, prétend-on, donne à la bière un arome particulier très apprécié du consommateur, goût que l'on ne saurait obtenir avec le chauffage à la vapeur. Il semble que ce soit là un simple préjugé ; en effet à la brasserie de Carlsberg, après avoir installé le chauffage à la vapeur, on fit faire des dégustations de bières cuites les unes à feu nu, les autres à la vapeur, sans qu'on établit de différence sensible. A Carlsberg, il est vrai, la cuisson a lieu sous une pression très légèrement supérieure à celle de l'atmosphère, 10 à 15 centimètres d'eau environ.

MÉTHODES DE BRASSAGE

On peut les rattacher, quoique très variées à deux types principaux, la méthode par *infusion* et la méthode *par décoction*. Nous indiquerons d'abord le principe de ces deux procédés et nous reviendrons ensuite sur la

réalisation pratique, après avoir examiné le mécanisme de ces procédés et les diverses compositions du moût.

Infusion. — On met le malt moulu en contact avec de l'eau chaude, en se servant ou non d'un hydrateur, de manière que le mélange ait une température de 60 à 75° ; suivant les brasseries, on vague pendant quelque temps, on laisse déposer une demi-heure à trois quarts d'heure, puis on soutire le moût filtré sur la drèche, on l'envoie dans la chaudière et immédiatement on fait arriver de l'eau bouillante sur les drèches après avoir piqué celles-ci, et, après un peu de repos, on renvoie les trempes de lavage, rejoindre la première trempe dans la chaudière.

On laisse quelquefois les trempes séjourner dans un bac spécial, au lieu de les mettre directement dans la chaudière.

On laisse les trempes réunies pendant quelque temps à la chaudière, jusqu'à ce que la saccharification soit tout à fait sûrement terminée, puis on porte à l'ébullition.

Dans cette méthode, on fait arriver l'eau soit par dessous le faux fond, soit à l'aide de la croix écossaise, soit pour la trempe première, soit pour celle de lavage.

Décoction. — La cuve matière ayant reçu une quantité convenable d'eau à la température ordinaire, on y verse le malt, en agitant le mieux possible pour faire un mélange homogène. C'est ce qu'on nomme la *salade*. On laisse le malt et l'eau en contact pendant une demi-heure à une heure, puis à l'aide d'eau bouillante versée avec lenteur, on réchauffe le contenu de la cuve à 35° environ ; on fait couler immédiatement une partie

du contenu de la cuve matière dans la chaudière et on cesse de vaguer en cuve. On monte progressivement en chaudière jusqu'à 75° et cela aussi doucement qu'on le peut; puis on fait bouillir en maintenant l'ébullition pendant quinze à vingt minutes. On ramène en cuve matière dont la température s'élève jusqu'à vers 50°.

On a soin de prendre de préférence pour les monter en chaudière, les parties les plus denses, ce qui fait appeler le procédé en question : procédé des trempes épaisses.

On fait de la même façon, encore une trempe épaisse qui ramène à 62° la température de la cuve, puis une dernière trempe dite claire, dans laquelle on tâche de ne laisser que le liquide de la cuve, en entraînant le moins possible de matière en suspension. Cette trempe ramène en cuve à 73-75°.

On vague jusqu'à saccharification complète, puis on laisse déposer et on soutire le liquide clair qu'on envoie en chaudière.

On arrose immédiatement les drèches avec de l'eau à 75-80°, après avoir repiqué la drèche, et on fait deux ou trois de ces lavages ; le dernier liquide qui s'écoule doit avoir une très faible concentration au plus 2° Balling d'extrait.

Ou peut commencer à faire bouillir le moût dès que le fond en est couvert par la première trempe qu'on appelle aussi bouillon.

Contrôle de la saccharification. — On emploie une solution contenant 1 gramme d'iode et 4 grammes d'iodure de potassium dissous dans un litre d'eau ; à l'aide d'une baguette de verre, on prend une goutte du moût, soit dans la cuve matière après la trempe claire,

soit en chaudière lorsqu'on a procédé par infusion; on dépose cette goutte de moût sur une assiette. On laisse refroidir quelques instants, puis, avec une baguette de verre, on dépose à côté une goutte de la solution d'iode indiquée. Tant que l'on aperçoit une coloration violacée ou orangée, la saccharification n'est pas terminée, et il faut continuer à vaguer en cuve matière et à laisser au-dessous de 75° s'il s'agit de la chaudière dans le procédé par infusion.

CIRCONSTANCES QUI INFLUENT SUR LA COMPOSITION DU MOUT

Matières minérales de l'eau. — Aux doses où ces matières se rencontrent dans les eaux, leur action est assez faible, toutefois, des quantités très minimes de carbonates alcalins influent déjà sur le temps nécessaire à la saccharification ; de même le sel ordinaire (chlorure de sodium) et plus encore le chlorure de calcium, augmentent notablement le taux de maltodextrines.

Germination du malt. — Un malt bien germé contiendra de l'amidon dont les grains seront entièrement débarrassés de leurs enveloppes cellulosiques, et qui sera par suite capable de se saccharifier à très basse température 50-52°; pour obtenir sa dissolution, il ne sera donc pas nécessaire de chauffer fortement, et par suite la diastase ne sera pas affaiblie : au contraire, si le malt a été mal germé, on doit, pour transformer son amidon en empois, porter la diastase à une température qui l'affaiblit et elle fournit alors des maltodextrines de type très élevé.

Ainsi Brown et Morris ont obtenu avec trois malts de germination défectueuse :

	I	II	III
Maltose combiné.....	1.5 p. 100	1.25	0.8
Dextrine combinée.....	8.83	9.97	11.43
Type.....	1/6	1/8	1/14

On se rend aisément compte que la vraie raison de l'élévation du type est la nécesité de chauffer la diastase à température plus haute et par conséquent de l'affaiblir. En effet, si l'on compare le type de maltodextrines dans le bouillon et dans les trempes de lavages, on constate qu'il est très différent pour un malt mal germé et le même pour un malt normal. Brown et Morris (*Brewing Trade Review*) en ont ainsi trouvé pour les types :

	Bouillon.	Lavage.
Mauvais malt.....	1/1,3	1/3
Bon malt.....	1/2	1/2

C'est que la saccharification des dernières parties de l'amidon n'a pu se faire qu'à une température très élevée, avec une diastase épuisée, tandis que pour le bon malt, la saccharification étant terminée, la trempe de lavage n'est autre chose que le bouillon dilué.

Brown et Morris font remarquer que l'on pourrait être tenté d'employer du malt mal germé pour obtenir des moûts contenant des maltodextrines de type élevé, mais ce serait là un procédé dangereux, parce que la dissolution de tels malts étant fort lente, on risque de laisser dans le moût de l'amidon non saccharifié et de produire par suite une bière trouble.

Dans un malt germé normalement, au contraire, le développement de la diastase et la désagrégation du

grain, vont pour ainsi dire parallèlement, et l'amidon se trouve à un état qui correspond en quelque sorte au pouvoir diastasique du malt. On peut alors régler la proportion et le type des maltodextrines suivant la marche de la saccharification. On obtiendra beaucoup de ces composés, si l'on fait la saccharification principale vers 70° et plus encore vers 75°; très peu au contraire, en insistant sur les températures inférieures à 63°.

Touraillage du malt. — Une température supérieure à 55° commence déjà à affaiblir la diastase, or ce ferment subit cette température ou des températures supérieures, deux fois, l'une pendant le touraillage, l'autre pendant le brassage. La température de touraillage a une action manifeste sur la composition du moût. Brown et Morris, à qui nous empruntons les principaux résultats de leur étude *sur l'influence du type et de la proportion de maltodextrines* (*Brew. Trade Review*), ont comparé quatre malts touraillés à des températures croissantes du n° 1 au n° 4; ils ont trouvé:

	1	2	3	4
Pouvoir diastasique (Lintner).	47	45	34	17
Maltodextrines p. 100.....	4.25	7.9	14.9	22.4
Type.....	1/0.5	1/1.5	1/2	1/2

A mesure que la température du touraillage est plus haute, on voit s'élever ainsi non seulement la proportion, mais encore le type des maltodextrines dans les moûts correspondants. On notera aussi que ce pouvoir diastasique, c'est-à-dire en somme la quantité de diastase contenue dans le malt, suit une décroissance inverse; le malt le plus touraillé a le plus faible pouvoir diastasique et donne la plus forte proportion de maltodextrines.

Température de saccharification. — En opérant sur un même malt, on essaie de saccharifier à des températures croissantes 60°, 65°, 69° ; on trouve comme composition des moûts correspondants :

Températures.....	60°	65°	69°
Maltodextrines.....	2.4 p. 100	6.6 p. 100	16.2 p. 100
Type.....	1/4	1/4	1/4.2

L'influence de la température de saccharification s'exerce donc bien plus sur la proportion que sur le type des maltodextrines. On peut remarquer qu'à 60°, il n'y a pour ainsi dire pas de maltose combiné, tandis qu'à 69°, la quantité de maltodextrine équivaut à 1/6 de l'amidon transformé. Ainsi tandis que la germination et la température de touraillage du malt agissent à la fois sur le taux et le type des maltodextrines, la température de saccharification n'a guère d'influence que sur la proportion de ces substances.

Influence comparée du touraillage et du brassage. — Brown et Morris ont étudié à ce point de vue, deux malts, l'un destiné à la fabrication du Pale Ale, était pâle, peu touraillé et riche en diastase, l'autre propre à la production d'ale, était plus foncé, et moins riche en diastase : les données relatives à ces moûts sont les suivantes :

	Pale Ale.	Ale.
Pouvoir diastastique.....	38.4	24
Couleur du moût.....	4°	8°
Maltodextrines	7.5 p. 100	18.4 p. 100

En saccharifiant le premier à 69° et le deuxième à 63°, on obtient des moûts ayant à 1/2 p. 100 près la même proportion de maltodextrine mais le type

était un peu plus bas pour le malt d'ale, parce que la température de brassage était aussi moins élevée.

Ainsi donc en saccharifiant à basse température, un malt fortement touraillé, on peut obtenir la même proportion de maltodextrine, et de type plus bas, qu'en traitant vers 70° un malt peu touraillé et riche en diastase.

Pouvoir diastasique des moûts. — La diastase n'étant détruite qu'à 75°, les moûts conservent encore la faculté d'agir sur l'amidon, tant qu'ils n'ont pas été chauffés à cette température. Mais leur pouvoir diastasique, ou si l'on veut, la quantité de diastase qu'ils renferment dépend beaucoup de la température à laquelle ils ont été portés antérieurement et devient nul à 75°. Moritz et Swift ont déterminé ce pouvoir diastasique pour les moûts provenant d'un même malt, mais chauffés à diverses températures.

	Pouvoir diastasique.
Malt.....	36
Moût chauffé à 60°.....	16
— à 65°.....	3.6
— à 69°.....	2.5

Cet affaiblissement du pouvoir diastasique, est à considérer, au point de vue de la saccharification finale, notamment dans le travail des grains crus, lorsqu'on introduit ceux-ci seulement après une ou deux trempes. Le moût chauffé à 70° n'a plus qu'un très faible pouvoir diastasique, ce qui se traduit par une saccharification pénible et la production de beaucoup de maltodextrines.

En résumé, pour un malt donné, on forme peu ou pas de maltodextrines, au-dessous de 63° et au-dessus la proportion s'élève.

Pour une marche de brassage donnée, la proportion et le type des maltodextrines sont d'autant plus élevés, que le malt a été touraillé à plus haute température.

TRANSFORMATION DES MATIÈRES AZOTÉES PENDANT LE BRASSAGE

Une partie des matières azotées du malt passe dans le moût pendant le brassage : la composition du malt en matières azotées solubles est à peu près la suivante :

Azote albuminoïde	0.119	p. 100
— des peptones	0.0233	—
— ammoniacal	0.0057	—
— des acides amidés	0.2257	—
— des amides	0.003	—

Les matières azotées solubles non coagulables, c'est-à-dire les peptones, les sels ammoniacaux, les acides amidés et les amides passent presque intégralement dans le moût, mais de plus, un ferment particulier, la peptase, paraît agir sur les matières albuminoïdes insolubles du malt, pour les solubiliser, et c'est à une température d'infusion de 45° environ que le moût dissout la plus forte proportion de matières azotées ; il renferme alors en moyenne 0,0887 azote dans 100 grammes, comprenant :

Azote albuminoïde..	0.00903	soit	10	p. 100 de l'azote total.	
— de peptones..	0.02744	—	31	—	—
— amidé.....	0.052	—	58.9	—	—

Ce sont les amides qui paraissent jouer le rôle prédominant pour la fermentation, les albuminoïdes n'étant pas consommées, et les peptones peu attaquées par la levure.

Bien entendu cette composition du moût varie et avec le malt et avec la méthode du brassage.

Mécanisme du brassage par infusion.

Nous savons que la diastase est l'agent actif de la saccharification, et que ce ferment ne peut agir sur l'amidon que si celui-ci a été d'abord changé en empois ou débarrassé de ses enveloppes cellulosiques, par la germination, et nous nous rappelons que l'amidon du malt peut être attaqué par la diastase vers 50-52°, lorsque la germination a été bien conduite et que la cytase a pu exercer complètement son action dissolvante, en d'autres termes quand le malt est bien désagrégé et se dissout rapidement.

Nous rappelons également que les produits de la saccharification, maltose, dextrine, maltodextrines, sucres difficilement ou non fermentescibles, sont en proportions très variables suivant la température de saccharification et qu'enfin, la diastase chauffée aux températures supérieures à 63°, est incapable d'agir sur les maltodextrines et donne par saccharification des moûts de plus en plus riches en maltose combiné (maltodextrines) et de plus en plus pauvres en maltose libre.

La première trempe d'infusion est faite de façon que la température du mélange de malt et d'eau soit de 62 à 70° ; on dissout la plus grande partie de la diastase, mais en l'affaiblissant de suite et d'autant plus que la température est plus élevée, c'est-à-dire qu'on la rend d'une manière définitive incapable de donner uniquement du maltose libre et de la dextrine libre,

quand bien même on la ferait ensuite agir sur l'amidon aux températures inférieures à 62°.

Pendant cette première période, il y a une partie de l'amidon saccharifié, mais le malt est loin d'être épuisé parce que la température n'est pas assez élevée pour séparer cet amidon des enveloppes et du germe du grain. Nous pouvons donc dire que la première trempe ainsi faite, a surtout pour but l'extraction de la diastase.

On laisse ensuite déposer pendant une demi-heure environ et l'on envoie en chaudière le moût filtré sur les drèches et à peu près clair.

Les drèches contiennent encore beaucoup d'amidon, et l'eau bouillante qu'on envoie sur elles à deux reprises, a pour effet de transformer cet amidon en empois; il en résulte que les deux trempes de lavage apportent à la chaudière une assez grande quantité d'amidon, qui doit être saccharifié par la diastase dissoute dans la première trempe. La véritable saccharification se termine donc seulement dans la chaudière, et pour qu'elle ait lieu d'une façon certaine, il faut que la première trempe n'ait pas subi de températures supérieures à 75°; plus cette première trempe et la diastase qu'elle contient auront été chauffées à température voisine de 75° plus la saccharification sera lente, plus elle donnera de maltodextrines. Or nous savons que l'atténuation d'une bière et sa richesse en alcool seront d'autant plus fortes que le moût contiendra plus de maltose libre; par conséquent plus la saccharification aura lieu près de 75°, moins on produira d'alcool et moins la bière atténuera. Les bières faites par infusion étant des bières de fermentation haute, desti-

nées le plus souvent à être consommées rapidement, il importe qu'elles renferment peu de maltodextrines et que celles-ci soient de type bas, de façon que la fermentation secondaire soit courte et énergique.

Ajoutons encore que la qualité du malt vient jouer ici un rôle important. Si nous avons affaire à un malt très riche en diastase, comme serait un malt à plumule bien développée et touraillé à basse température, ce malt pourra supporter une température de 74-75° et même pendant quelques minutes 75°, sans cesser de pouvoir saccharifier. De même si le malt est bien désagrégé, une plus grande portion de l'amidon sera saccharifiée en cuve matière, à la première trempe, et les trempes de lavage entraîneront moins d'empois. La saccharification en chaudière sera donc plus rapide et par suite plus certaine. Inversement, si le malt est désagrégé d'une façon défectueuse, s'il est pauvre en diastase, celle-ci s'affaiblira bien plus, lorsqu'elle sera soumise à une température élevée, et elle ne sera plus en état de saccharifier les grandes quantités d'amidon amenées par les trempes de lavage.

Nous déduirons donc de ces observations que :

1° La première trempe doit être faite au-dessous de 75° et à une température d'autant plus basse que le malt est plus pauvre en diastase et a une dissolution plus longue ;

2° On doit chercher à saccharifier en cuve matière le plus d'amidon possible ;

3° La première trempe une fois en chaudière, ne doit pas atteindre 75°, même après la réunion des trempes de lavage ;

4° On ne doit faire bouillir le contenu de la chaudière

qu'une fois la saccharification complète et c'est en chaudière qu'on doit contrôler celle-ci (essai à l'iode).

Principales méthodes d'infusion. — Cette méthode est encore employée presque exclusivement en Angleterre, on la pratique ordinairement de la façon suivante :

1° L'eau chauffée à 77-80° est écoulée dans la cuve matière à raison de 167 litres par 100 kilogrammes de malt. Celui-ci est brassé intimement avec l'eau ; on ajoute par le faux fond de l'eau à 94°, on brasse encore et on laisse reposer une heure et demie à trois heures. On remplace souvent le mélange direct en cuve matière par un hydrateur qui donne la pâte de malt et d'eau à une température voisine de 75°.

Cette méthode est fort dangereuse pour la bonne saccharification, et si le malt laisse à désirer, on a des bières entièrement dextrineuses, qui se clarifient mal, donnent une mousse collante et s'altèrent aisément. La méthode indiquée réussit en Angleterre parce qu'il s'agit de produire des bières qui, comme le pale-ale et le porter, sont alcooliques, fort houblonnées, mais dans le Nord, appliquée à des bières légères, ses inconvénients sont graves.

2° On mélange la farine très fine, avec l'eau dans l'hydrateur, et on fait arriver le tout dans la cuve matière à une température de 68°, on ne vague pas, sans quoi la farine très fine tomberait dans le faux fond. Après une demi-heure de repos, on fait arriver de l'eau presque bouillante par la croix écossaise, en même temps qu'on ouvre les robinets de la cuve matière, et on pompe le liquide en chaudière, l'addition d'eau chaude se fait d'une façon continue, jusqu'à épuisement des drèches. La saccharification véritable

se fait alors en chaudière ; il faut avoir soin que la température dans celle-ci ne dépasse pas 75° avant la réunion de toutes les trempes, c'est-à-dire avant que les drèches soient épuisées.

3° On fait infuser la farine de malt avec l'eau à une température de 40-45° pendant une demi-heure environ, puis on pompe à peu près la moitié du contenu de la cuve en chaudière (celle-ci doit alors être munie d'un vagueur) et on chauffe lentement jusqu'à 75°, puis rapidement à l'ébullition qui est prolongée pendant quinze à vingt minutes. On ramène la trempe en cuve matière, la température s'élève à 62-65°. On brasse cinq à dix minutes suivant que l'on veut faire une bière plus ou moins sèche, puis avec de l'eau bouillante, on monte à 72-75°; suivant que cette addition est plus ou moins rapide, le moût contiendra plus ou moins de maltodextrines, et la bière sera plus ou moins sèche. Ainsi en faisant monter en dix minutes la température de 60 à 75°, on obtient pour un certain malt, un moût contenant par 100 cent. cubes, 2^{gr},3 de dextrine totale, tandis qu'en vaguant dix minutes à 62° et montant en vingt-cinq minutes à 72°, on forme seulement 1^{gr}, 1 de dextrine aussi dans 100 cent. cubes de moût.

4° *Procédé de Lille.* — La farine étant dans la cuve, on fait arriver par le faux fond de l'eau chaude, de manière à obtenir une température de 50° environ pour le mélange. On laisse reposer quinze à vingt minutes, puis on soutire par le faux fond la moitié environ de l'eau employée à la trempe, moût trouble que l'on envoie de suite en chaudière et que l'on chauffe immédiatement. On fait alors arriver dans la cuve de l'eau bouillante jusqu'à produire une température de 70°.

On brasse pendant une demi-heure à une heure. On laisse reposer, puis on soutire le moût clair et on l'envoie aux chaudières à cuire. Tantôt on le réunit à la première trempe bouillante et l'on fait des arrosages à l'eau bouillante, tantôt on fait repasser sur les drèches cette première trempe bouillante.

5° Lorsqu'on veut produire un moût bien dextrineux, on peut ou bien employer le procédé anglais d'empâtage à 72-75°, ou bien diviser le malt en deux portions. Les 2/3 de la farine par exemple sont empâtés dans la cuve matière avec de l'eau à 50-55°; pendant ce temps, on a fait chauffer à 75-80° de l'eau et on y ajoute le dernier tiers du malt, on pousse vivement le feu, on fait bouillir dix à quinze minutes et on ramène en cuve matière cette trempe non saccharifiée; la température s'élève à 65-68° et on réchauffe jusqu'à 75° avec de l'eau bouillante. On diminue ainsi très sensiblement l'atténuation des bières, un moût à 15° Ball. ne fermentant ainsi que jusqu'à 6°,5 environ. La bière ainsi préparée en très moelleuse et mousse fortement, sa fermentation complémentaire pouvant se prolonger pendant des mois.

En dehors de ces procédés, il en existe un grand nombre d'autres qui en sont de simples variantes : en particulier, en Belgique, chaque ville a pour ainsi dire une méthode particulière; d'ailleurs beaucoup de ces bières sont fabriquées avec addition de grains crus, orge ou blé.

Travail des grains crus par infusion. — L'amidon de blé peut être changé en empois et dissous par la diastase à une température inférieure à 75°; on peut donc travailler la farine de blé dans la cuve matière,

en observant toutefois que la saccharification n'a lieu qu'à haute température, et que, par conséquent, on obtiendra par ce procédé surtout des dextrines.

Pour le maïs et le riz, il n'en est plus de même, la transformation complète en empois n'ayant lieu que vers 90-95°. Si donc l'on travaille ces grains à la cuve matière, on n'en retire qu'une portion de l'extrait qu'ils peuvent donner, au plus la moitié. En outre, les lavages à l'eau bouillante entraîneront encore de l'amidon et celui-ci pourra ne pas se saccharifier si la température de la première trempe est trop élevée dans la chaudière. Il est donc indispensable que le riz ou le maïs soient complètement transformés en empois avant d'être mis en contact avec le malt. On peut indiquer comme convenable le procédé suivant :

Le riz ou le maïs, sont mélangés avec 1/10 de leur poids de farine de malt, et introduits peu à peu dans de l'eau chauffée préalablement vers 70°; on monte doucement jusqu'à l'ébullition, que l'on maintient quinze minutes environ. On se sert ensuite de cet empois bouillant au lieu d'eau bouillante pour réchauffer le malt empâté d'autre part dans la cuve matière.

Suivant la température à laquelle on ramène le grain cru en cuve et aussi suivant la vitesse avec laquelle l'écoulement se fait, on détermine le caractère de la bière. Si la cuve matière se trouvant vers 60°, on ramène très rapidement le contenu de la chaudière de façon à atteindre en quelques minutes 75°, le grain cru donnera à la bière de la bouche et du moelleux. Si, au contraire, la cuve matière est à 50° et qu'on laisse monter lentement sa température à 68-70° seulement en mettant, par

exemple, trente minutes pour vider la chaudière, il se formera surtout du sucre et l'on obtiendra une bière sèche.

L'emploi des grains crus n'est d'ailleurs pas habituel en France lorsqu'on pratique le procédé par infusion, précisément à cause de la nécessité de cuire à part le grain cru, on donne la préférence au glucose qui s'ajoute simplement à la chaudière et qui fournit de l'alcool, sans préparation d'aucune sorte. Ajoutons que le prix de revient d'un kilogramme d'extrait est bien plus faible avec du glucose qu'avec du malt; en effet, le glucose massé contient en moyennne 85 p. 100 de matières sèches solubles, c'est-à-dire d'extrait, tandis que le malt ne donne guère plus de 66 p. 100 de rendement pratique, et encore ce chiffre n'est-il jamais atteint dans le procédé par infusion où l'épuisement est toujours plus imparfait.

PROCÉDÉS PAR DÉCOCTION

Mécanisme de la méthode. — Dans l'infusion, les élévations de température successives du mélange de malt et d'eau en cuve matière, sont obtenues par de l'eau bouillante, d'où la nécessité de faire l'empâtage très épais et à une température assez élevée si l'on veut obtenir un moût concentré. Le véritable épuisement de la drèche n'a lieu du reste qu'avec l'eau bouillante des trempes de lavage et encore est-il imparfait, puisque les lavages se réduisent à une simple filtration et que l'eau se refroidit rapidement au contact des drèches jusqu'à 75 ou 80°.

Dans la décoction, l'élévation de température peut

être beaucoup plus graduée, puisqu'elle est provoquée par le retour d'une partie du contenu de la cuve porté à l'ébullition dans une *chaudière à trempes* munie d'un vagueur ; de cette façon, on peut régler la saccharification de chaque trempe en chaudière, en agissant sur la marche du foyer, et comme, dans le procédé classique de trois trempes, la presque totalité de la drèche a passé par la chaudière, les saccharifications défectueuses sont beaucoup moins fréquentes.

Macérateur. — On peut remplacer la chaudière à trempes par un macérateur, c'est-à-dire par une chaudière close où l'on peut cuire avec ou sans pression les trempes et même faire toute la saccharification ; la cuve matière peut être alors supprimée et remplacée par une simple cuve à filtrer.

L'emploi du macérateur est extrêmement favorable à l'obtention de rendements élevés, puisqu'il n'y a aucune perte d'amidon par les faux fonds et que la cuisson avec une légère pression épuise complètement le malt. Ces appareils peu employés jusqu'ici, commencent à être remarqués, et il existe en Allemagne plusieurs méthodes de brassage, celle de Bohm par exemple, qui supposent l'emploi d'un macérateur.

Ces appareils se recommandent tout spécialement pour le travail des grains crus, dont l'empoissage peut se faire alors d'une façon parfaite et qui peuvent être ensuite amenés en cuve, au moment que l'on veut, suivant le genre de bière à produire.

La figure 57 représente un macérateur construit par MM. Diebold et Michel, de Nancy.

Enfin, n'étant plus gêné par la quantité considérable

d'eau à ajouter pour amener finalement la température en cuve à 70 ou 75°, on peut procéder à l'empâtage à

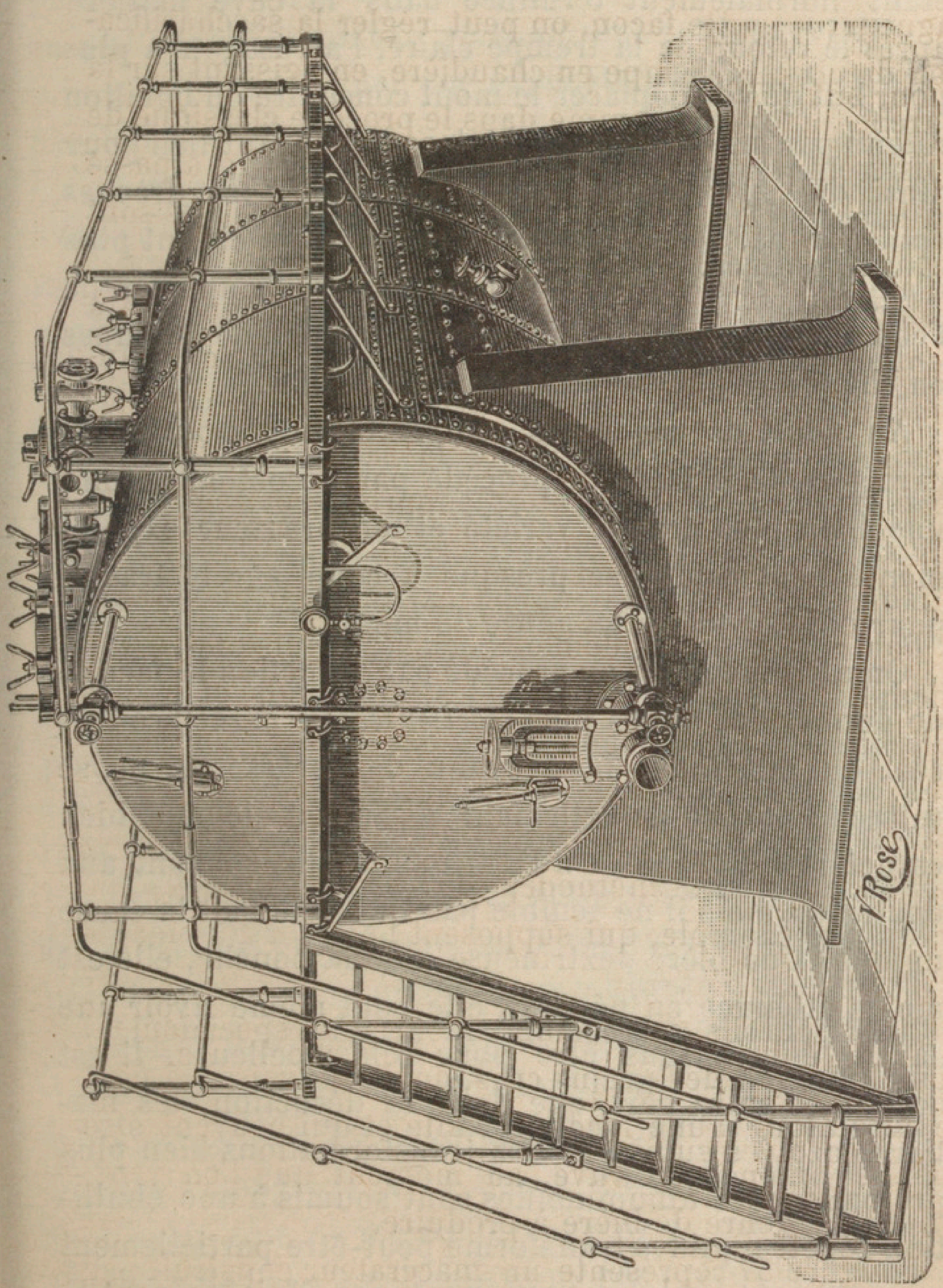


Fig. 57. — Macérateur (Diebold et Michel à Nancy).

basse température, ce qui est très favorable à la dissolution de la diastase.

Pour les trempes de lavage, les conditions sont également très différentes ; en effet, la saccharification étant normalement terminée dans la cuve matière après le retour de la trempe claire, l'arrosage n'a plus pour but que de déplacer le moût concentré ou bouillon retenu par les drèches, ce déplacement ayant lieu pour ainsi dire par simple action physique; les drèches épuisées par les cuissons successives ne cèdent plus d'amidon ; il n'y a dès lors plus besoin d'employer de l'eau aussi chaude, ni d'attendre la réunion des trempes en chaudière pour commencer l'ébullition.

Au point de vue de la composition du moût et du caractère de la bière, le procédé par décoction permet une bien plus grande variété et un brasseur expérimenté peut combiner presque à coup sûr le travail pour obtenir tel ou tel genre de moût.

On attribue aussi au procédé par décoction la faculté de donner des bières plus *moelleuses*. Ce caractère très réel du moelleux, bien connu des brasseurs, ne se rattache encore actuellement à aucun élément bien caractérisé du moût. On l'attribue le plus souvent aux dextrines, mais il ne semble pas que cela soit la cause unique. Une bière dextrineuse a de la bouche, elle est moins atténuée en général, elle peut même avoir une saveur douce, sans être pour cela moelleuse. Il est certain, d'autre part, que dans la décoction, les matières azotées subissent des transformations bien plus profondes ; les albuminoïdes sont soumis à une ébullition répétée qui les transforme peut-être partiellement en composés analogues aux peptones. Mais ce sont là des réactions dont la réalité n'est pas nettement démontrée.

On doit donc se borner à constater ce fait pratique, qu'une bière fabriquée par décoction est généralement plus moelleuse, que les bières provenant de moûts riches en maltodextrine, ont le plus souvent cette propriété, sans pouvoir en donner une explication satisfaisante ni absolument certaine.

Comme *rendement*, la décoction est notablement plus avantageuse, on peut avoir un écart de 6 p. 100 seulement entre l'extrait donné par l'analyse et celui obtenu pratiquement, et même avec des méthodes particulières, a-t-on pu arriver quelquefois au chiffre même de l'analyse.

Nous avons dit sommairement quelle était la marche générale du procédé. La farine de malt est incorporée à l'eau placée dans la cuve matière, de façon à obtenir une température variable entre 10 et 35° (*salade*), un agitateur est indispensable pour avoir une pâte bien homogène et la meilleure extraction de diastase. L'emploi de l'hydrateur est tout à fait recommandable, à ce point de vue, parce que la perte d'amidon par le faux fond est ainsi bien diminuée ; de plus, le malt et l'eau arrivant au contact par petites quantités, le mélange est bien plus intime. On laisse en contact pendant une demi-heure au moins, souvent jusqu'à une heure.

Lorsque la salade est faite à 10 et même 20-25°, on envoie au bout du temps adopté de l'eau bouillante pour remonter à 35° environ ; cette addition est inutile lorsque l'empâtage a eu lieu à cette température. Il faut avoir soin de mettre le vagueur en marche avant l'arrivée de l'eau bouillante et ne pas précipiter l'écoulement de celle-ci, de façon que l'élévation de température soit bien régulière dans la cuve et qu'il n'y ait pas

de parties à 80 ou 100°, même pendant peu de temps, puisque l'on détruirait en ces points la diastase, que l'on doit au contraire conserver intacte pour les traitements ultérieurs. Il est bon de faire chauffer en chaudière un peu plus d'eau qu'il n'est nécessaire, de façon que le fond ne soit jamais découvert. Aussitôt la température désirée atteinte, on arrête l'écoulement de l'eau en laissant l'excédent en chaudière et on pompe environ un tiers du contenu de la cuve dans la même chaudière.

Auparavant, on a effectué la purge du faux fond, c'est-à-dire que l'on a ouvert violemment les robinets de la cuve pour que l'eau en s'écoulant entraîne les particules d'amidon déposées dans le faux fond. Ce liquide est renvoyé dans la cuve matière ou mieux dans la chaudière avec la première trempe.

En général, l'on se contente de pomper comme première trempe, le mélange de farine et d'eau tel qu'il se trouve dans la cuve pendant le mouvement du vagueur. Quelquefois cependant, à Munich par exemple, on pousse avec des râteaux la drèche, de façon à entraîner le plus de matières solides possible.

La trempe en chaudière est chauffée assez lentement, on compte en général quarante-cinq minutes pour atteindre l'ébullition. Lorsqu'on a affaire à du malt pâle, très actif, on peut accélérer l'élévation de température et chauffer aussi vite que le permet le foyer. Pendant ce traitement la diastase agit sur l'amidon et en saccharifie la plus grande partie, jusqu'au moment où la température atteint 75°, ensuite l'amidon restant se transforme en empois; le degré de saccharification en chaudière dépend de la qualité du malt; plus

celui-ci est riche en diastase et plus elle est avancée.

Il faut avoir soin de vaguer en chaudière tant que l'ébullition n'est pas active, pour éviter que la farine ou les balles se brûlent au contact de la chaudière. Lorsque la trempe est en pleine ébullition, on peut arrêter le vagueur, le dégagement des bulles de vapeur produisant une agitation suffisante.

On laisse bouillir un temps variable, vingt minutes sont suffisantes; quelquefois on va jusqu'à quarante-cinq minutes. Au bout de ce temps, on remet le vagueur en marche, aussi bien en chaudière que dans la cuve matière, on retire le feu de dessous la chaudière ou on le couvre, et on fait couler la trempe épaisse dans la cuve matière. Il faut, ici encore, avoir soin de faire couler doucement le liquide bouillant pour éviter toute surchauffe qui aurait pour résultat une destruction de diastase et la formation d'empois compact.

L'écoulement de la trempe en cuve matière dure dix à vingt minutes et la température monte à 50° environ. On laisse généralement un peu de la trempe en chaudière pour en laisser le fond constamment couvert.

Aussitôt la température de 50° atteinte, on envoie en chaudière une deuxième trempe épaisse qu'on conduit comme la première, on peut seulement ne mettre que trente minutes pour arriver à l'ébullition, puisqu'on part de 50° au lieu de 35°; on fait bouillir vingt minutes et on ramène en cuve matière en dix à vingt minutes, en atteignant une température de 61-63°. C'est à ce moment que se décide déjà le caractère de la bière. Si l'on veut faire un moût sucré, on laisse alors en cuve matière pendant cinq à dix minutes, de façon que

l'empois d'amidon ramené par les trempes se saccharifie à cette température très favorable à la production du maltose libre, c'est-à-dire fermentescible intégralement à la fermentation principale. Si au contraire, on veut préparer un moût riche en maltodextrines, c'est-à-dire une bière ayant plus de bouche et moins alcoolique, aussitôt la température de 62° atteinte, on retire la troisième trempe, dite trempe claire.

Cette appellation de trempe claire n'est que très relative; cependant, pour entraîner le moins de drèches possible, on laisse en général le contenu de la cuve en repos pendant quelques minutes et quelquefois on place un tamis devant l'orifice d'écoulement. C'est alors surtout du liquide que l'on pompe.

Le but de la cuisson de la trempe claire est double, d'abord elle doit comme les précédentes réchauffer la cuve matière et en amener le contenu vers 75°. Mais de plus, comme la diastase est presque entièrement dissoute dans le liquide, en portant celui-ci à l'ébullition on détruit toute la diastase qu'il renferme et il ne reste plus pour effectuer la saccharification de l'amidon dans la cuve, que la diastase contenue dans le liquide qui imbibe les drèches; cette diastase ayant été, par les trempes précédentes, chauffée déjà à une température élevée et se trouvant en dose réduite, la saccharification produira certainement des maltodextrines, c'est-à-dire des bières à faible atténuation et ayant beacoup de bouche, telles que celles fabriquées à Munich.

La trempe claire arrive à l'ébullition en quinze minutes environ, on la fait bouillir quinze à vingt minutes et on ramène en cuve. La vitesse de l'écoulement intervient encore puissamment pour modifier la composition

du moût. D'abord si l'on fait couler à plein tuyau cette trempe, on risque fort de ne pas arriver à une saccharification complète, car on montera très vite à 75°, la diastase déjà bien affaiblie sera complètement détruite avant d'avoir pu dissoudre tout l'amidon.

Si l'on fait écouler la trempe doucement, jusqu'à ce que la température atteigne 68-70°, puis rapidement de 70 à 75°, on fera des moûts relativement peu dextrineux.

Enfin si l'on va rapidement à 70° et lentement de 70 à 75°, on produira la proportion maxima de maltodextrines.

L'écoulement doit être d'autant plus lent que l'on a poussé plus vivement les trempes épaisses en chaudière, parce que la destruction de diastase a été alors plus considérable.

Pour obtenir encore plus de maltodextrines, on peut terminer à 77° environ.

Mais c'est un procédé assez dangereux et qui ne peut être employé qu'avec un malt excellent et en faisant couler très doucement de 70 à 77°. L'action de cette élévation de température est fondée sur une observation de Petzoldt, savoir que la diastase, en présence des produits déjà formés de la saccharification, pouvait supporter quelques instants une température un peu supérieure à 75° sans destruction complète. En chauffant à 77°, on augmente encore l'affaiblissement de la diastase et l'on sait que la proportion de maltodextrines est d'autant plus forte que la diastase a été plus affaiblie.

La durée moyenne de l'écoulement de la trempe claire est de quinze à vingt-cinq minutes.

Une fois tout le moût réuni dans la cuve matière à la température de 75° environ, on doit brasser pendant

un temps variable, de manière à produire une saccharification complète ; le plus sûr est de contrôler celle-ci par l'essai à l'iode. Sans doute, on peut admettre que pour la plupart des malts bien fabriqués, la saccharification n'exigera pas plus de trente minutes, mais il y a des exceptions : on ne peut considérer cette durée comme certainement suffisante que si l'analyse a indiqué pour le malt une dissolution n'excédant pas vingt minutes. Cette durée donnée à l'analyse n'est d'ailleurs qu'un minimum, puisque pour la déterminer, on se place précisément dans les conditions les plus favorables. Un malt qui, au laboratoire, se sera saccharifié en quinze minutes, mettra en général un peu plus de temps en pratique, mais celui dont la durée dissolutive aura été trouvée de trente-cinq minutes par exemple, ne mettra jamais moins au brassage.

Cette saccharification finale se pratique dans la cuve matière ou dans la cuve à filtrer, lorsque la brasserie possède cette installation. Dans ce dernier cas, aussitôt l'écoulement de la trempe claire terminé, on pompe tout le contenu de la cuve dans l'appareil à filtrer où l'on continue la saccharification.

Ensuite, on laisse reposer un temps variant entre trente minutes et une heure pour clarifier le moût. Il doit présenter alors une couleur noire à la surface avec un peu de mousse nageant au-dessus.

Après chaque trempe, il est bon de renouveler la purge des faux fonds ; cette purge est d'ailleurs d'autant plus efficace que la température est moins élevée, car lorsque l'amidon est changé en empois, il s'agglomère et l'eau ne l'entraîne plus. Cette formation d'empois a déjà lieu vers 50° pour le malt, de sorte qu'il faut

purger abondamment après la salade, et au retour de la première trempe.

Lorsque les dispositions d'appareils le permettent, il est préférable d'envoyer le liquide résultant de ces purges dans la chaudière à trempes, où l'amidon est de suite utilisé ; en le remettant dans la cuve matière, au-dessous de 50-55°, il passe de nouveau en partie dans le faux fond et peut ensuite boucher les robinets de la cuve.

Si nous rapprochons cette marche des causes qui influent sur la composition des moûts et les proportions de maltodextrines, nous constatons que :

1° Avec un malt touraillé à basse température, on pourra obtenir des bières ayant de la bouche, et une fermentation complémentaire longue, en passant aussi rapidement que possible sur les températures comprises entre 55 et 63°, et en faisant la saccharification finale entre 68 et 75°.

2° Avec un malt touraillé à température élevée, on peut obtenir un moût à fermentation complémentaire courte, ou saccharifiant aux températures voisines de 63°, et en élevant lentement la température de 63 à 70°.

Calcul des quantités de moût nécessaires à chaque trempe. — Le volume de liquide contenu dans la cuve matière peut être facilement connu, par la section de la cuve et par la hauteur du liquide.

On peut calculer approximativement les quantités d'eau chaude pour le réchauffage et le volume de chaque trempe. Mais il est nécessaire de connaître de combien de degrés se refroidit le contenu de la cuve dans l'intervalle de chaque trempe.

Soit la salade faite à 22° avec un volume de v litres

de liquide et de drèches, et soit x la quantité d'eau bouillante nécessaire pour l'amener à 35° ; la quantité de chaleur perdue par x kilogr. d'eau en se refroidissant de 100° à 35°, est la même que celle gagnée par le contenu de la cuve en montant de 20 à 35°, si l'on admet que pendant la salade, la température a baissé dans la cuve de 22 à 20°. On a donc :

$$x\,(100 - 35) = v\,(35 - 20) \qquad \text{d'où} \qquad x = \frac{15}{65}\,v.$$

$$x = \frac{3}{13}\,v.$$

Il faudra donc employer dans ce cas au réchauffage un volume d'eau théoriquement égal au $\frac{3}{13}$ du contenu de la cuve à la salade. Ainsi si la salade est de 65 hectolitres, il faudra pour réchauffer, 15 hectolitres d'eau bouillante.

De même pour les trempes épaisses et la trempe claire. La cuve matière étant à 35°, il s'agit de poser que la chaleur perdue par un volume x de trempe en se refroidissant de 100 à 50° est égale à celle gagnée par le volume v-x se réchauffant de 32 à 50°, en admettant que pendant la chauffe de la trempe, la cuve matière s'est refroidie de 35 à 32°. On a ainsi :

$$x\,(100 - 50) = (v - x)\,(50 - 32)$$

d'où

$$x = \frac{1}{3.8}\,v.$$

Il est préférable de forcer un peu le volume de la trempe, à cause du refroidissement de la cuve, et aussi pour pouvoir laisser dans la chaudière assez de liquide pour en couvrir le fond. On peut donc compter à peu

près comme première trempe 1/3 du contenu de la cuve matière. Ce chiffre doit même être encore augmenté pour certaines cuves, qui se refroidissent rapidement.

Pour la deuxième trempe, on trouve par le même calcul :

$$y = \frac{1}{3.5} v$$

et pour la trempe claire

$$z = \frac{1}{3.7} v.$$

Dans les conditions habituelles, on peut prendre pour chaque trempe environ 1/3 du contenu de la cuve. Si l'on n'atteint pas ainsi les températures indiquées par le tableau de fabrication, on notera le nombre de degrés dont baisse la cuve entre chaque trempe, et l'on pourra calculer de la manière indiquée précédemment les volumes à donner pour les trois trempes. Ainsi en conservant comme tableau celui que nous avons pris comme exemple, 35°, 50°, 63°, 75°, et en supposant que les températures de la cuve, au moment où l'on va ramener chaque trempe, sont respectivement 38°, 41°, 52°, on aura pour les volumes à cuve en chaudière :

$$x = \frac{1}{3.2} v$$

$$y = \frac{1}{2.6} v$$

$$2 = \frac{1}{2.1} v.$$

Il faudrait donc prendre à la première trempe un peu plus du 1/3 de la cuve, à la seconde un peu plus des 2/5, et à la trempe claire, un peu plus de la moitié du volume.

D'ailleurs une fois le calcul fait, il suffit de faire des marques dans la cuve, ou dans la chaudière, pour guider le travail.

Mise en perce. — Lavage des drèches. — Lorsque le moût paraît dans la cuve bien noir à la surface, et qu'on ne voit plus surnager de débris de drèches, ni celles-ci remonter au niveau supérieur du liquide, on ouvre doucement les divers robinets de la cuve et on laisse couler le moût jusqu'à ce que celui-ci examiné dans un verre paraisse bien clair, on remonte alors le liquide trouble écoulé à l'aide d'une pompe, qui le déverse sans secousses le long de la paroi de la cuve, et un peu au-dessous de la surface du liquide. Le moût n'est pas troublé de cette façon ; on ouvre alors peu à peu les robinets et on fait couler le moût dans la chaudière, soit directement, soit à l'aide d'une pompe, suivant la disposition des appareils. Dès que le fond de la chaudière est couvert, on allume le feu dessous.

Il est bon de prendre le degré Balling de ce premier moût ou bouillon.

On examine de temps en temps au verre le bouillon, au sortir des robinets, et dès que l'on voit le trouble reparaître à un robinet, on le ferme. Quand tous les robinets sont fermés, on fait arriver l'eau de lavage à une température de 65-75°, et on pique la surface supérieure des drèches, ou bien l'on met en marche la machine à piquer la drèche. Que l'ablution ait lieu par le faux fond ou par le dessus, on fait couler de l'eau, jusqu'à ce que les drèches soient complètement baignées et même recouvertes de quelques centimètres d'eau, on purge encore après avoir laissé déposer quelques mi-

nutes, et on envoie en chaudière. On prend le degré saccharimétrique du moût.

On fait encore une deuxième, quelquefois une troisième trempe de lavage, et on prend chaque fois avec le Balling, ou un densimètre, la quantité d'extrait contenu dans le liquide à la fin de chaque lavage. On peut considérer comme un bon épuisement, d'arriver à ce que le dernier lavage n'ait que 0,8 à 1,5 degré Balling.

Limite du lavage. — Il serait toujours économique de pousser loin le lavage, quoiqu'il faille ensuite évaporer la plus grande partie de cette eau. On peut s'en rendre compte par le raisonnement suivant : Soit un hectolitre de lavage à 1,4 Balling et supposons que le moût, au moment de vider la chaudière, ait 14° Balling; pour transformer 1 hectolitre à 1°,4, en moût à 14°, il a fallu réduire l'hectolitre aux $\frac{1,4}{14}$, c'est-à-dire au 1/10 de son volume; un hectolitre de la dernière trempe de lavage à 1,4 Ball. fournirait donc 10 litres de moût à 14° Ball., il a fallu évaporer 90 litres d'eau; on peut admettre que 100 litres de moût ne donnent pas plus de 80 litres de bière prête à la vente. Les 10 litres de moût récupérés fourniront donc 8 litres de bière. Si nous comptons celle-ci à 32 francs l'hectolitre, nous aurons retiré d'un hectolitre de lavage une valeur de 2 fr. 56.

Comme dépense, il a fallu brûler du charbon : 1° pour chauffer l'eau de lavage à 70°, ce qui représente environ 3 kilos; 2° pour évaporer 90 litres d'eau, ce qui répond en chiffres ronds à environ 30 kilos de charbon, soit en tout 33 kilos; en évaluant à 24 francs le prix de la tonne, 33 kilos coûtent 0 fr. 80. On aura donc dépensé 0 fr. 80

pour en gagner 2 fr. 56, d'où bénéfice de 1 fr. 76 par hectolitre d'eau de lavage.

Même avec un lavage donnant 0,8 Ball., il y aurait encore un bénéfice, la dépense étant de 0 fr. 85 contre un gain de 1 fr. 30.

A d'autres points de vue le lavage abondant des drèches est moins avantageux. D'abord plus on lave, et plus les drèches restent de temps à découvert, et à une température de plus en plus basse; or cette situation est tout à fait propice au développement de ferments lactiques, et par suite à l'augmentation du taux d'acidité du moût.

D'après Grimmer, les eaux de lavage contiennent beaucoup plus de dextrine et de matières azotées, tandis que la proportion de sucre dans l'extrait va en décroissant, à mesure que le lavage est plus complet. Ainsi pour les matières azotées Grimmer a trouvé, en pour cent de l'extrait :

Bouillon.....	5.3	p. 100
1er lavage.....	5.28	—
2e lavage.....	6.42	—

Or l'introduction de matières azotées en excès dans le moût ne semble pas une opération très bonne pour la conservation de la bière.

En tenant compte de ces diverses circonstances, on peut indiquer comme limite convenable environ 1,5 Balling, pour la fin du dernier lavage ; en général, deux lavages sont suffisants pour atteindre ce chiffre.

Dépense de combustible et de vapeur. — Nous citerons les chiffres suivants de Schwackhöfer, se rapportant à une expérience pratique bien déterminée :

On empâte 1000 kilos de malt avec assez d'eau à 7°,5 pour faire 41 hectos. On réchauffe avec 1,42 hectol. d'eau bouillante, dont 165 litres se sont évaporés, et l'on a dépensé pour chauffer cette eau 220 000 calories.

La cuve contient alors 54 hectos à 37°,5, on prend 16 hectos comme trempe épaisse, dont le chauffage coûte 180 000 calories, et qui ramenée en cuve donne une température de 50°. La deuxième trempe épaisse consomme de même 160 000 calories, et donne à la cuve une température de 62°,5. Enfin le chauffage des 18 hectos de trempe claire, revient à 148 000 calories.

La chaleur utilisée a donc été de 708 000 calories, et elle a été produite par la combustion de 470 kilos de houille, dégageant environ 5000 calories par kilogr., la dépense totale de chaleur a donc été de 2 350 000 calories, et le rendement en chaleur utilisée de 30 p. 100 environ, chiffre extrêmement bas.

De cet essai instructif, nous déduisons que pour 100 kilos de malt mis en œuvre, la dépense dans le procédé par décoction serait de 47 kilos de houille, dégageant 5000 calories par kilogramme.

Dans le chauffage à la vapeur, quelques essais ont été faits aux brasseries de Moabit et de Schœneberg à Berlin et par M. Goslich, à l'École de brasserie de Berlin.

A Moabit, on a trouvé que le service de la chaudière à trempes exigeait pour 3500 kilos de malt mis en œuvre, 3815 kilos de vapeur à une pression de $0^{kg},8$ en moyenne. Ce qui représente par 100 kilos de malt, 109 kilos de vapeur dépensée; répondant à environ 10 kilogrammes de charbon; il semble donc que le prix de revient soit beaucoup plus faible avec le système de cuisson à la vapeur qu'avec le chauffage des trempes à

feu direct. Mais il semble que les chiffres que nous venons de citer soient trop favorables à la cuisson par la vapeur ; en effet, on en déduit aisément que pour produire un kilo de vapeur à une pression de $0^{kg},84$, il faut brûler 89 grammes de charbon. Or, théoriquement, pour changer un kilo d'eau en un kilo de vapeur à la pression atmosphérique, il faut dépenser à peu près 620 calories : cette quantité de chaleur sera fournie par 100 grammes de charbon, si celui-ci dégage 6200 calories par kilogramme, et par 89 grammes si la chaleur de combustion du charbon atteint 7000 calories au kilo, et c'est là une limite que peu de charbons industriels peuvent atteindre pratiquement. Aussi le chiffre de 10 kilos de houille par 100 kilos de malt mis en œuvre, doit-il être notablement augmenté.

On peut admettre cependant que le chauffage à la vapeur réalise sur la cuisson à feu nu une économie de 50 à 60 p. 100.

Les chaudières chauffées à la vapeur ont encore l'avantage de ne jamais se brûler, et de plus on peut régler à volonté la marche de l'élévation de température.

Diverses méthodes de brassage. — 1° *Brasserie royale de Munich.* — Pour la bière d'hiver, on emploie par brassin 54 hectolitres de malt, avec 17 litres de malt couleur.

On fait une salade à froid pendant 50 minutes, puis un réchauffage, en 30 minutes, jusqu'à 36°. La cuve matière contient alors en tout 140 hectolitres et la chaudière garde 5 à 6 hectos d'eau. La première trempe de 64 hectos, est pompée aussi épaisse que possible, en poussant avec une pelle les portions les

plus épaisses. Elle arrive en chaudière à 34°, on la porte en 45 minutes à l'ébullition qu'on maintient ainsi 40 minutes, puis on ramène une partie de cette trempe en cuve matière de façon à y obtenir 52-53°, l'écoulement se fait en 10 minutes environ. On envoie de suite une deuxième trempe de 64 hectos, en tenant compte de ce qui est resté dans la chaudière, 20 à 22 hectos environ; on la monte en 20 minutes à l'ébullition et on maintient celle-ci pendant 40 minutes; son retour en cuve amène une élévation de température jusqu'à 65°; on a soin de ramener de la chaudière toutes les parties épaisses, et on y laisse seulement 5 à 6 hectolitres de liquide à peu près clair.

On envoie en chaudière 62 hectos, en se servant d'un tamis pour empêcher le passage des parties épaisses, on chauffe en 10 minutes à l'ébullition et on fait bouillir pendant 30 minutes; on ramène celle-ci en 25 minutes et l'on atteint dans la cuve 77°5, le volume du moût et de la drèche est de 134 hectos. On pompe dans la cuve à filtrer et on laisse saccharifier une demi-heure, puis reposer une demi-heure.

On obtient après mise en perce, 86 hectos de moût à 15° environ. Le lavage a lieu avec de l'eau à 80°, en deux fois, le dernier lavage donne à la fin 1°,5 Balling, et l'on a dans la chaudière 165 hectos à 11°,5 Balling.

2° *Méthode Dreher*. — Pour 100 kilos de malt, 250 litres d'eau pour la première trempe, et 280 litres pour les lavages.

I. La salade est faite à 35° pendant une demi-heure, puis la première trempe épaisse bout 15 minutes et ramène la température de la cuve à 47-50°.

II. Trempe épaisse, ébullition 15 minutes, réchauffe la cuve à 55-60°.

Trempe claire, ébullition 25-30 minutes, amène la température en cuve à 72-74°.

Repos 15 à 20 minutes.

III. On peut en élevant la température de la salade, ne faire qu'une trempe épaisse et une claire, par exemple, salade à 42°, ou bien salade à 30° et réchauffage à 42°. Ensuite une trempe épaisse pour réchauffer à 62°, et enfin une trempe claire qui amène la température de la cuve à 75°.

Ces diverses méthodes convenablement pratiquées donnent des rendements pratiques à peu près équivalents, et différents en moyenne de 6 à 7 p. 100 du rendement à l'analyse. Nous citerons, à titre de curiosité, un procédé de brassage décrit par Windisch (*Wochenschrift für Brauerei*, 1894, p. 545) et qui conduit comme rendement à des chiffres extraordinaires. La disposition de la cuve matière est, il est vrai, spéciale. Elle permet de faire passer en chaudière tout le malt et l'eau, et possède une double enveloppe, grâce à laquelle la température de la cuve peut être maintenue constante en y injectant de la vapeur.

IV. Le malt est empâté à l'hydrateur, de façon à faire une salade à 32° ; on laisse au repos une demi-heure, la température s'abaisse à 30°.

On fait passer tout le contenu de la cuve dans une chaudière cuisant à vapeur munie d'un vagueur, on chauffe en une heure à 53°, on monte ensuite en 15 minutes à 60°, et en 20 minutes à 63° ; on ramène en cuve matière et on abandonne pendant 30 minutes à 62-63° ; on envoie alors 2-3 du contenu de la cuve en

chaudière, on monte de 1° par 2 minutes jusqu'à 80° ; on fait bouillir une demi-heure et on ramène à la cuve, dont la température atteint 76°. Repos 50 minutes, le bouillon va en chaudière.

Le liquide est saccharifié, mais les drèches contiennent beaucoup d'amidon ; aussi après l'évacuation du bouillon, fait-on arriver par-dessous le faux fond de l'eau à 90°, jusqu'à ce que les drèches soient couvertes ; on vague de façon à bien mélanger la drèche, en continuant à faire arriver encore de l'eau chaude par le faux fond pendant 5 minutes environ ; ceci fait, on laisse couler de l'eau bouillante par-dessus jusqu'à ce que la drèche soit submergée ; on laisse reposer et on envoie en chaudière ; les lavages contiennent encore de l'amidon, mais celui-ci peut être saccharifié par le bouillon, puisque celui-ci n'a pas été chauffé au-dessus de 72-73°.

Le lavage titre à la fin 1°,3 Balling et on obtient, dit-on, un rendement de 72,9 p. 100, identique au chiffre donné à l'analyse.

M. Windisch explique ce rendement si élevé par plusieurs motifs qui paraissent plausibles : d'abord l'absence d'amidon dans le faux fond, ensuite la bonne disposition du vagueur à palettes courbes, qui se déplaçant dans une cuve ronde produit une excellente agitation, et mélangeant parfaitement les drèches, permet le déplacement presque complet du moût par les lavages, enfin la possibilité de maintenir longtemps constante la température de la cuve.

Travail du riz et du maïs. — Lorsque la quantité de ces céréales crues est peu considérable, au plus 1/8 de la quantité de malt, on peut les ajouter à la première

trempe épaisse par exemple, faire cuire celle-ci un peu plus longtemps, et continuer ensuite le brassage comme d'habitude. Ce procédé est le plus ordinairement employé, cependant il ne convient guère à ceux qui cherchent à faire des bières moelleuses, et espèrent trouver dans le riz un auxiliaire utile pour arriver à ce but. Nous savons en effet que les bières riches en maltodextrines sont général moelleuses, tandis que celles qui contiennent beaucoup de maltose libre et peu de combiné sont *sèches*, c'est-à-dire plus alcooliques. Or, si l'on introduit le riz ou le maïs à la première trempe épaisse, il n'est pas saccharifié complètement en chaudière, mais tout l'amidon est sûrement changé en empois, et saccharifié dans la cuve, vers 50°, c'est-à-dire à la température la plus favorable à la production de maltose libre.

L'inconvénient est du reste sensiblement le même, quoiqu'un peu moindre, lorsqu'on introduit le grain cru à la deuxième trempe épaisse, car sa saccharification a encore lieu vers 62°, température à laquelle il se forme peu de maltodextrines.

Le seul mode d'emploi qui donnerait beaucoup de maltodextrines, et par suite ordinairement du moelleux, serait l'introduction du maïs à la trempe claire.

Dans ce dernier cas, il conviendrait de mettre le riz dans la chaudière, lorsque la trempe claire serait déjà à 75-80°, de faire bouillir le tout, et de le ramener en cuve, rapidement jusqu'à 70°, puis lentement de 70 à 75°. Cette méthode est un peu dangereuse, pour peu que l'on traite un malt de qualité médiocre; un autre danger serait la prise en masse de l'empois d'amidon de riz, brusquement refroidi à son retour dans la cuve. Ce der-

nier danger n'est pas considérable, il n'existe même pas, si l'on opère sur une faible proportion de grains crus; il suffirait d'ailleurs, pour l'éviter, d'introduire le riz ou le maïs dans la trempe claire, dès l'arrivée de celle-ci en chaudière.

Lorsqu'on veut utiliser de plus grandes quantités de grains crus, et surtout rester maître absolu de la température de saccharification de l'amidon apporté par le riz ou le maïs, on doit faire cuire séparément les grains; il est préférable d'y ajouter 10 à 15 p. 100 de malt, pour favoriser la liquéfaction et obtenir un empois plus fluide; dans ce cas, il faut élever lentement la température et mettre environ une heure pour arriver à l'ébullition. On règle alors la composition du moût suivant le moment où l'on fait arriver cet empois dans la cuve matière, se rappelant que la proportion de maltodextrines est d'autant plus élevée que la température de saccharification est elle-même plus haute.

Nous citerons comme exemple, trois bières obtenues en saccharifiant le maïs à diverses températures (Wahl) :

N° 1. — Le contenu de la cuve étant à 56°, on le réchauffe à 75° en 30 minutes par l'empois de maïs cuit à part.

N° 2. — La salade est faite à 35°, la cuve réchauffée à l'eau bouillante à 60° en 30 minutes et maintenue une demi-heure à cette température, puis portée à 75° en 30 minutes par l'addition d'empois.

N° 3. — Salade à 50°, et monter à 75° en 45 minutes par l'empois de maïs.

Les trois bières présentent la composition suivante :

	nº 1	nº 2	nº 3
Extrait apparent..	6.96 p. 100	2.17 p. 100	4.70 p. 100
Alcool.....	3.2 —	5.01 —	3.80 —
Maltose.....	1.94 —	1.06 —	2 —
Atténuation	49 —	70 —	53 —

On voit donc que l'atténuation a pu varier de 21 p. 100 et l'alcool de 1,8 p. 100 suivant que l'on a saccharifié vers 60°, ou que l'on est monté rapidement à 75°.

On peut admettre que comme rendement 100 kilos de riz ou de maïs équivalent à 110-120 kilos de malt, mais ces rendements ne peuvent être obtenus que par la cuisson à part.

Maïs dextriné. — C'est un mélange de maïs malté avec une forte proportion de maïs pelliculé. Cette matière ne se saccharifie pas seule du reste, et la dissolution n'est jamais complète au-dessous de 75°. Il est donc nécessaire de l'employer comme grain cru, c'est-à-dire de le faire cuire à part avec 10-15 p. 100 de malt.

DRÈCHES

Les drèches contenues dans la cuve matière ou dans la cuve à filtrer constituent un résidu d'assez grande valeur dans certaines régions, lorsque les cultivateurs sont accoutumés à employer les drèches pour l'alimentation des animaux.

Ordinairement on enlève ces drèches à la main, toutefois dans quelques brasseries importantes on dispose dans la cuve à filtrer deux larges ouvertures fermées par des tampons, et au-dessous desquelles circule une toile sans fin. La filtration finie, on ouvre les tam-

pons, et on met en marche, soit la machine à piquer la drèche, soit un vagueur spécial qui fait tomber peu à peu toute la drèche sur la toile sans fin ; celle-ci l'amène directement à un wagon que l'on conduit au lieu de livraison ou que l'on décharge plus loin sur un tas de drèches.

Ce dispositif fonctionne à Tantonville par exemple.

Quantités de drèches. — On peut admettre que 100 kilos de malt laissent 125 kilos de drèches humides, contenant 78 à 80 p. 100 eau.

D'ailleurs la composition et même le poids des drèches varie avec l'épuisement du malt et avec sa qualité. Behrend (*Woch. für Brauerei*, 1891, p. 669) a comparé deux malts, l'un genre Pilsen, l'autre genre Munich; ces malts ont été brassés par décoction, avec les températures de 35°, 52°, 65°, 73°, pour les diverses trempes et l'on obtient en moyenne les résultats suivants :

	Malt foncé.	Malt clair.
Drèches humides par 100k malt	163kgr	155kgr
Extrait p. 100 de la drèche.....	19.6	20
Mat. sèche par 100k malt	32	31

Le malt pâle laisse donc un peu moins de drèches et un peu moins de matière sèche que le malt foncé.

Le *lavage* modifie beaucoup la composition :

		Malt foncé.	Malt clair.
Matières non azotées de l'extrait	lavage fort..	45.3 p. 100	43.1 p. 100
	lavage faible.	51.9 —	49.5 —
Cellulose.....	lavage fort..	20.06 p. 100	21.7 p. 100
	lavage faible.	16 —	18.7 —
Matières azotées....	lavage fort..	24.6 p. 100	25 p. 100
	lavage faible.	22.5 —	22.9 —

Un lavage abondant augmente donc non seulement

la quantité absolue d'extrait du moût, mais encore la proportion de matières azotées des drèches. Avec un faible lavage, on laisse par 100 kilos de malt environ 3 kilos de matières hydrocarbonées qui sont ainsi perdues pour le moût.

Comme nous avons vu déjà l'avantage pécuniaire que l'on trouve à laver beaucoup, il est doublement utile d'épuiser aussi complètement que possible la drèche, puisque ce traitement accroît également le taux d'azote de la drèche, c'est-à-dire sa valeur nutritive pour les animaux.

Étant donnée la grande quantité de matières azotées qui restent dans la drèche et la transformation assez aisée de ces substances en peptones par la cuisson sous pression, Schrohe a essayé ce traitement pour enrichir le moût en substances assimilables par la levure.

En partant d'une drèche contenant 77 p. 100 eau et 23 p. 100 matière sèche, dont 5,1 p. 100 matières azotées, on a obtenu par cuisson de quatre heures à 4 kilos de pression un liquide noir, ayant la composition suivante p. 100 de la matière sèche :

Sucre réducteur.....	25.9	p. 100
Dextrine.....	17.87	—
Matières azotées.....	28	—
Cendres.....	6.4	—

La coloration très forte de ce liquide empêchant son utilisation, on a commencé par laver abondamment les mêmes drèches à l'eau froide pour déplacer complètement le moût retenu par elles. Le traitement à l'autoclave a donné alors un liquide jaune pâle, contenant p. 100 de matière sèche :

Sucre réducteur	10.1	p. 100
Dextrine	26.7	—
Matières azotées	27.7	—
Cendres	6.1	—

Les substances azotées contenues dans ce liquide ne sont pas coagulables par la chaleur ni par le tannin du houblon ; en effet, par ébullition avec 1 p. 100 de houblon, le liquide contient encore 26 p. 100 de matières azotées dissoutes.

En ajoutant ce liquide provenant de la drèche au moût, on a pu constater des fermentations plus actives ; il est probable d'ailleurs que ces peptones doivent augmenter aussi la quantité de levure produite.

En dehors de cette utilisation éventuelle, l'unique emploi de la drèche est l'alimentation des animaux.

Emploi pour l'alimentation des animaux. — La drèche telle qu'elle peut être fournie par les brasseries au cultivateur, a la composition moyenne suivante (Dietrich et König) :

Eau	77.65	p. 100
Matières azotées	4.62	—
— grasses	1.53	—
— non azotées	10.28	—
Cellulose	4.77	—
Cendres	1.15	—

D'après Wolf (1), en éléments *digestibles* les drèches contiendraient en moyenne :

Matières azotées	9.7	p. 100
Hydrates de carbone	9.7	—
Matières grasses	1.3	—
Quotient de nutrition	1/3.6	—

(1) *Alimentation des animaux domestiques.*

Si l'on compare cette composition à celle du plus nutritif de tous les fourrages verts, la luzerne jeune, on obtient pour cette dernière aussi en éléments digestibles :

Matières azotées.....	3.5 p. 100
Hydrates de carbone.....	7.3 —
Matière grasse.....	0.3 —

et l'on en peut conclure que la drèche de brasserie fraîche est un aliment au moins équivalent à la luzerne fraîche.

Les drèches trouvent leur emploi tout indiqué pour les vaches laitières, mais on peut également les utiliser même pour les chevaux, les bêtes à l'engrais. Étant donné qu'elles contiennent beaucoup d'eau, on doit naturellement prendre dans leur emploi les mêmes précautions que pour le fourrage vert, les pulpes de betteraves, etc., c'est-à-dire qu'il faut les donner au bétail avec une proportion convenable de fourrage sec, paille ou foin.

On peut indiquer par exemple, comme constituant une ration convenable par 1000 kilos de poids vif pour les vaches laitières, les compositions suivantes :

(I)

Drèches de brasserie.....	20kgr
Betteraves fourragères.....	30kgr
Trèfle sec	12kgr
Paille avoine.....	6kgr
Germes de malt.....	2kgr
Tourteau de colza.....	1k5

(II)

Drèches de brasserie.....	40kgr
Foin moyen.....	10kgr
Paille avoine	10kgr
Tourteau coton.....	2kgr

Ces rations correspondent aux quantités de matières digestibles nécessaires à la vache laitière.

Dans quelques régions, l'on s'est plaint des mauvais effets des drèches de brasserie : les uns disant que ces substances formaient un lait trop aqueux, moins riche en crème, d'autres, que les drèches rendaient les vaches malades. Le premier de ces griefs est tout à fait dénué de fondement et il n'y faut voir que des récriminations de routiniers ou les allégations de la concurrence ; quant au second reproche, il pourrait présenter quelque vraisemblance si les drèches n'étaient pas consommées immédiatement. Ces substances sont, en effet, fort altérables et constituent pour le développement des ferments pathogènes ou autres, un milieu des plus favorables.

Les drèches ne doivent donc être livrées qu'au sortir de la cuve ; d'ailleurs, pour éviter encore mieux tout danger, il est à conseiller d'ajouter à la drèche un peu de sel. Comme l'a montré M. Arloing, le sel annule à peu près complètement l'action nocive des ferments qui pourraient se trouver dans le résidu.

En tenant compte de ces précautions, le cultivateur trouve dans la drèche, à bas prix, un aliment précieux, soit pour la production du lait, soit pour l'engraissement. En admettant pour un kilogramme de matière digestible, les valeurs moyennes suivantes :

Matières azotées.....	$0^{fr},41$
Hydrates de carbone....	$0^{fr},13$
Graisse..... ...	$0^{fr},28$

on trouve que 100 kilos de drèches fraîches, représentent au point de vue nutritif une valeur argent de $3^{fr},10$, prix qui n'est jamais atteint en pratique.

Drèches séchées. — La facilité avec laquelle la drèche s'altère complique beaucoup son écoulement. Aussi a-t-on cherché à dessécher ces résidus, de façon à pouvoir les emmagasiner et les livrer à un moment quelconque ; on n'est plus exposé ainsi à refuser de la drèche à certains moments, à la jeter, à d'autres époques, notamment quand les fourrages verts sont abondants.

Un grand nombre d'appareils ont été construits pour la dessiccation économique des drèches. En général, on se contente d'introduire la matière telle qu'elle est dans des cylindres animés d'un mouvement lent de rotation et chauffés soit à feu nu, soit mieux à la vapeur ; en effet, lorsque la drèche est chauffée à feu nu, il y a toujours à craindre des coups de feu qui brûlent la matière et diminuent fortement sa digestibilité. Ainsi Schulze a trouvé que la digestibilité qui est de 84 p. 100 pour la drèche séchée dans le vide à basse température baisse jusqu'à 59 p. 100 lorsqu'il y a eu des portions brûlées.

La composition des drèches desséchées est en moyenne la suivante :

Matières azotées.....	21.3 p. 100
— grasses.....	6.4 —
Hydrates de carbone.....	35.9 —
Cendres.....	14.6 —
Cellulose.....	9 —
Eau.....	12 —

Quelquefois, avant de dessécher, on presse la drèche pour enlever la majeure partie de l'eau. Mais ce traitement conduit à une perte assez importante. Stützer a constaté que pour 100 kilos de drèches ramenées à 10 p. 100 eau, on a perdu :

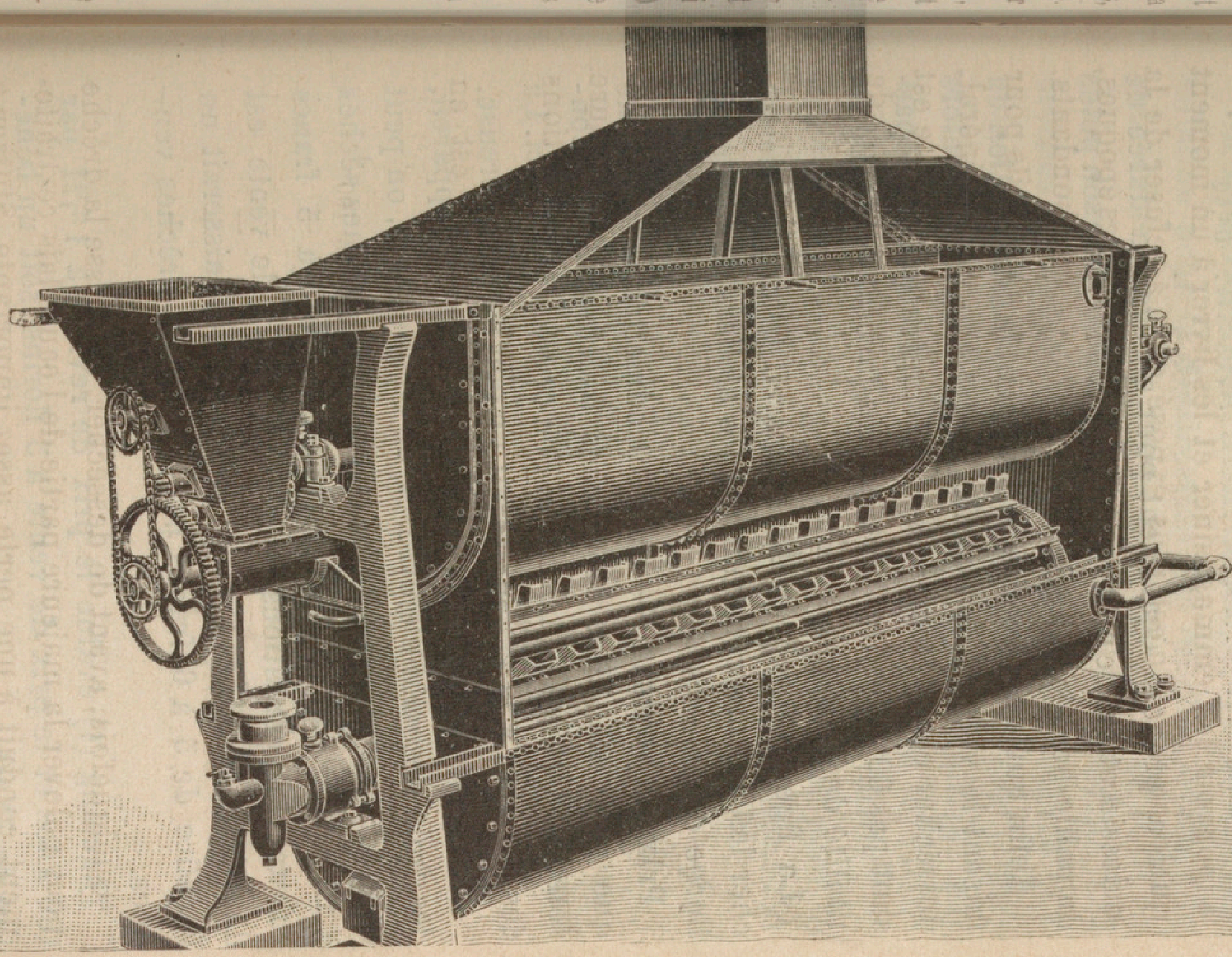


Fig. 58. — Appareil Otto à dessécher les drèches (Ateliers de Bleuse-Borne à Anzin).

Matières azotées.....	$1^k,45$
Hydrates de carbone.....	5^k
Acide phosphorique.....	$0^k,33$
Chaux.....	$0^k,42$

On a proposé également pour abréger la durée de la dessiccation, de mélanger à la drèche, 1/8 de son poids de paille hachée (Kirschberg).

Enfin quelques appareils effectuent la dessiccation en faisant le vide au-dessus de la drèche ; on peut alors dessécher complètement à une température ne dépassant pas 60° ; c'est un procédé très favorable à la digestibilité de la drèche séchée.

La figure 58 représente l'appareil Otto pour dessécher les drèches construit par les ateliers de la Bleuse-Borne d'Anzin.

Prix de revient. — On peut admettre en moyenne que pour 100 kilos de drèches fraîches, il faut consommer 14 kilos de houille si l'on opère à feu direct. La dessiccation à la vapeur serait un peu moins onéreuse.

En tenant compte de l'amortissement de l'appareil, des frais de main-d'œuvre et de combustible, on peut compter que pour produire 100 kilos de drèches sèches à 12 p. 100 eau, il faut dépenser entre 4 à 5 francs suivant les conditions locales ; le prix de vente est d'environ 10 francs les 100 kilos, ce qui laisserait un bénéfice de 5 à 6 francs par quintal de drèches vendues.

Thausing (1) évalue le prix de revient à $1^{fl},21$ par 100 kilos et le prix de vente à 5 florins, soit un bénéfice de $7^{fr},60$.

(1) *Theorie und Praxis der Malzbereitung und Bierfabrication.*

Goslich (*Woch. für Brauerei*, 1892, p. 747) arrive de son côté à un gain de 5 francs par quintal.

On doit évidemment avant de songer à faire une installation pour la dessiccation des drèches, évaluer le prix de revient d'après le coût du charbon et de la main-d'œuvre et aussi le prix de vente possible. Les drèches desséchées étant peu connues en France, il y aurait sans doute quelque difficulté à atteindre immédiatement le prix de vente de 10 francs indiqué par Thausing. Cependant il représente à peine la valeur réelle de la drèche séchée au point de vue nutritif; en calculant comme nous l'avons fait plus haut pour la drèche fraîche, on arrive à une valeur de 11 francs 50 par quintal.

CHAPITRE VII

CUISSON ET HOUBLONNAGE

La cuisson et le houblonnage s'effectuent dans la chaudière à cuire, qui n'a pas besoin d'être munie d'un vagueur, puisque l'on n'introduit d'habitude le houblon, que lorsque l'ébullition a commencé et qu'il n'y a plus d'adhérence de particules solides à craindre.

Chaudière. — La forme que l'on donne actuellement aux chaudières, est à parois sphériques, avec un fond bombé fortement vers le centre, l'orifice d'écoulement étant naturellement placé sur le côté. Les chaudières sont larges et peu profondes, tandis qu'autrefois on préférait les formes hautes. Celles-ci ont l'inconvénient de permettre au moût de se brûler plus aisément; en effet le fond de la chaudière étant beaucoup plus près du foyer, les parois se surchauffent, et comme par suite de l'évaporation, il y a un grimpement du moût le long des parois, le liquide s'évapore rapidement et laisse au contact du métal très chaud, une couche sirupeuse qui se caramélise. Avec les anciennes chaudières, il est beaucoup plus malaisé d'obtenir les bières pâles, qui sont à la mode depuis quelques années.

Les chaudières sont généralement munies d'un couvercle, et une cheminée d'appel, pour favoriser l'évaporation ; dans beaucoup d'anciennes brasseries on ren-

contre encore la chaudière ouverte. Son inconvénient est de laisser perdre l'arome du houblon, qui se sent à une grande distance autour de la brasserie. Avec la chaudière fermée et la cheminée, il y a en quelque

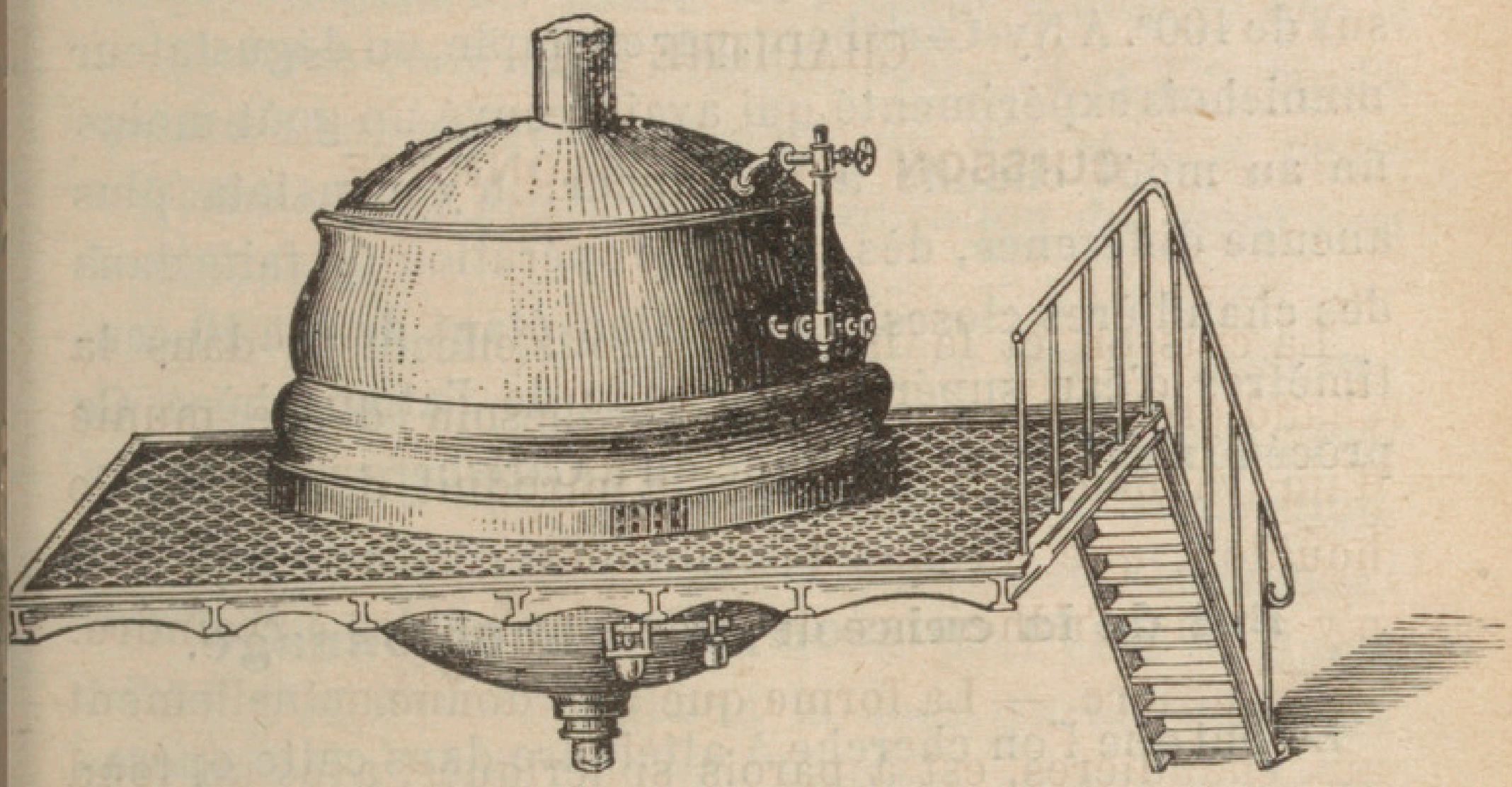


Fig. 59. — Chaudière à cuire à vapeur (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques à Lunéville).

sorte condensation des principes odorants, qui retombent dans la chaudière, et l'on peut arriver ainsi, avec une dose moindre de houblon, à conserver mieux l'arome de celui-ci (fig. 59).

Les chaudières à cuire sont ou bien à feu nu ou à vapeur. Cette dernière disposition est certainement la plus commode et la plus économique. On lui reproche quelquefois de ne pas donner au moût un goût aussi agréable que la cuisson à feu nu et cette objection est soutenue surtout par les brasseurs de Munich qui ont conservé l'emploi du feu direct. Il semble que ce soit là une hypothèse tout à fait gratuite, au moins avec les nouvelles formes de chaudières, puisque ce goût

spécial dû évidemment à une faible caramélisation, ne peut plus se produire, dès lors qu'il n'y a plus de surchauffe des parois. On peut d'ailleurs, paraît-il, obtenir par la cuisson à la vapeur, le même arome que par feu nu, en élevant très peu la température du moût au-dessus de 100°. A Ny-Carlsberg, par exemple, un dégustateur munichois expérimenté qui avait trouvé un goût moins fin au moût chauffé à la vapeur, n'y constata plus aucune différence, dès que cette opération fut faite dans des chaudières closes, la pression étant de 8 à 10 centimètres d'eau supérieure à celle de l'atmosphère. Ce procédé n'est guère appliqué qu'à Carlsberg.

But de la cuisson et du houblonnage.

Le but que l'on cherche à atteindre dans cette opération est complexe, on cherche à produire :

1° la concentration du moût ;
2° la stérilisation du moût ;
3° la coagulation des matières azotées ;
4° la clarification et coloration du moût ;
5° la dissolution de certains principes du houblon.

Concentration du moût. — Si le bouillon est en général à un degré d'extrait plus élevé que le moût final, les lavages introduisent une grande quantité d'eau, dont la plus grande partie doit être évaporée. La cuisson doit être, en somme, d'autant plus longue que les lavages ont été plus abondants et que le degré final du moût est plus élevé. Lorsqu'on termine le lavage avec un extrait de 1 p. 100 par exemple, et que l'on veut faire du moût à 14° Ball., le bouillon ayant seulement 15°, il faut s'attendre à une forte évaporation et par

suite à une longue cuisson. Cependant on peut compter comme durée normale trois heures d'ébullition à partir du moment où toutes les trempes sont réunies, et commencent à bouillir dans la chaudière.

Stérilisation du moût. — Pasteur a montré que le moût houblonné était stérilisé entre 71 et 77°, tandis qu'une température prolongée de 90° était à peine suffisante pour produire la stérilisation du moût non houblonné.

Le moût sortant de la cuve matière vers 67° renferme un très grand nombre de bactéries, tandis que le moût houblonné extrait de la chaudière soit après trente minutes, soit après deux heures et demie est absolument stérile. La destruction des germes peut être obtenue, même sans houblon, quand la dose d'acide du moût atteint 0,1 p. 100 en acide lactique et cela après un temps ne dépassant pas quinze à vingt minutes. Morris a d'ailleurs vérifié que cette même dose d'acide lactique était suffisante pour amener en quelques minutes la stérilisation complète du moût ou même de l'infusion de foin encore plus facile à injecter.

Les bactéries qui se trouvent dans le moût proviennent de l'air, de l'eau ou du malt, ces dernières étant plus résistantes puisqu'elles ont été déjà soumises au touraillage. Une autre cause non négligeable est l'infection par la cuve matière, les tuyaux ou les pompes.

Comme les moûts renferment au moins 0,1 p. 100 d'acide lactique, la stérilisation est toujours effectuée en quelques minutes, même sans houblon, et c'est à tort que l'on conseille de prolonger longtemps la cuisson, pour amener une stérilisation plus parfaite.

Coagulation des matières azotées. — Elle porte en majeure partie sur les matières dissoutes à froid aux températures voisines de 45°; cette coagulation se produit soit par la chaleur seule, soit par le tannin du houblon, et elle est accompagnée d'une redissolution plus ou moins importante de l'albumine précipitée, par le moût bouillant; il en résulte que la quantité de matière azotée précipitée variera avec la composition de l'eau employée au brassage, puisque quelques-uns des sels contenus dans l'eau, peuvent dissoudre de notables quantités de ces matières coagulées, tandis que d'autres n'ont sur elles qu'une action très faible. Matthews a comparé les quantités de matières azotés coagulées par la chaleur seule, dans l'infusion de 100 grammes de malt, faite à froid ou à 71°, dans des eaux ayant différentes compositions :

	ALBUMINOIDES COAGULÉES.	
	Infusion froide.	Infusion à 71°.
Eau distillée.....	1gr.061	0,566
Gypse 57 grammes par hecto.....	1gr,713	0.393
Gypse solution saturée.....	1gr,719	0,484
Sulfate de magnésie, 28gr,5 par hecto...	1gr,906	0,506
Chlorure de sodium, 28gr,5 par hecto...	1gr,723	0,970
Carbonate de soude, 14gr,3 par hecto...	1gr,505	0,580
Chlorure de calcium, 128gr,5 par hecto..	1gr.119	0,755

On voit que le sel est la matière qui provoque la coagulation la plus importante de beaucoup dans les infusions faites à chaud, ce qui est le cas dans le procédé de brassage par infusion. Quand le malt est mis d'abord en contact avec l'eau froide (*Salade*) ce sont les eaux sulfatées, et pratiquement les eaux gypseuses et chlorurées qui amènent la précipitation de la majeure partie des matières azotées, et qui doivent être par conséquent préférées aux eaux moins riches en sels.

Les substances précipitées pendant la cuisson, ne sont d'ailleurs pas uniquement des matières azotées pures ; elles retiennent de 6 à 9 p. 100 de cendres, exception faite de celles qui répondent à une eau contenant du carbonate de soude et pour lesquelles la proportion de cendres atteint 15 et 20 p. 100 ; mais tandis que les cendres des substances précipitées d'une infusion faite à froid, contiennent très peu d'acide phosphorique, celles qui proviennent d'une infusion à 71°, sont composées presque exclusivement de phosphates de chaux et de magnésie.

Le moût bouillant, même fait avec de l'eau distillée, redissout toujours une certaine quantité des matières azotées précipitées, qu'il abandonne d'ailleurs par refroidissement, mais la redissolution n'est importante que pour les eaux contenant du carbonate de soude.

Ainsi pour un même malt, l'eau distillée redissout 0,010 albumine par 100 centimètres cubes, tandis que l'eau additionnée de carbonate de soude, en prend 0,167, c'est-à-dire 16 fois plus. Les eaux gypseuses se comportent à ce point de vue à peu près comme l'eau distillée.

La chaleur seule précipite une assez grande quantité de matières azotées, et l'on a cru longtemps que le houblon n'augmentait pas sensiblement la proportion de ces substances coagulées. Si en effet on dose les matières azotées, d'abord dans le moût bouilli seul, puis dans ce moût houblonné, on trouve sensiblement les mêmes chiffres.

Ainsi Briant et Meachant ont trouvé :

Durée d'ébullition.			Matières azotées de l'extrait.
30 minutes	sans	houblon.....	5.80
20 —	avec	houblon.....	5.77
48 —	houblonné	.....	5.81
60 —	—	.....	5.81
80 —	—	.....	5.77

Ce n'est là qu'une apparence ; en effet le houblon apporte des matières azotées non coagulables qui remplacent celles que son tannin précipite, et il se produit une sorte de compensation.

Mais les substances apportées par le houblon, sont assimilables par la levure, tandis que les albuminoïdes précipitées ne le sont pas.

Si l'on tient compte des principes apportés par le houblon, on constate que la quantité d'azote précipité, est beaucoup augmentée par le houblonnage, et qu'elle croit avec la dose de houblon :

Ainsi :

	Mat. azotées précipitées.
Moût cuit 2 heures seul.....	5.3 p. 100
Moût cuit avec 300 gr. houblon par hecto.....	9.8 p. 100

De même, d'après Hayduck :

	Mat. azotées précipitées.
200 gr. houblon par hecto.....	6 p. 100
400 —	7.5 —
600 —	9 —

Au point de vue de la richesse en azote, la manière dont se fait l'addition de houblon paraît peu importante. En comparant cette richesse dans trois essais : A, moût bouilli avec tout le houblon, B_1, avec le houblon ajouté peu à peu et B_2, avec le houblon ajouté en une seule fois, on trouve :

	Mat. azotées du moût.
A, au début de la cuisson.....	5 8 p. 100
B_1 — —	5.71
B_2 — —	5.93

	Matières azotées de l'extrait du moût.
A, vidange de la chaudière.....	5.73
B_1 — —	5.73
B_2 — —	5.89

Clarification et coloration du moût. — La coagulation des matières azotées forme des flocons plus ou moins épais et assez denses, qui en se déposant entraînent les matières en suspension dans le moût en provoquant une sorte de collage. Si l'on examine dans un verre, un peu de moût bouillant, on verra donc les flocons gagner peu à peu le fond, et laisser au-dessus d'eux du moût parfaitement limpide. Cette apparence se nomme la *cassure* du moût et l'on attache ordinairement une grande importance à cette séparation nette, et surtout à la parfaite limpidité du liquide surnageant.

La cassure varie avec la nature du malt et avec celle de l'eau en particulier, les eaux à réaction alcaline donnent une cassure très mauvaise, les flocons étant très petits et le dépôt se faisant très lentement. Les mêmes circonstances influent sur le temps de cuisson nécessaire pour produire la cassure. Quelquefois celle-ci se produit après quelques minutes d'ébullition, même sans houblon, tandis que dans d'autres cas, elle n'est jamais parfaite, même après trois heures de cuisson avec le houblon.

En général les malts dont la dissolution est défectueuse, ne donnent qu'une cassure médiocre, et le même

phénomène se produit souvent pour les malts frais ou au commencement de la campagne, avec les malts nouveaux.

La coloration du moût dans la chaudière est la conséquence d'abord de la concentration, ensuite d'une caramélisation plus ou moins forte contre les parois; nous avons vu également que la présence d'une forte proportion de matière organique, dans l'eau du brassage, accroissait la coloration, il en est de même des alcalis et du carbonate de soude. C'est à ce point de vue que l'on ajoutait autrefois de la chaux dans la chaudière pour produire la bière ambrée ou brune; c'est là, bien entendu, un procédé peu recommandable.

Le tannin du houblon agit au contraire pour diminuer la coloration, en précipitant des substances qui se bruniraient pendant l'ébullition si elles restaient en solution.

Dissolution des principes du houblon. — Le houblon peut céder au moût du tannin, des matières azotées et des résines; le tannin donne, comme nous l'avons dit avec les matières azotées, une combinaison, insoluble à chaud pour le *phlobaphène*, soluble à chaud et insoluble à froid pour le tannin proprement dit. D'ailleurs le tannin n'est jamais complètement utilisé, puisqu'on en rencontre encore des quantités notables dans les kraüsen écumés qui se produisent à la fermentation, et même dans les bières. Il en résulte que l'addition au moût de tannin ou de produits analogues au moût paraît tout à fait inutile.

Les matières azotées cédées par le houblon, remplacent sensiblement celles que le tannin a précipitées; mais ce sont des substances non coagulables et que la

levure peut assimiler. Hayduck a remarqué en effet que la proportion de matières azotées absorbées par une même levure, croissait avec la dose de houblon.

Houblon par hecto.....	200gr	400gr	600gr
Azote assimilé par la levure rapporté à l'azote total du moût.	26.5 p. 100	30 p. 100	35 p. 100

L'épuisement du houblon en tannin et en matières azotées est d'autant plus parfait que l'ébullition est plus longue.

Des résines du houblon, deux désignées par l'indice α et β, ont une saveur amère, et sont très peu solubles à froid ; leurs solutions se troublent fortement par refroidissement ; tandis que la résine γ qui est dénuée de goût, est plus soluble à froid. Il en résulte que la durée d'ébullition sera toujours assez longue pour extraire une quantité suffisante de ces résines, puisque la quantité qui peut rester dissoute est très faible et que l'excès se déposera par refroidissement.

Le houblon possède un certain pouvoir antiseptique qui paraît devoir être attribué aux résines ; mais cette action est faible ; elle diminue rapidement par la conservation du houblon, qui perd ainsi beaucoup de tannin, pendant que ses résines s'oxydent et se transforment en produits presque sans valeur antiseptique.

Durée de cuisson. — Beaucoup de brasseurs admettent que la durée d'ébullition a une grande influence sur la conservation de la bière, plus le moût a cuit longtemps, dit-on, plus il est débarrassé de matières azotées et par conséquent moins la bière s'infectera aisément ; c'est ainsi que l'on donne souvent des durées d'ébullition de sept et même dix heures.

Il ne semble pas que cette influence de la cuisson existe. Lorsqu'on augmente le temps d'ébullition, il se produit bien une précipitation plus abondante de matières azotées, mais l'écart est très faible et l'on peut considérer deux heures et demie à trois heures comme une durée parfaitement suffisante. Tout au plus, pourra-t-on aller jusqu'à quatre heures, quand il s'agira de malt très riche en azote, mais c'est là un maximum et la petite quantité d'azote coagulé en plus par une cuisson plus prolongée, reviendrait à un prix hors de proportion avec l'avantage que l'on retirerait de son élimination.

On est d'ailleurs conduit à faire cuire très longtemps, quand le bouillon est peu concentré, et les lavages abondants, mais sans profit sensible.

Addition des houblons. — Les méthodes sont ici très variées ; les uns ajoutent tout le houblon en une fois dès que le fond de la chaudière où l'on pompe le bouillon est complètement couvert, d'autres par l'addition en deux ou trois fois.

Plus le houblon est soumis longtemps à la cuisson et plus son arome s'évapore ; comme d'autre part, une partie des matières azotées se coagule par la chaleur seule, il paraît rationnel de n'ajouter le houblon qu'après, par exemple, une heure d'ébullition, lorsque les matières azotées restées dans le moût ne sont plus précipitables par la chaleur seule.

On peut donc considérer comme un bon procédé l'addition de houblon en deux fois : 2/3, après une heure d'ébullition, et 1/3 peu de temps, vingt à trente minutes, avant de vider la chaudière. Cette dernière portion a pu céder au moût tout son parfum.

Dans le brassage par infusion, il est préférable de mettre un peu de houblon dans la chaudière dès que la première trempe y arrive, parce que cette trempe est destinée à rester assez longtemps à une température inférieure à 70-75°; d'une part la diastase du houblon peut encore exercer son action sur l'amidon amené par les trempes de lavage, et d'un autre côté son pouvoir antiseptique préserve de l'altération le moût non stérilisé dans la chaudière.

En Angleterre notamment, on réserve une partie du houblon pour le mettre dans le panier à houblon et faire filtrer le moût bouillant sur lui. Ce procédé donne sans doute au moût un très fin parfum, mais le houblon n'est nullement épuisé et ce procédé n'est économique que si l'on fait plusieurs brassins par jour, et que l'on puisse utiliser pour un autre brassin, à la première addition, ce houblon frais sur lequel le moût a simplement filtré.

Doses de houblon. — Elle varie avec l'espèce de bière, cependant elle a beaucoup diminué en général. Pour la bière de Munich, à 12,5-14,5 p. 100 d'extrait, on compte de 220 à 320 grammes par hecto, suivant qu'il s'agit de bière de consommation ou de bière de garde.

Pour la bière de Vienne, on donne une quantité variable avec la concentration du moût, de 220 grammes pour le moût à 10-11° Ball., jusqu'à 450 grammes pour le moût à 15° Ball. Les doses sont à peu près les mêmes pour la bière de Bohême (Pilsen), quoiqu'un peu plus fortes, puisque l'on compte 350 grammes de houblon, pour un hecto à 10-11° Ball, et 500 grammes pour le moût à 13°,5.

On peut considérer 300 grammes de bon houblon

frais comme une dose convenable, pour un hecto de moût.

Lorsqu'on emploie du houblon de qualité médiocre, il est bon de ne pas le faire cuire trop longtemps, à cause du goût âcre qu'il communique à la bière, sans aucun avantage pour contre-balancer cet inconvénient.

Le houblon s'altérant beaucoup pendant sa conservation, et perdant une forte proportion de résine et de tannin, on doit augmenter la dose de houblon quand on emploie des surannés, il est bon aussi de prendre la même précaution pour les bières fabriquées à la fin de l'été, et qui se conservent souvent moins bien, à cause de l'affaiblissement du houblon.

Houblons épuisés. — Le houblon laissé dans le panier à houblon, retient beaucoup de moût — Marneffe a trouvé pour sa composition :

Eau.....	82.7 p. 100
Matières azotées...	5.44
Matières sucrées.....	7.21
Cellulose.....	2.25

On peut récupérer la majeure partie de ce moût en pressant le houblon ; on peut compter que chaque kilog de houblon rend par pression au minimum 1l,5 de moût qui peut être ajouté sans inconvénient au moût déjà coulé sur les bacs, puisque la pression peut être faite immédiatement. On peut employer à cet usage une presse quelconque, même très rudimentaire.

CHAPITRE VIII

REFROIDISSEMENT. — OXYGÉNATION

Le moût sortant *bouillant* de la chaudière peut être considéré comme stérile, au moins en général, il est limpide, d'une couleur pâle, il tient en suspension du houblon, des matières azotées coagulées et des débris de drèches très fins qui ont échappé à la filtration dans la cuve matière ou dans le cuve à filtrer.

Oxygénation. — Pour être mis en fermentation, il faut que ce moût soit débarrassé des matières en suspension, refroidi, et aéré de façon à dissoudre la plus grande quantité d'oxygène possible, puisque la présence de ce gaz est indispensable à la levure comme l'a montré depuis longtemps Pasteur.

Oxydation. — Une autre transformation est encore nécessaire, quoiqu'elle ait été pratiquée depuis longtemps. Lacambre puis Pasteur, et surtout ce dernier, en ont donné l'explication, c'est une *oxydation* du moût.

Si l'on enferme le moût bouillant dans un flacon hermétiquement fermé et qu'on l'abandonne à lui-même ou qu'on le refroidisse rapidement, on le voit perdre sa limpidité, il devient louche, et contient en suspension des matières qui ne se déposent qu'avec une extrême lenteur.

Si, au contraire, dans le moût bouillant, on fait passer un courant d'air pas trop prolongé, il se forme un précipité dense qui se dépose rapidement, le moût reste limpide, sa couleur se fonce, et il contient le bouquet du houblon.

Si l'on continue à injecter de l'air dans le moût maintenu bouillant, il se colore de plus en plus, le dépôt se fait bien, mais le moût limpide ne sent plus aucune odeur de houblon, à peine est-il resté un peu amer. Il y a donc là une véritable oxydation de matières contenues dans le moût et provenant soit du malt, soit du houblon.

Ces considérations nous montrent qu'entre la chaudière et la cuve à fermentation, le moût doit subir une oxydation, un refroidissement et une oxygénation, cette dernière ayant pour but la dissolution d'oxygène nécessaire à la levure.

Il est impossible de réunir les deux transformations extrêmes, oxydation et dissolution d'oxygène. Pasteur a montré, en effet, que l'aération à chaud ne laissait que des traces d'oxygène dissous, mais que le dépôt résultant de l'oxydation ne se faisait bien qu'avec le moût presque bouillant. Inversement si on laisse le moût refroidir et en vase clos, et qu'on lui injecte ensuite de l'air, le dépôt ne se fait plus et le moût reste trouble quoiqu'il dissolve alors de l'oxygène. Pasteur exprime cette différence d'action en disant qu'à chaud l'oxygène agit chimiquement, et à froid d'une façon purement physique, en se dissolvant simplement dans le moût.

Ces opérations sont singulièrement compliquées par la nécessité d'éviter l'introduction dans le moût de ferments nuisibles, bactéries ou levures. Il sort bien stérile de la chaudière, mais à mesure qu'il se refroidit, il

peut recevoir des germes flottants dans l'atmosphère, ou laissés dans les tuyaux, sur les parois du refrigérant, etc. A partir du moment où la température du moût s'est abaissée à 50°, il peut s'infecter ; de là la nécessité de compliquer beaucoup le matériel et de prendre de grandes précautions.

Nous allons indiquer d'abord la disposition des bacs et des réfrigérants le plus communément en usage, et nous examinerons ensuite s'ils répondent à toutes les exigences.

Bacs. — Ils se composent de feuilles de tôle boulonnée, formant des récipients peu profonds, dans lesquels le moût s'étale en couche de 8 à 10 centimètres environ. Ces bacs doivent présenter un fond absolument dépourvu de fissures et les lignes de jointure des tôles sont à cet effet garnies de soudure d'étain ou de mastic non fusible. Cette précaution est indispensable au point de vue des bactéries, toute fissure pouvant constituer un foyer d'infection.

Le moût sortant de la chaudière passe à travers une sorte de tamis dont les mailles retiennent les cônes de houblon, puis il est déversé sur les bacs.

Il est essentiel qu'il s'y trouve en couche mince, en effet le bac contribue au refroidissement, et il est aisé de comprendre que celui-ci est d'autant plus rapide que la surface d'évaporation est plus grande et l'épaisseur du liquide moins grande.

Les bacs sont situés en général au-dessus de la brasserie, dans un local muni de nombreuses ouvertures que l'on garnit de persiennes de façon à pouvoir régler le courant d'air et briser la vitesse du vent qui pourrait apporter des germes étrangers.

Le moût séjourne sur le bac pendant un temps très variable, suivant la saison et suivant les brasseries. En hiver cependant, on le laisse en général une nuit entière et il peut alors se refroidir jusqu'à 8 ou 10°.

En été on abrège, en général, le temps de passage sur bacs, les uns ne laissant que quatre heures, les autres deux heures, d'autres enfin moins encore.

Lorsque le séjour du bac paraît suffisant, on ouvre une vanne munie d'une bague, et permettant au moût de s'écouler sans entraîner le dépôt provenant de l'oxydation du houblon et des drèches entraînées. Une fois l'écoulement terminé, on ferme la vanne, on ouvre une deuxième vanne dont l'orifice affleure le fond du bac, et à l'aide de balai les ouvriers poussent le dépôt et le moût restant vers cette ouverture, la matière qui s'écoule est reçue dans des sacs dits sacs à trouble qui se comportent comme des filtres et laissent passer seulement le moût. Celui-ci est ensuite réuni à la portion principale.

L'usage des sacs à trouble est un mal nécessaire, puisqu'on ne saurait perdre tout le moût retenu sur le bac, environ 3 p. 100 du brassin; mais il ne faut pas se dissimuler qu'il peut être la cause de graves accidents. Le moût qui coule à travers le sac à trouble est à une température peu élevée, même quand le séjour sur le bac a été court, et il peut aisément s'infecter, ce qui ne manque pas d'arriver quand le sac à trouble n'est pas rigoureusement stérilisé après chaque filtration; il ne s'agit pas pour cela d'un simple lavage, même à l'eau chaude, mais d'un traitement à la vapeur après lavage ou d'une trempe dans l'eau chaude additionnée de soude ou de chlorure de chaux: 3 à 4 kilogrammes

par hectolitre d'eau, les nettoyages énergiques ont, il est vrai, pour résultat d'endommager rapidement les sacs, mais c'est une considération secondaire en face des conséquences graves d'une infection. Si, en effet, le sac n'est pas stérilisé, le moût retenu par le tissu s'altère avec une extrême vitesse, surtout en été, puisqu'il présente une grande surface, avec accès d'air, et le moût que l'on fait passer sur ce sac au brassin suivant, entraîne nécessairement les bactéries développées, et comme on réunit le moût du sac à trouble au reste du brassin, celui-ci tout entier peut être infecté.

On doit donc apporter les plus grandes précautions dans le nettoyage du sac à trouble, et ne pas craindre d'en sacrifier quelques-uns pour éviter tout danger.

Le bac une fois débarrassé du dépôt et lavé immédiatement est brossé pour le débarrasser du dépôt adhérent aux parois ; on peut employer pour ces nettoyages, au lieu d'eau pure, une solution à 1/10-1/15 de bisulfite ou de chlorure de zinc ; cependant ce dernier ne convient pas pour les bacs galvanisés.

Réfrigérant. — Il en existe un grand nombre de modèles ; l'un des plus employés est le Baudelot, dont le nom est employé souvent comme synonyme du réfrigérant. Ces appareils se composent de deux feuilles de cuivre ondulées, ou d'une série de tuyaux de cuivre. Entre les feuilles ou dans les tuyaux, on fait circuler soit de l'eau froide, soit de l'eau glacée, soit même du liquide incongelable qui sert au refroidissement des laves. Souvent ces réfrigérants sont à *deux eaux*, c'est-à-dire que dans la moitié supérieure on fait circuler

de l'eau fraîche et dans la moitié inférieure passe de l'eau glacée.

A la partie supérieure de l'appareil se trouve une rigole dont le fond est fendu, et dans laquelle arrive le moût sortant du bac; il s'écoule par les fentes du fond, et cascade en lame mince sur les deux surfaces

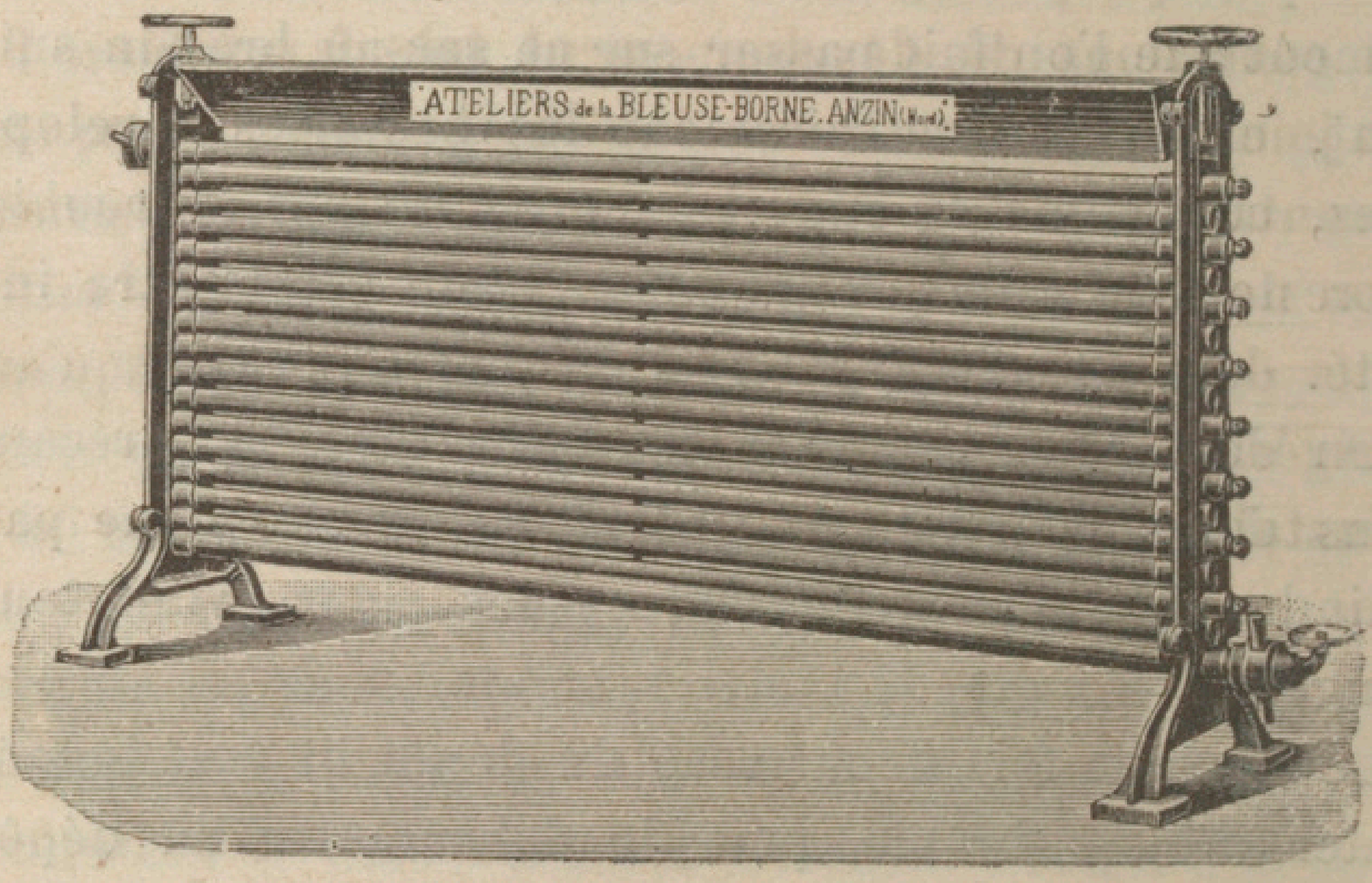


Fig. 60. — Réfrigérant (Ateliers de la Bleuse-Borne d'Anzin).

du réfrigérant. A la partie inférieure existe une cuvette qui recueille le moût, et d'où part un tuyau conduisant à la cuve guilloire. Quelquefois le réfrigérant se trouve posé sur un socle de maçonnerie au-dessus de la cuve guilloire.

On conçoit aisément qu'en coulant ainsi en nappes minces sur des surfaces refroidies, le moût puisse être rapidement ramené à 5° pour la fermentation basse et à 12° pour la haute; en même temps il s'oxygène fortement en dissolvant de l'air, auquel il présente une grande surface de contact. La figure 60 représente le réfrigérant construit par les ateliers de la Bleuse-Borne, d'Anzin.

Dangers d'infection. — Quand le moût sort du bac à 60° au moins, il ne peut guère être attaqué par les ferments, puisque ceux-ci périssent encore à cette température, mais, en arrivant sur le réfrigérant, il se refroidit jusqu'à 5° dans un cas, 12° dans l'autre, et à ces températures, et plus encore aux intermédiaires, les bactéries qui peuvent tomber dans le moût sont dans des conditions de développement très favorables. Si l'on joint à cela que le moût offre une énorme surface de contact avec l'air et avec les germes qu'il renferme, et on ne saurait être étonné du grand nombre d'accidents de fabrication dont l'origine remonte jusqu'au réfrigérant.

Installation avec air filtré. — Puisque l'air est dans ce cas le principal agent de contamination, il paraît tout indiqué de mettre pendant son refroidissement le moût en contact avec de l'air stérilisé. Or, cette stérilisation peut s'effectuer d'une manière très simple, à l'aide du coton.

On peut dès lors éviter les infections dues à l'air, de la façon suivante : supposons le réfrigérant installé dans un petit local dont le sol soit imperméable, les murs recouverts de vernis émail ou blanchis à la chaux et dans lequel on injecte de l'air filtré à l'aide de tuyaux arrivant en face de la nappe ruisselante de moût.

Le local est muni d'un tuyau de ventilation, mais il est bon que le diamètre de ce conduit soit réglé de façon qu'il reste un excès de pression d'air à l'intérieur du local ; de cette manière aucun accès d'air extérieur non filtré ne sera jamais possible.

L'effet d'un tel dispositif est surprenant ; j'ai rencontré entre autres une brasserie dont le moût, avant la mise

en levain, était régulièrement infecté de bactéries et de levures au point de fermenter spontanément. A la suite de l'installation du réfrigérant dans un local spécial avec aération abondante à l'air pur le moût est devenu stérile, et après quelque temps, si la stérilité ne continue pas, tout au moins n'y voit-on qu'un très petit nombre de levures de culture et à peu près pas de levures sauvages.

On ne saurait donc trop recommander cette organisation aux brasseurs soucieux d'éviter l'infection par l'air.

Marche de l'oxydation et de l'aération.

Le moût sortant de la chaudière ne contient pas de gaz dissous ; à mesure qu'il avance sur les bacs et sur le réfrigérant il retient de l'acide carbonique, de l'azote et de l'oxygène. L'acide carbonique provient de l'oxydation des matières contenues dans le moût; quant à l'azote c'est un résidu, puisque l'oxygène de l'air absorbé est utilisé à l'oxydation.

J'ai déterminé, sur les moûts d'une brasserie de Maxéville, les quantités de gaz dissous dans un litre de moût à divers moments et la composition de ces gaz :

	Volume.	Acide carbonique.	Oxygène.	Azote.
Chaudière.....	0	0	0	0
Bac après 15 minutes....	8cc,7	1cc,55	1cc,3	5cc,85
Sortie du bac.....	18	6	2.3	9.7
Cuve guilloire.....	25.4	10.7	4.2	10.5

On voit d'après cela qu'on ne peut séparer l'oxydation et la dissolution d'oxygène; ces deux phénomènes commencent ensemble, sur le bac, et on peut se repré-

senter l'action comme une dissolution d'air dans le moût ; aussitôt cette dissolution effectuée, une partie de l'oxygène se combine à des éléments du moût, se transforme en acide carbonique, tandis que l'azote reste simplement dissous ; une partie de l'oxygène ayant aussi disparu, le moût peut de nouveau en redissoudre, et ainsi de suite. Quant à l'azote, sa proportion s'accroît suivant sa solubilité particulière qui est à peu près le tiers de celle de l'oxygène, mais sans arriver à la saturation.

Les chiffres qui précèdent montrent que l'oxydation, ou ce qui revient au même, la formation d'acide carbonique, va en croissant, et qu'elle continue encore sur le réfrigérant ; c'est-à-dire que l'oxydation n'a pas lieu uniquement dans le moût bouillant, mais encore aux températures intermédiaires : il paraît vraisemblable que ce phénomène est d'autant plus énergique que la température du moût est plus élevé, mais sans cesser cependant complètement aux températures basses.

On peut faire remarquer également l'importance de l'oxydation, beaucoup plus grande qu'on ne l'admet généralement. En prenant le moût en cuve guilloire, les chiffres cités plus haut montrent que 1 hectolitre de ce moût contient 1070 centimètres cubes d'acide carbonique et 420 centimètres cubes d'oxygène. Or comme 1 centimètre cube d'acide carbonique nécessite l'absorption de 1 centimètre cube d'oxygène, l'hectolitre de moût a consommé en arrivant à la cuve guilloire 1490 centimètres cubes, ou en chiffres ronds $1^{l},5$ d'oxygène, répondant à $7^{l},5$ d'air.

Par conséquent, un moût normalement fabriqué dans une bonne brasserie nécessite au moins $7^{l},5$ d'air

par hectolitre, en admettant que tout l'oxygène de cet air ait été retenu par le moût.

D'ailleurs le moût pris dans la cuve guilloire n'a pas épuisé sa faculté d'oxydation. Si en effet on fait bouillir ce moût pour le débarrasser des gaz dissous et qu'on le laisse refroidir au contact d'air filtré, il absorbe encore 570 centimètres cubes d'oxygène changé en acide carbonique par hectolitre ; il est vrai que cette action supplémentaire avait complètement modifié les propriétés du moût, que toute odeur de houblon, et presque toute l'amertume avaient disparu.

Ces essais nous montrent que l'oxydation du moût ne doit pas être pratiquement poussée jusqu'à sa limite, et qu'avec une consommation de $7^{l},5$ d'air, on a un résultat normal, tandis qu'avec $10^{l},5$, on élimine tout parfum de houblon.

Substances oxydées. — On admet généralement que l'oxydation porte sur les résines et autres principes du houblon, et ne porte pas sur le moût lui-même. Pour m'en assurer, j'ai déterminé les gaz dissous :

1° Dans le moût avant ébullition ;

2° Dans le même moût non bouilli et saturé d'air par agitation d'abord à chaud puis à froid ;

3° Dans le moût bouilli et saturé d'air ;

4° Dans le moût houblonné saturé d'air.

En rapportant le résultat à un hectolitre de moût de même concentration, on trouve ainsi :

	Volume.	Acide carbonique.	Oxygène.	Azote.
1° Moût non bouilli.....	200cc	10cc	40cc	150
2° Le même saturé d'air.....	1650	210	290	1150
3° Moût bouilli, saturé d'air..	2010	380	485	1150
4° Moût houblonné saturé d'air.	2000	580	480	940

Ainsi donc sur 580 centimètres cubes d'acide carbonique, 380 c'est-à-dire les 2/3 ont été fournis par le moût, 1/3 seulement par le houblon.

Nous devons donc en conclure que les matières oxydables sont apportées pour les 2/3 environ par le moût, et 1/3 par le houblon ; par conséquent le volume d'oxygène ou d'air nécessaire variera avec la concentration du moût, avec la nature du malt, et la qualité du houblon.

Ces constatations trouveront leur application très importante dans l'étude de l'oxydation et de l'aération en appareils fermés, remplaçant les bacs et le Baudelot.

Oxydation à froid ou à chaud. — Pasteur a admis, dans ses *Études sur la bière*, que l'oxydation des moûts avait lieu pour le moût presque bouillant : Moritz et Morris (*A text Book of the Science of Brewing*) considèrent une température de 88-90° comme la plus favorable à cette action.

Nous avons vu précédemment, dans l'étude du moût de Maxéville, que la production d'acide carbonique avait lieu encore sur le réfrigérant, c'est-à-dire à une température assez basse et inférieure à 60°, puisque le moût arrive à la partie supérieure du réfrigérant à 70° environ et s'écoule au bas à 5°.

Du moût à 13°,4 Ball. a été aéré sortant de la chaudière pendant vingt minutes, on l'a ensuite laissé refroidir, enfin aéré pendant dix minutes à 16°, on a trouvé par hectolitre :

	Volume.	Acide carbonique.	Oxygène.	Azote.
Aéré 20 min. à chaud...	1410cc	600cc	110cc	700
Aération supplémentaire de 10 minutes à 16°..	1860cc	650cc	350cc	860

L'oxydation s'est donc faite presque entièrement à chaud, l'aération supplémentaire à 16° n'a fait que dissoudre de l'oxygène, et n'a augmenté que très peu le taux d'acide carbonique.

On peut se demander inversement si l'oxydation peut aussi se faire à froid. Le même moût a été laissé dans l'oxygénateur et n'était en communication avec l'air pendant douze heures que par une très petite ouverture, munie d'un filtre à coton. Lorsque le moût a été ramené à 16°, on l'a aéré pendant quarante minutes.

	Volume.	Acide carbonique.	Oxygène.	Azote.
Aéré par diffusion.....	850cc	250cc	130cc	420
Aéré ensuite 40 minutes à 16°.....	1820	600	380	840

On est donc arrivé à peu près au même degré d'oxydation qu'à chaud, mais à condition d'injecter une quantité d'air plus considérable; il en résulte, par contre-coup, une dissolution plus abondante d'oxygène.

Nous devons donc en conclure qu'on peut effectuer l'oxydation soit à chaud, soit à froid, mais que, dans ce dernier cas, il faut une quantité plus grande d'air.

Bacs Velten et Carlsberg. — Réfrigérants clos. — Nous avons signalé les dangers d'infection que présentent les bacs et les réfrigérants ouverts tels que le Baudelot, lorsqu'ils sont installés sans précautions spéciales.

M. Pasteur avait signalé autrefois l'avantage qu'il y aurait, au point de vue de la pureté du moût, à remplacer les bacs ouverts par des récipients à fermeture hydraulique, dans lesquels on injecterait de l'air filtré sur coton et par conséquent stérilisé.

Cette idée a été mise en pratique par M. Velten (fig. 61); le moût sortant de la chaudière était amené dans un récipient en tôle boulonnée, muni d'un couvercle à fermeture hydraulique; un tube de métal perforé permet

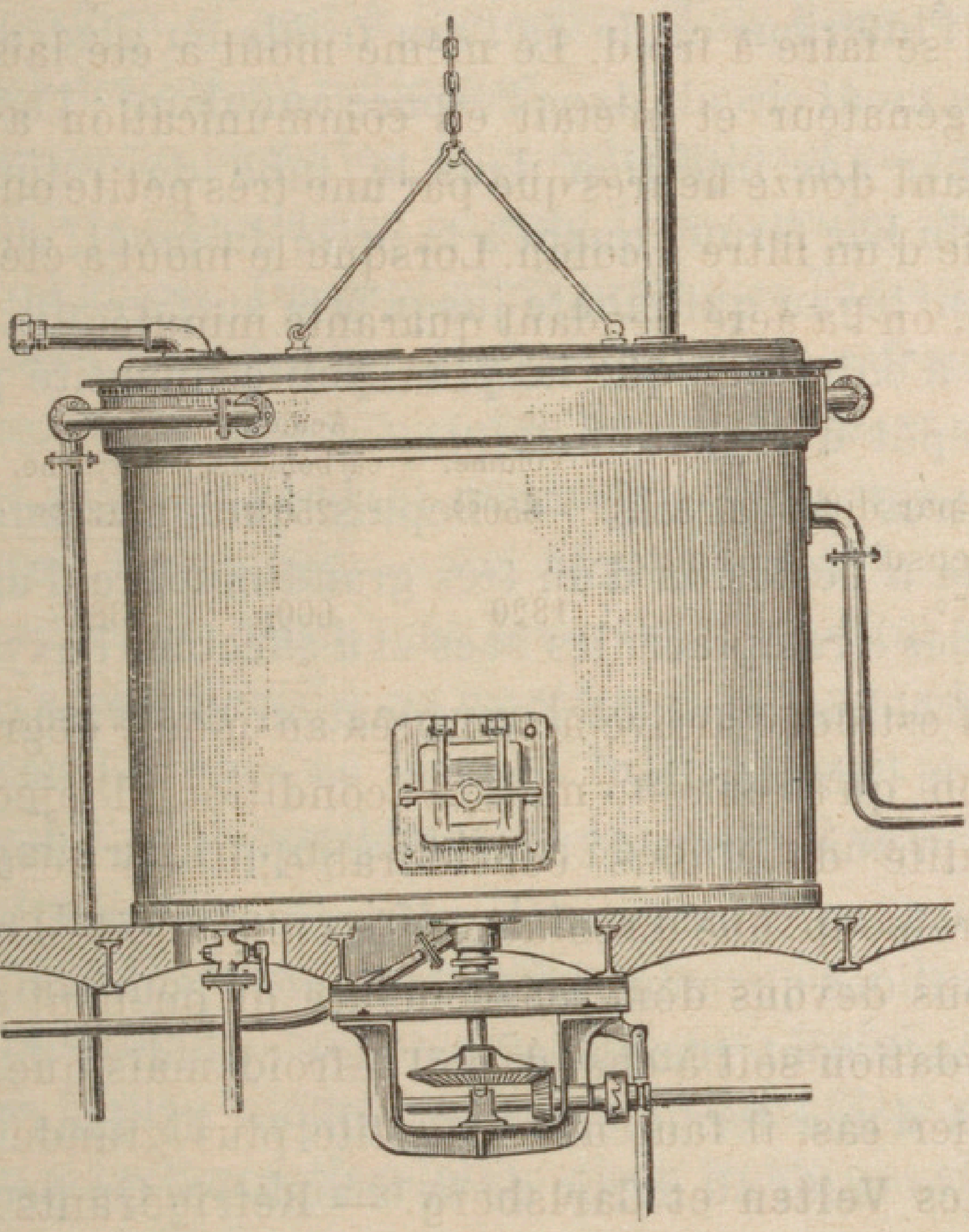


Fig. 61. — Bac Velten (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques à Lunéville).

d'y injecter de l'air filtré sur coton. Pour compléter le refroidissement du moût, on le fait circuler à l'aide d'une pompe dans un réfrigérant genre Baudelot mais renversé, c'est-à-dire que le moût passe dans les tuyaux, tandis qu'on fait ruisseler de l'eau glacée sur les surfaces extérieures.

Ce système a été employé ensuite à Ny-Carlsberg (Copenhague) où il est encore en service. Le moût circule constamment entre le bac fermé et les réfrigérants fermés : ceux-ci sont de l'espèce *mitrailleuse*, c'est-à-dire qu'ils comprennent une série de tubes concentriques, dans l'intérieur coule de l'eau froide ou glacée, tandis que le moût circule dans l'espace annulaire ; l'aération a lieu par une injection dans le tube de retour, tout près du bac fermé ; quant à la prise du moût, elle se fait par un tuyau qui monte jusqu'à la surface du liquide, pour n'entraîner que la plus petite quantité possible du dépôt d'oxydation.

Autres appareils. — Depuis quelques années on assiste à l'éclosion d'un très grand nombre d'appareils destinés à remplacer les bacs et à effectuer l'oxydation : le refroidissement et l'oxygénation des vases clos, et avec de l'air stérilisé.

Un premier procédé consiste à supprimer simplement les bacs, en conservant le réfrigérant ouvert, avec des précautions que nous avons indiquées pour son emploi. Les bacs sont remplacés par des cylindres de métal, munis d'une fermeture hydraulique, et dans lesquels coule le moût au sortir de la chaudière. On peut injecter dans ces appareils de l'air filtré ; après avoir laissé déposer le moût pendant quelque temps pour séparer le dépôt, on le soutire par un robinet muni d'une bague, et on l'envoie sur le réfrigérant. Ces appareils donnent de très bons résultats.

Appareil de la Société strasbourgeoise de constructions mécaniques (Lunéville). — C'est celui qui est installé à l'École de brasserie de Nancy et qui a été combiné par M. Guérin.

Il se compose encore d'un cylindre de tôle boulonnée, à fermeture hydraulique. A la partie inférieure se trouvent trois robinets, l'un muni d'une bague et d'une pomme d'arrosoir sert à soutirer le moût sans entraîner le dépôt, le deuxième communique avec un tube de cuivre perforé et sert à l'injection d'air filtré, le troisième est destiné au nettoyage.

Le couvercle porte les deux extrémités d'un serpentin en cuivre dans lequel on peut faire circuler de l'eau fraîche ou glacée. On peut ainsi pratiquer l'aération du moût à une température quelconque, et le refroidir en vase clos. Nous avons conservé en été du moût stérile dans cet appareil pendant quarante-huit heures.

Appareil Leugering. — Cet appareil a été lancé l'un des premiers en Allemagne lorsque la réaction contre les bacs a commencé à se manifester, il a pour but de remplacer les bacs en laissant le réfrigérant ouvert, mais peut être naturellement muni aussi d'un réfrigérant mitrailleuse.

Le moût débarrassé des cônes par le panier à houblon est refoulé dans un bassin ; sur son trajet, il reçoit dans le tube même une injection d'air filtré et traverse un manchon à circulation d'eau froide qui abaisse déjà sa température.

Le bassin est d'une construction aussi simple que possible, il est clos, mais avec un tube de dégagement; il peut être nettoyé aisément. Le moût débouche dans le bassin, et tombe sur une lame de métal perforée par laquelle arrive encore de l'air filtré ; on maintient ainsi dans le bassin, une pression légèrement supérieure à celle de l'atmosphère et l'on empêche toute rentrée d'air impur ; l'injection d'air amène une évaporation rapide,

et refroidit aussi le moût en peu de temps à 60° environ. Le bassin communique d'ailleurs avec le réfrigérant ouvert, devant les faces duquel se trouvent aussi des tubes pour lancer de l'air filtré, et l'on règle le débit de la pompe et celui du réfrigérant de façon que dans le bassin il ne se trouve qu'une couche assez mince de liquide. Ceci permet d'obtenir dans ce bassin une rapide réfrigération jusqu'à 65° et d'éviter le reproche adressé aux oxygénateurs de foncer la bière et de la rendre amère. C'est un défaut que nous n'avons jamais remarqué dans l'oxygénateur de l'École de brasserie.

L'appareil Leugering est breveté et son prix est assez élevé ; on pourrait évidemment le remplacer simplement par un cylindre dans lequel se ferait l'aération à chaud, en conservant le réfrigérant ouvert, logé dans un local spécial et où l'on injecterait de l'air filtré.

Appareils Kyll et Böhm. — L'appareil de Kyll est simplement un cylindre à fermeture hydraulique, placé longitudinalement et contenant un serpentin pour la réfrigération. On peut également faire ruisseler de l'eau sur les parois externes pour accélérer le refroidissement. Un orifice communique avec une pompe aspirante qui entraîne la vapeur émise par le liquide.

On refroidit à 62°, 180 hectolitres de moût dans l'espace d'une demi-heure, on continue à aérer et à refroidir jusqu'à ce que le moût soit ramené à 22° environ, ce qui demande deux heures ; enfin on le dirige sur un réfrigérant ouvert genre Baudelot.

Dans l'appareil Böhm, on a une cuve cylindrique, pouvant se fermer, dans laquelle le moût arrive par un tuyau perforé ; dans celui-ci on injecte de l'air filtré en sens inverse du moût.

L'appareil est muni d'un serpentin et d'un agitateur.

Le refroidissement à 60° dure une demi-heure : on laisse reposer une heure pour séparer le dépôt et on soutire à l'aide d'un tube flotteur. Le moût est passé au réfrigérant à ruissellement.

Appareil Hanford-Stanford. — On utilise pour la réfrigération l'évaporation spontanée du moût. On le fait arriver par un tube portant une série d'ouvertures ; chacune d'elles peut être réglée d'une façon indépendante par une sorte de tampon que l'on manœuvre à l'aide d'un levier.

Le moût tombe en pluie plus ou moins fine dans un bassin : et tout le système est enfermé dans une loge à l'intérieur de laquelle on injecte de l'air filtré. Le moût est refroidi par ce procédé vers 66°, puis dirigé sur un réfrigérant ordinaire.

Centrifuges. — Ce sont des centrifuges divisées par une cloison en deux compartiments et dont les parois sont pleines, sauf quatre portions cannelées à la partie inférieure. On injecte de l'air filtré dans l'appareil, et le moût arrive par un tube situé dans le prolongement de l'axe ; par suite de la force centrifuge, le dépôt va se coller contre les parties cannelées, tandis que le moût s'écoule clair et aéré par la partie supérieure.

Il existe plusieurs modèles de ces turbines, celles de Burmeister et de Zimmer sont les plus connues.

Cuve d'aération. — Dans quelques brasseries, on remplace les bacs par une cuve dans laquelle on fait ruisseler le moût bouillant en mince filet, ou en l'étalant par sa chute sur une lame de métal qui le divise et lui permet de s'oxyder.

Cette méthode n'est pas supérieure au bac, et elle

peut être réalisée sans installation nouvelle, en laissant simplement couler le moût sans arrêt sur les bacs ; il s'y étale alors en couche très mince et s'aère fortement en même temps que le refroidissement est rapide.

Précautions contre l'infection. — Les appareils clos préservent complètement le moût contre l'infection par l'air, mais ils seraient beaucoup plus dangereux que les bacs si l'on ne les maintenait rigoureusement propres et stériles.

Il faut surveiller avec grand soin les tuyaux d'arrivée et de sortie, veiller à ce que l'eau formant le joint hydraulique, soit changée après chaque brassin et la rigole nettoyée. On peut d'abord rincer avec de l'eau et une brosse les parois, ensuite on y laisse séjourner une solution antiseptique, et on fait couler dans les tuyaux une solution de bisulfite ou de chlorure de zinc, ou de soude. Le mieux, quand on le peut, est de passer ces tuyaux à la vapeur de façon à les porter au moins à 100°.

Pour donner une idée de la minutie nécessaire à ces nettoyages et des dangers d'infection auxquels il faut parer, nous citerons ce fait suivant : à l'École de brasserie de Berlin, qui dispose d'une brasserie importante, le moût est réuni dans un oxygénateur de 60 hectolitres environ. L'examen microscopique du moût y montra à diverses reprises la présence d'un grand nombre de bactéries, et, après une étude minutieuse, on constata que cette infection était provoquée par un tuyau d'évacuation mal nettoyé, que l'on avait négligé de passer à la vapeur d'une façon suffisante.

Si donc l'on adopte les appareils du genre oxygénateur, il faut exercer sur eux une surveillance très

sévère, puisqu'une négligence quelconque peut les rendre plus dangereux que les bacs.

Action des appareils à injection d'air. — Dans la majeure partie des appareils ci-dessus décrits, on pousse la réfrigération jusqu'à 15 à 20°, et l'on injecte de l'air dans le moût soit à chaud, soit à froid ; on doit donc provoquer par cette injection à la fois l'oxydation et la dissolution d'oxygène.

M. Reinke (1) a étudié, au point de vue de l'oxygène dissous, l'action d'un certain nombre de ces appareils comparée à celle des bacs et du réfrigérant, et il n'a pas constaté de différences sensibles, la quantité d'oxygène dissous par litre variant entre 3 et 4 centimètres cubes, c'est-à-dire étant normale ; il remarque d'ailleurs que le moût dissout très aisément 3 centimètres cubes environ d'oxygène, mais qu'il est ensuite très long et assez difficile de lui en faire absorber davantage, quoique la quantité répondant à la saturation soit voisine de 6 centimètres cubes aux températures de 5° environ.

Pour l'aération à froid, on n'a jamais rencontré de bien graves difficultés ; tout au plus est-il arrivé quelquefois d'avoir une fermentation un peu paresseuse et une production de levure inférieure à la moyenne, quand l'aération avait été insuffisante, ou bien, au contraire, une atténuation plus forte et beaucoup de levure quand l'injection avait été trop abondante ; mais c'étaient là de petits inconvénients, qui ne nuisaient ni à la conservation ni à la qualité de la bière.

Pour l'oxydation, il n'en est pas de même : nous

(1) Reinke, *Wochenschrift für Brauerei.*

avons vu qu'un excès d'aération à chaud enlevait tout parfum de houblon; avec une aération insuffisante on a un goût très amer, et il faut savoir se tenir dans un juste milieu assez difficile à réaliser. Il faut évidemment connaître exactement la quantité d'air à injecter par hectolitre de moût, dans des conditions déterminées.

Quantités d'air à injecter. — On indique pour cela des chiffres extrêmement variables, et nous allons voir que chacun peut avoir raison à un moment donné et fournit l'explication de ces divergences.

A Ny-Carlsberg, on injecte environ 155 litres d'air par hectolitre, en trois heures de temps, le moût se refroidissant de 95° à 12°. L'injection est continue. Ces quantités sont employées depuis de longues années. Il est vrai que l'on reproche quelquefois à la bière de Carlsberg d'être très plate et de ne pas sentir beaucoup le houblon, quoique son caractère soit naturellement maintenu aussi uniforme que possible par les coupages de diverses brassins, comme c'est l'habitude.

M. Bergé indique comme quantité convenable à injecter à chaud 1 litre d'air par hectolitre de moût, mais je ne crois pas qu'il se base sur des expériences directes.

Dans l'appareil de Böhm, on injecte par hectolitre de moût, 848 litres d'air à chaud (jusqu'à 80°) et 5090 litres à froid.

Dans l'appareil d'Ergang, analogue à ceux de Kyll et Böhm, on conseille 56 litres à chaud et 450 litres à froid.

Enfin M. Van Laer et quelques autres auteurs considèrent 200 litres d'air comme un volume convenable

réparti soit dans le moût bouillant, soit pendant toute la durée du refroidissement.

Ces nombres présentent des divergences énormes, entre 1 litre par hectolitre et 850 litres pour l'aération à chaud, et pour celle à froid entre 50 et 5000 litres.

J'ai cherché directement à obtenir une aération convenable : je suis parti du moût de Maxéville, traité au bac et au réfrigérant et j'ai cherché par tâtonnements à obtenir une oxydation et une aération analogues dans d'autres moûts, en admettant que la quantité d'air nécessaire à l'oxydation était sensiblement proportionnelle à la concentration du moût.

Le résultat de cette étude du moût de Maxéville avait montré que l'hectolitre de moût à 15° consommait 1070 centimètres cubes d'oxygène pour l'oxydation, et 420 centimètres cubes pour la dissolution, soit pour un hectolitre à 1° Balling, 70 centimètres cubes d'oxygène pour l'oxydation et 28 centimètres cubes pour l'aération.

En opérant sur un moût à 10° Balling, j'ai trouvé qu'en employant à chaud 275 litres d'air à la vitesse de 110 litres à la minute, et à froid 467 litres d'air à la même vitesse par hectolitre, on trouvait pour l'acide carbonique et l'oxygène dissous des chiffres voisins de ceux obtenus pour le moût de Maxéville, soit 580 centimètres cubes d'acide carbonique et 366 centimètres cubes d'oxygène.

Nous en pouvons donc conclure que pour un hectolitre à 1° Balling, il faut, en chiffres ronds, avec une vitesse de 110 litres à la minute, 30 litres d'air à chaud, et 45 litres à froid.

Pour du moût à 15° Balling, cela représente environ 450 litres à chaud et 675 litres à froid.

J'ai considéré d'abord ces chiffres comme établis d'une façon absolue, mais je n'ai pas tardé à remarquer que s'ils étaient vrais pour une série de malts et un même houblon, ils devaient être modifiés pour d'autres malts ; en particulier avec des malts de 1894 les chiffres établis en 1893 étaient toujours trop élevés et conduisaient à une oxydation beaucoup trop forte. J'ai donc dû réduire de plus de moitié les chiffres indiqués, c'est-à-dire retomber à environ 250 litres d'air à chaud et 450 à froid pour du moût à 15°. J'ai repris cette étude d'une façon plus détaillée, et nous devons encore la considérer comme non tranchée.

Conclusion. — Dans l'état actuel de la question, il semble que l'emploi d'appareils complètement clos, tel que le Velten, l'appareil de Carlsberg et ses analogues soit d'un maniement fort délicat et ne soit recommandable que là où existe un personnel suffisamment instruit pour diriger l'injection d'air.

Dans la plupart des brasseries, ce personnel n'existe pas, ou, du moins, il est trop occupé au reste de la fabrication pour pouvoir surveiller d'assez près des appareils destinés à remplacer des bacs et que l'on est accoutumé à voir fonctionner seuls.

Il nous semble que deux solutions sont alors recommandables.

1° Suppression des bacs et leur remplacement par un cylindre à fermeture hydraulique dans lequel on injecte de l'air filtré pendant dix minutes environ, de façon à fournir au moût bouillant et compté comme ayant 15° Balling, à peu près 50 litres d'air par hecto ; ensuite laisser déposer, et envoyer au réfrigérant.

2° Conserver les bacs à la manière habituelle pour le

travail d'hiver, puisque leur emploi procure une économie de glace et d'eau. En été faire couler simplement le moût sans arrêt sur les bacs, en ouvrant simultanément la vanne d'écoulement et celle d'arrivée, ensuite faire passer au réfrigérant, pour lequel on sera obligé d'employer une plus grande quantité d'eau, et de faire couler le moût plus lentement.

Dans les deux cas, réfrigérant à ruissellement, placé dans un local spécial avec parois émaillées ou passées à la chaux, et injection d'air stérilisé en face des nappes de moût.

Consommation de glace pour la réfrigération. — Elle est effectuée d'habitude par un réfrigérant à deux eaux, la partie supérieure étant alimentée par de l'eau ordinaire, la partie inférieure par de l'eau glacée ou par du liquide incongelable.

Soit un hectolitre de moût arrivant à 70° au réfrigérant, et refroidi à 20° par son passage sur la première moitié : admettons que l'eau ait 10° et sorte des tubes aussi à 20°.

La quantité de chaleur perdue par un hectolitre de moût étant alors de 5000 calories, chaque litre d'eau gagne 10 calories : il faudra donc par hectolitre de moût 5 hectolitres d'eau.

De même si la deuxième partie est alimentée par du liquide incongelable entrant à — 5° et sortant à + 5°, le moût étant ramené à + 5° au bas du réfrigérant, on voit que pour 1 hecto de moût, il faudra 150 litres de liquide incongelable.

Si l'on emploie de la glace pour refroidir l'eau à 0°, dans la deuxième partie et que le moût soit refroidi à 5°, l'eau s'échauffant à 5° il faudra 300 litres d'eau

à 0° et pour glacer ces 300 litres d'eau on consommera 37 kilogr. de glace environ.

Filtration de l'air. — Pasteur a montré depuis longtemps que les liquides stériles, placés dans des récipients eux-mêmes stérilisés, pouvaient être conservés intacts si on ne mettait en contact avec eux que de l'air stérilisé; ceci pouvait être obtenu de deux manières, soit en faisant passer l'air dans un tube de métal chauffé au rouge, soit en lui faisant traverser des couches de coton stérilisé. Ce dernier procédé est actuellement le seul employé en pratique, et il existe un très grand nombre de filtres à air.

Ils sont tous fondés sur le même principe et les dispositions elles-mêmes varient peu. Ces appareils se composent d'une série de segments métalliques, munis chacun d'une toile métallique mobile, et qui s'assemblent de façon à former un cylindre; entre les toiles métalliques, on place du coton un peu tassé, et stérilisé par la chaleur, ou par immersion dans l'acide salicylique, ou enfin dans le filtre même par une injection de vapeur sous pression. Un robinet est placé à la partie inférieure et à la partie supérieure du filtre et permet de l'isoler quand il n'est pas en service.

La figure 62 représente un filtre et une pompe à air construits par M. Cambier à Lille Saint-Maurice.

On peut également remplacer les appareils par une simple caisse de tôle, à compartiments de toile métallique, dans chacun on place du coton. Un tonneau fraîchement goudronné et lavé à la vapeur, peut encore rendre les mêmes services.

Il est essentiel de pouvoir démonter le filtre aisément et de changer le coton chaque mois au moins ; à chaque

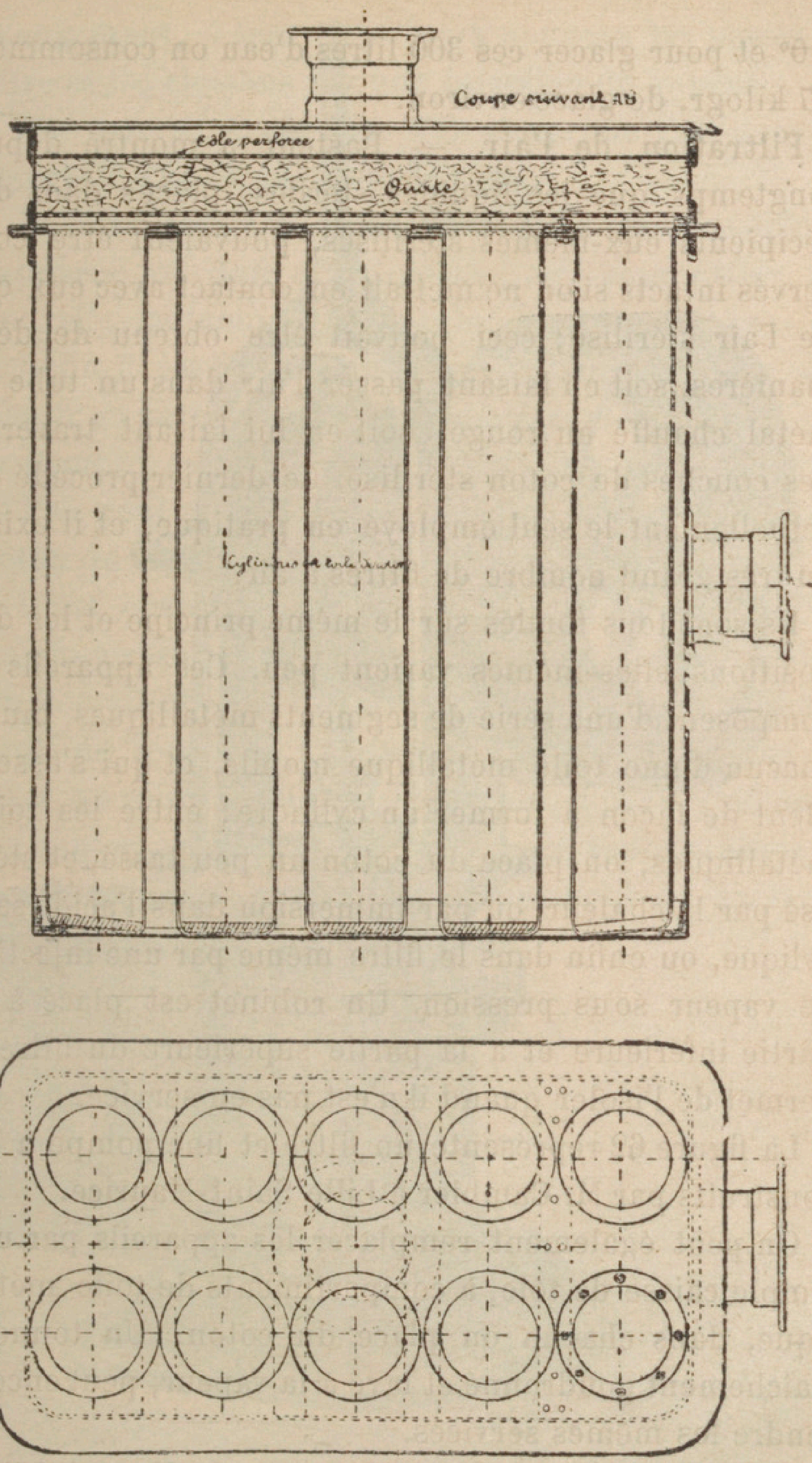


Fig. 62. — Filtre à air (Th. Cambier et Cie à Lille Saint-Maurice).

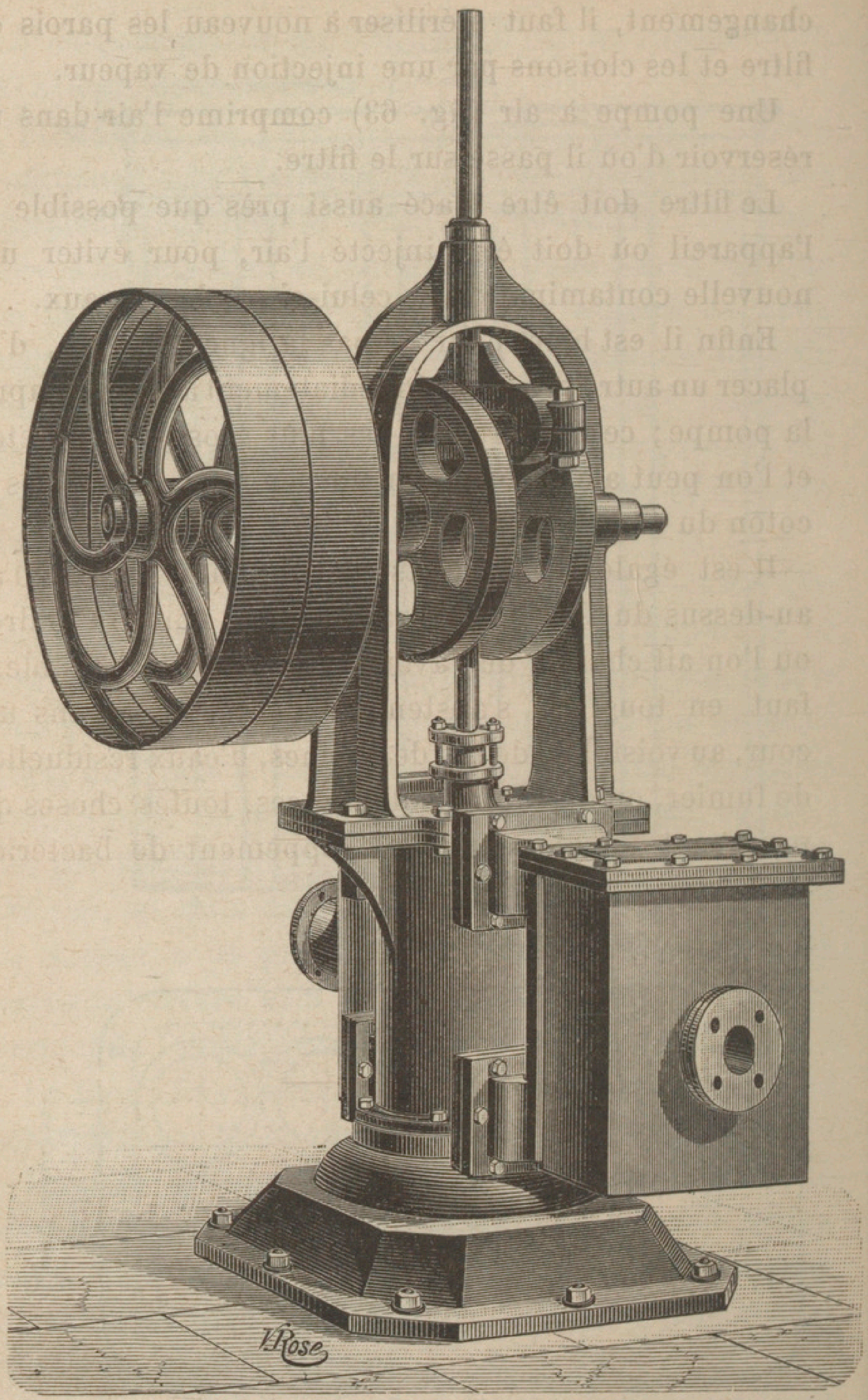


Fig. 63. — Pompe à air (Th. Cambier et C^ie à Lille Saint-Maurice).

changement, il faut stériliser à nouveau les parois du filtre et les cloisons par une injection de vapeur.

Une pompe à air (fig. 63) comprime l'air dans un réservoir d'où il passe sur le filtre.

Le filtre doit être placé aussi près que possible de l'appareil où doit être injecté l'air, pour éviter une nouvelle contamination de celui-ci par les tuyaux.

Enfin il est bien pour ne pas fatiguer le filtre, d'en placer un autre grossier immédiatement avant, ou après la pompe ; ce filtre retient les plus grosses impuretés, et l'on peut alors conserver un peu plus longtemps le coton du filtre principal.

Il est également à conseiller de faire la prise d'air au-dessus du toit de la brasserie : et dans un endroit où l'on ait chance de l'avoir aussi pur que possible, il faut en tous cas s'abstenir d'aspirer l'air dans une cour, au voisinage de tas de drèches, d'eaux résiduelles, de fumier, ou de cabinets d'aisances, toutes choses qui procurent un abondant développement de bactéries.

CHAPITRE IX

FERMENTATION ALCOOLIQUE

On donne ordinairement ce nom à la transformation des matières sucrées, telles que le maltose, le glucose, le saccharose, en alcool et acide carbonique sous l'influence de la levure ; on observe en même temps d'importantes modifications dans la composition du moût, en matières azotées et en gaz dissous et pendant la fermentation de nouvelles cellules de levure prennent naissance. La fermentation ainsi entendue, nous apparaît donc comme un phénomène d'allure très simple, mais si l'on va plus au fond des choses, on se trouve en présence de grandes difficultés, et il n'est guère possible actuellement de donner une explication scientifique certaine de toutes les transformations qui ont lieu pendant la fermentation. D'ailleurs nous ne désirons que donner un aperçu de ces phénomènes et les conditions nécessaires à l'accomplissement d'une fermentation normale.

Nous avons dit qu'en se bornant à l'observation grossière, deux faits principaux caractérisent la fermentation, savoir la formation de nouvelles cellules et la transformation d'une partie des matières sucrées en alcool et en acide carbonique. Il semble que ce soit là en effet, deux manifestations inséparables l'une de

l'autre ; on a pu faire varier de bien des manières, les conditions ; dans certains cas, le développement de la levure est très faible, dans d'autres très grand, par rapport à la quantité d'alcool produit, mais sans jamais pouvoir obtenir une formation d'alcool sans une formation de levure ou inversement.

Cependant les deux phénomènes ne suivent pas exactement la même marche et pour saisir d'une façon plus nette le mécanisme de la fermentation, nous les étudierons d'abord séparément.

Conditions du développement de la levure.

La levure, quelle que soit l'espèce à laquelle elle appartient, doit pour avoir un développement normal, rencontrer dans le milieu :

1° De l'oxygène ;

2° Des matières sucrées ;

3° Des substances azotées ;

4° Des matières minérales.

Oxygène. — Pasteur a établi par de nombreuses expériences que la présence d'oxygène était indispensable. Sans doute, si l'on ensemence une grande quantité de levure jeune dans un liquide privé d'air, mais présentant les autres conditions requises, l'on observera au moins un commencement de fermentation, mais nous ne devons pas oublier que ce sont là des conditions très éloignées de celles que l'on observe en pratique industrielle ; dans celle-ci, en effet, la quantité de levure fournie est petite, et le développement pendant la fermentation considérable.

Brown a d'ailleurs constaté qu'en faisant vivre la

même levure, d'une part dans un milieu faiblement aéré, d'autre part dans ce même milieu, constamment traversé par un courant d'air, on obtenait dans ce dernier cas, un nombre de cellules de levure, allant jusqu'au quadruple de celui obtenu sans renouvellement d'oxygène.

Les expériences de MM. Grenet et Calmettes ont prouvé aussi qu'au début de la fermentation, la levure absorbait rapidement tout l'oxygène dissous dans le moût; nous pouvons donc admettre qu'au point de vue pratique tout au moins, l'oxygène est un élément indispensable à la vie de la levure.

Matières sucrées. — Les levures employées en pratique peuvent fermenter directement le glucose et après inversion, le maltose et le saccharose ou sucre ordinaire ; en fait, cette distinction est peu importante, puisque les moûts de malt, seuls ou additionnés de saccharose, fermentent exactement comme s'ils renfermaient du glucose seul.

L'action préalable du ferment inversif sécrété par les levures, est plus nette pour les maltodextrines, qui sont dédoublées en maltose qui fermente et dextrine restant dans la bière ; la rapidité avec laquelle les maltodextrines fermentent, varie du reste, dans un même moût, avec les diverses levures employées, et même avec la quantité de levure mise en présence, ce qui indique l'action réelle de l'invertase.

La consommation de sucre par la levure pour son développement est très faible, puisqu'en dosant dans un moût le maltose avant d'y introduire la levure et ensuite au moment où apparaissent à la surface les premières bulles d'acide carbonique, on ne trouve que

des différences à peine sensibles; la destruction de sucre augmente progressivement, pour diminuer ensuite et devenir peu importante à la fin de la fermentation. Cette diminution est-elle due à l'appauvrissement progressif du moût en maltose libre, ou à l'affaiblissement de la levure par les produits de la fermentation, comme cela a lieu pour beaucoup de bactéries, il est impossible actuellement de le déterminer.

Les autres sucres, tel que le sucre de lait, ne sont pas attaqués par les levures ordinaires.

Matières azotées. — Toutes les matières azotées ne sont pas assimilables par la levure et il semble même qu'elle ne puisse tirer aucun parti des substances analogues aux albuminoïdes. En revanche, elle assimile parfaitement les amides, les sels ammoniacaux et assez bien les peptones.

Si l'on se rappelle que dans le houblonnage, le houblon introduit dans le moût des matières analogues aux amides, en place des albuminoïdes précipités par son tannin, on voit quelle est l'importance de cette opération.

Delbruck (*W. für Brauerei*) a indiqué une méthode intéressante pour distinguer les matières azotées assimilables par la levure ; il donne à ce procédé le nom de méthode physiologique. Concevons un moût, dans lequel nous dosions la quantité totale de matières azotées, opération facile, tandis que la séparation et la détermination des amides, peptones, albuminoïdes, etc., est longue et peu certaine. Si dans ce moût on ensemence une forte proportion d'une levure donnée, par exemple 10 p. 100, et qu'on conduise la fermentation à haute température avec injection d'air (*Schnellgä-*

rung), la fermentation se fera très rapidement et sera terminée en quelques heures.

En dosant l'azote restant dans le liquide, on saura la quantité assimilée par la levure, et on en déduira la proportion de l'azote primitif qu'elle aura pu absorber.

En répétant cette opération avec diverses levures, Delbruck a reconnu que la proportion de matière azotée consommée était très variable, allant de 50 à 70 p. 100 de l'azote total dans un même moût, et il a été conduit à distinguer dans les moûts trois catégories de matières azotées :

1° Les substances non absorbables par la levure;

2° Celles qui ne sont assimilées que par les levures énergiques;

3° Celles qui peuvent être utilisées par toutes les levures.

Nous devons en conclure que les levures énergiques, c'est-à-dire celles qui provoquent une destruction plus abondante de matières sucrées, ou comme l'on dit, une atténuation plus forte, sont aussi celles qui consomment le plus de matières azotées du moût.

C'est là une remarque de la plus grande importance pour la conservation des bières, et de nature à modifier profondément le genre de fabrication des bières de conserve.

L'absorption de matières azotées a lieu surtout au début de la fermentation, et Wijsman, en dosant l'azote de la levure, avant la mise en levain, puis à intervalles égaux après cette opération, a reconnu que, non seulement la quantité totale, mais même la proportion d'azote de la levure augmentait d'une quantité allant jusqu'à 2 p. 100 pendant les premières heures de la

fermentation. Cette absorption est la plus forte avec les corps analogues à l'asparagine, c'est-à-dire avec les amides ou avec le phosphate d'ammoniaque, et elle est augmentée encore par le présence simultanée d'un sucre. Au contraire les peptones ne donnent lieu qu'à une faible assimilation.

L'accroissement du taux d'azote de la levure est d'ailleurs passager; il diminue peu à peu, mais l'azote restitué au liquide ambiant n'est plus au même état de combinaison qu'avant l'absorption; il paraît être rendu par la levure sous forme d'albuminoïdes, ce qui explique la présence de matières azotées coagulables par la chaleur dans la bière, alors que le moût en a été presque entièrement débarrassé par la cuisson et le houblonnage.

La restitution de matières azotée par la levure est du reste bien moins rapide quand elle se trouve dans un milieu sucré ce qui est le cas de la pratique. Wijsman a en effet trouvé qu'en cultivant la levure dans un milieu A, contenant 0,25 p. 100 d'asparagine et 0,1 p. 100 sulfate de potasse, et dans un milieu B, formé de ces mêmes substances additionnées de 3 p. 100 de sucre, on avait :

	A	B
Azote primitif de la levure.	6,88 p. 100	6.88 p. 100
Après 2 heures.....	8.10 p. 100	9.27
— 3 heures.....	7.91	9.24
— 4 heures.....	7.43	9.55
— 5 heures.....	7.75	9.24

Matières minérales. — Les substances qui ont le plus d'importance pour la bière sont l'acide phosphorique, la potasse et la chaux ou la magnésie; mais il suffit de quantités très faibles de ces substances, et les

moûts en renferment toujours des quantités suffisantes pour assurer le développement.

L'action nuisible exercée par le riz sur la vigueur des levures, ne paraît pas due, comme on l'a cru généralement, à une insuffisance d'acide phosphorique, puisque le riz n'est jamais employé qu'en faible proportion, et que les levures vivent parfaitement dans des milieux beaucoup plus pauvres en acide phosphorique.

En somme, on n'a pas à se préoccuper en pratique de l'alimentation minérale de la levure.

Action de la chaleur et des antiseptiques sur la levure.

Chaleur. — M. Kayser a étudié l'action de la chaleur sur des levures de diverses origines; en s'adressant soit aux cellules elles-mêmes, soit à leurs spores; on indique les températures qui tuent la levure après cinq minutes :

	HUMIDES.		SÈCHES.	
Espèce.	Cellules.	Spores.	Cellules.	Spores.
Pale ale.....	60-65°	65°	95-105	115-125
St-Emilion.....	55-60	60-65	105-110	125
Augustiner Braü.	50°	60-65	»	115-120
Spatenbraü.....	50-55	55-60	100-105	115
Sach.-Pastorianus	50°	55-50	100-105	115°

On voit d'après ce tableau que les spores humides ne sont pas beaucoup plus résistantes que les cellules elles-mêmes, et qu'une température de 65° amène sûrement la destruction de toutes les levures étudiées après cinq minutes. Au contraire, quand la levure a été préalablement séchée dans le vide ou à basse température, elle peut supporter sans altération une tempéra-

ture supérieure à 100°. Ce même fait se présente pour les matières analogues à l'albumine. On sait en effet que celle-ci, chauffée en dissolution à 70-75° se coagule et devient ensuite insoluble dans l'eau ; si au contraire on la dessèche d'abord dans le vide, on peut la porter à 110° sans qu'elle cesse de pouvoir ensuite se dissoudre dans l'eau.

Antiseptiques. — L'influence des antiseptiques est plus ou moins énergique suivant le toxique employé ; les sels de cuivre et de mercure paraissent les plus actifs et il suffit de doses très faibles de ces substances pour tuer la levure. L'hydrogène sulfuré est également un poison violent même à petite dose, et il suffit d'aérer un moût en fermentation avec de l'air contenant des traces d'acide sulfhydrique pour que la fermentation s'arrête et pour que la levure devienne incapable d'en provoquer une nouvelle, même dans un nouveau moût.

L'acide sulfureux agit plus ou moins énergiquement suivant l'âge des cellules et leur espèce. On peut dire cependant que, dans un liquide contenant 1/5 de son volume d'acide sulfureux, la levure est tuée après quinze minutes quelle que soit son espèce.

Une dose de 20 centimètres cubes de gaz sulfureux par litre, tue la plupart des levures après quelques jours, mais lorsque le milieu contient un acide comme l'acide sulfurique, les doses toxiques s'abaissent, ainsi avec 25 centigrammes d'acide sulfurique et 4 centimètres cubes d'acide sulfureux par litre, les levures de culture sont tuées au bout de vingt-quatre heures.

En rapportant ces chiffres au bisulfite de chaux qui agit comme l'acide sulfureux qu'il renferme, on voit

qu'une dose de 50 centimètres cubes bisulfite commercial à 10-11° Baumé tuerait les levures après quelques jours.

Mais bien avant que l'antiseptique soit capable de tuer la levure, ses effets nuisibles apparaissent et se traduisent par un affaiblissement du ferment et par un changement dans le goût du liquide fermenté. Aussi doit-on absolument éviter de mettre la levure en contact avec un antiseptique, même dans la louable intention de la maintenir pure, en détruisant les ferments étrangers qui pourraient s'y trouver mélangés. Les doses que l'on introduira, si elles sont faibles, n'auront aucune action sur les ferments étrangers, et risqueraient déjà d'affaiblir la levure et d'augmenter par suite la rapidité de l'infection; si elles sont fortes, elles tueront la levure, en même temps que les ferments nuisibles.

L'emploi de l'acide tartrique, indiqué autrefois par Pasteur pour maintenir pures les cultures de levure, paraît jouer un rôle analogue. Hansen a montré en effet, que dans un milieu additionné d'acide tartrique et contenant un mélange de levure de culture et de levure de maladie, celle-ci se montrait plus résistante et finissait par rester seule, la levure de culture étant éliminée après un certain nombre de générations. En revanche l'acide tartrique se montre efficace pour diminuer l'infection par les bactéries, celles-ci ne pouvant se développer dans un milieu fortement acide.

L'*acide fluorhydrique* proposé par M. Effront donne des résultats bien meilleurs non seulement au point de vue des bactéries mais encore vis-à-vis des levures sauvages : en effet en ensemençant dans du moût addi-

tionné de 300 milligrammes de fluorure d'ammonium par 100 centimètres cubes un mélange de levure de pale ale et de *Saccharomyces Pastorianus* (levure de maladie), ce dernier était détruit au bout de soixante-douze heures, et la levure restait capable de produire une fermentation pure.

Les fluorures exercent d'ailleurs une action favorable sur la prolifération de la levure. Ainsi avec des doses croissantes, on obtient :

Fluorure d'ammonium par 100 cc.	Accroissement des cellules.
0mg	1 à 10
1mg	1 à 13
2	1 à 18
4	1 à 16
6mg	1 à 15
30mg	1 à 10

Ainsi donc pour une dose ne dépassant pas 4 milligrammes par 100 centimètres cubes, c'est-à-dire 4 grammes par hectolitre, on obtient un accroissement considérable dans le développement de la levure, et les cellules qui ont été cultivées d'abord dans des milieux additionnés de fluorure, sont beaucoup plus énergiques et capables de fournir plus d'alcool.

Les découvertes de M. Effront ont trouvé en distillerie une application très importante et très favorable, mais il ne semble pas qu'il puisse en être de même en brasserie à cause des considérations hygiéniques, qui rendraient bien difficile l'introduction d'un toxique comme l'acide fluorhydrique dans une boisson. Il est vrai qu'il existe des antiseptiques commerciaux, contenant de fortes doses de fluorure, mais ils n'en portent pas le nom, et après quelques mois d'une chasse vigou-

reuse à l'acide salicylique, la justice paraît ignorer complètement l'immense quantité de produits toxiques et tout aussi dangereux que l'acide salicylique, que l'on voit vanter et recommander ouvertement aux brasseurs.

Produits de la fermentation.

Lorsqu'elle est opérée par une levure rigoureusement pure, c'est-à-dire exempte de tout ferment étranger, et dans un moût absolument stérile, la fermentation ne donne naissance qu'à l'alcool, l'acide carbonique, la glycérine, l'acide succinique, avec quelques éthers de l'alcool éthylique.

Les produits ne varient guère, même quand la levure reste pendant très longtemps en contact avec le liquide fermenté, en opérant bien entendu aussi à l'abri des germes étrangers. Aussi Rayman et Kruis ont étudié les produits de la fermentation par diverses levures, après quatre années de conservation au contact du liquide fermenté; ils ont trouvé, en plus des substances indiquées plus haut, un peu des acides formique et valérianique avec de petites quantités d'éthers de ces mêmes acides. En ensemençant du moût frais avec des levures du voile formé par certaines levures dans cette longue conservation, quelques-unes donnent des traces d'acide formique et valérianique, et l'une d'elles, un peu d'alcool amylique, mais ces produits disparaissent dès que la levure a subi quelques cultures successives qui l'ont rajeunie.

Mais les produits de la fermentation se compliquent beaucoup dès que l'on cesse d'opérer avec une levure

pure, et un milieu stérile, et on y trouve compris toutes les substances qui résultent de la vie des ferments introduits avec la levure ; c'est ainsi que l'on a compté comme produits normaux, l'acide lactique, l'acide acétique, les éthers de ces acides, et d'autres encore, qui étaient dus uniquement à des fermentations parasites. En pratique, il y a toujours de petites quantités de ferments étrangers provenant soit de la levure, soit du moût, mais comme dans les conditions normales de la fabrication, le développement de ces germes est très rapidement arrêté par celui de la levure, les produits étrangers sont en quantité trop minimes pour exercer une influence sur le goût de la bière. Cependant quand la proportion de bactéries ou de levures sauvages est considérable, on peut trouver dans la bière, soit un goût particulier, soit une opalescence ou une coloration anormale, même quand les ferments qui ont produit ces manifestations ont disparu, et ont été détruits.

En nous bornant aux produits normaux de la fermentation, alcool, acide carbonique, glycérine, acide succinique, nous pouvons considérer les deux derniers comme des produits de désassimilation de la levure. M. Effront a constaté en effet que les proportions de glycérine et d'acide succinique, formées dans un temps donné n'étaient pas constantes aux divers moments de la fermentation ; tandis qu'au début les substances n'apparaissent qu'en quantité très faible, on les voit augmenter lorsque la fermentation diminue d'intensité : elles semblent donc résulter d'un affaiblissement de la levure, et en effet il résulte d'anciennes expériences, que la proportion d'acide succinique et de glycérine est d'autant plus forte que la levure est moins vigou-

reuse, et cultivée dans des conditions moins favorables. D'ailleurs les doses de glycérine formées sont faibles, la quantité moyenne ne dépassant pas 4 grammes par litre de bière, et restant le plus souvent au-dessous de cette limite.

Mécanisme de la fermentation.

Pendant les premières heures qui suivent l'introduction de la levure dans le moût, aucun phénomène extérieur ne se laisse apercevoir. Mais de graves modifications se produisent cependant.

D'abord l'absorption d'azote que nous avons signalée, et un développement considérable de levure; on peut dire que la presque totalité des cellules nouvelles se forme dans les premières heures de la fermentation : on peut s'en rendre compte en suivant la fermentation. Dans un vase de verre, un ballon Pasteur par exemple, avec une levure fermentant par le bas. Avant d'apercevoir un dégagement sensible d'acide carbonique à la surface, on voit se former un abondant dépôt de levure, qui ne s'accroît guère par la suite.

Pendant les premières heures qui suivent la mise du levain, on voit disparaître peu à peu l'oxygène dissous dans le moût. MM. Grenet et Calmette ont suivi cette absorption dans un moût de la brasserie du Tantonville.

Au début, le moût contenait 312 centimètres cubes d'oxygène par hectolitre; il est mis en levain à une température de 6 degrés.

	Volume d'oxygène par hectolitre.
Mise en levain.....	312cc
Après 1 h. 1/2.....	232
— 3 heures.....	162
— 4 h. 1/2.....	110
— 6 heures.....	75
— 9 heures.....	46
— 12 heures.....	0

Cette rapide absorption d'oxygène a une grande importance : elle montre d'abord, comme nous l'avons dit, que l'oxygène est un aliment réel de la levure, ensuite que le développement de la levure a bien lieu dès le début de la fermentation. Mais ce phénomène est surtout intéressant au point de vue des ferments étrangers, puisque la disparition de l'oxygène arrête le développement d'une nombreuse catégorie de ferments, tous ceux que Pasteur a appelés *Aérobies* et qui sont de beaucoup les plus abondants dans les moûts, étant apportés par l'air, ou par les vases et s'introduisant surtout dans le passage au réfrigérant, si celui-ci est ouvert.

Après douze à vingt heures on voit apparaître à la surface du liquide, des îlots de mousse, qui finissent par se refroidir et forment comme un chapeau. Celui-ci se gonfle, augmente de hauteur (*Kraüsen*), et entraîne à la partie supérieure des amas de résine, du tannin, des matières azotées ; qui forment des plaques brunes à la partie supérieure des mousses. C'est pendant cette période que la destruction de sucre est la plus énergique : en même temps, une élévation considérable de température se manifeste.

La destruction de sucre se ralentit peu à peu, les kraüsen s'affaissent et en les écartant, la surface du

liquide paraît noire; la levure, qui était d'abord en suspension dans le liquide, se rassemble peu à peu, et en prenant de celui-ci dans un petit verre, on voit se déposer rapidement les matières en suspension, en laissant un liquide clair.

La fermentation porte d'abord sur le maltose libre, seul, puis sur les maltodextrines des types les plus bas. A vrai dire, on ne peut apercevoir de fin de la fermentation, celle-ci se ralentit peu à peu, à mesure que la levure est obligée d'attaquer des maltodextrines de types plus élevés, mais entre la fermentation principale et la fermentation dite complémentaire, il n'y a pas de ligne de démarcation nette; le seconde est la suite de la première, et s'il y a ralentissement cela tient, non à un affaiblissement de la levure, mais aux propriétés des maltodextrines; si en effet l'on ajoute à une bière dont la fermentation est devenue très lente, un peu de maltose ou de moût, on voit le dégagement d'acide carbonique reprendre avec une nouvelle vigueur.

Races de levure.

On peut distinguer, comme nous l'avons dit, deux grandes catégories, d'une part les levures dites *de culture*, ou bonnes levures, qui sont capables de fermenter un moût, et de fournir une bière claire et buvable, et d'un autre côté les levures *sauvages* ou de maladie, impropres à la fabrication, soit par ce qu'elles troublent la bière, ou qu'elles lui donnent un mauvais goût, ou qu'elles ne puissent fermenter suffisamment des matières sucrées du moût.

Cette distinction est particulière à la brasserie ; en

effet, on considère pour la bière, comme levures sauvages, des levures de vin, existant sur les raisins et sur les fruits mûrs et qui sont capables de donner même des vins estimés ; beaucoup de ces levures donnent en effet à la bière une saveur fruitée, inacceptable, ou bien se développant après une première fermentation, elles provoquent un trouble dans la bière déjà clarifiée. Nous avons indiqué sous le nom de *Saccharomyces Pastorianus*, et *Saccharomyces ellipsoideus*, deux espèces de levures sauvages ; mais il existe pour ainsi dire une infinité de telles levures, et Hansen a même avancé que deux levures de cultures étant mélangées, l'une d'elles pouvait donner des troubles tout comme une levure de maladie ; ce fait paraît cependant exceptionnel, puisque dans l'immense majorité des brasseries, on emploie des levures mixtes.

Les levures de culture se divisent elles-mêmes en deux groupes, répondant chacun à un genre de fabrication, savoir les levures *hautes* et les levures *basses*. Ces deux groupes ne diffèrent pas sensiblement comme composition, mais tandis que la levure haute ne fermente que très péniblement au-dessous de 8 à 10°, et donne son énergie maxima vers 15 à 18°, la levure basse fermente très activement encore à 3° et donne quand la température s'élève à 12 ou 15° un goût particulier, désagréable, dit goût de chaud.

Une autre différence importante se manifeste : la levure haute monte à la surface du liquide et forme une couche épaisse jaunâtre ; tandis que la levure basse tombe au fond des cuves ; la fermentation haute se termine en cinq jours au plus, et peut même ne durer que quarante-huit heures, tandis que les levures basses

n'achèvent leur action qu'après dix à douze jours, quelques-unes même quinze jours.

Il paraît impossible jusqu'ici de transformer une levure haute en basse ou inversement; on peut bien faire fermenter une levure basse à température élevée 15 à 18° et même 25°, mais elle continue à se déposer au fond des cuves, et elle donne, comme nous l'avons dit, un goût de *chaud* à la bière. On a beau continuer les générations à une même température, on n'obtient pas de levure à la surface.

Pour les levures hautes, on en trouve souvent un peu au fond du liquide, et même dans certains moûts très dextrineux; la levure ne monte presque pas, mais il suffit de la remettre dans un moût de composition convenable, pour voir réapparaître la levure de surface.

Nous ignorons jusqu'ici à quoi il faut attribuer cette différence de manière d'être ; la composition du moût, qui paraît, d'après le fait que nous venons de citer, avoir une certaine influence, ne suffit pas pour fournir une explication satisfaisante, puisque deux levures, l'une haute, l'autre basse étant ensemencées dans le même moût, la haute se récolte à la surface, la basse au fond du vase.

Cette différence est du reste la plus caractéristique, car même à température basse la levure haute peut fermenter, mais beaucoup plus difficilement.

Dans chacun des groupes, levure haute et basse, figurent un nombre considérable d'espèces, et l'on peut même dire que chaque brasserie possède après quelque temps, une ou plusieurs races particulières, provenant de l'adaptation au milieu. On distingue ces races par l'atténuation qu'elles donnent, par la clarification, les

phénomènes extérieurs de la fermentation, et par le bouquet qu'elles communiquent à la bière.

Les levures de brasserie sont en général des levures mixtes, toutefois comme ces levures présentent assez souvent des variations dans leurs effets, et que le changement de levain par emprunt à une autre brasserie nécessite une nouvelle adaptation, et change d'une façon sensible le caractère de la bière au moins au début, on a songé à utiliser pour la fermentation une levure de race unique, qu'on peut conserver toujours identique à elle-même, et pour laquelle, par conséquent, le changement de levain n'aura plus d'inconvénient puisqu'il se bornera à substituer à une levure souillée de ferments étrangers, la même levure, mais absolument pure.

Levures pures. — *Procédé Pasteur.* — Pasteur a d'abord étudié cette question, et il avait proposé pour obtenir des levures pures, ou pour purifier les levures industrielles, une série de cultures dans un moût additionné d'acide tartrique. Cette méthode, si elle permet d'éliminer les bactéries, ne présente guère de sécurité pour les levures de maladie, puisque celles-ci s'accommodent au moins aussi bien que les levures de culture, du milieu tartarisé. De plus l'emploi de l'acide tartrique n'assure en aucune façon l'isolement d'une race unique, et il ne garantit pas non plus que la levure finale possédera la même composition d'espèces utiles que la levure primitive. On peut donc craindre qu'après la purification, la levure ne soit pas identique à la levure d'où l'on est parti, que certaines espèces aient pris le pas sur les autres, et que l'on ait changé l'atténuation et le bouquet de la bière. Enfin il n'y a aucune certitude

que la purification conduise chaque fois au même mélange, d'où la probabilité de variations fréquentes dans le caractère de la bière. C'est là un point fort ennuyeux, chaque brasserie tenant, avec raison, à produire une bière aussi égale que possible.

Méthode Hansen. — Hansen, qui a mis en lumière les inconvénients de l'acide tartrique, chercha dans une autre voie en disséminant dans une goutte de moût de bière gélatinée 15 à 20 cellules de la levure à étudier, et plaçant cette goutte sous une lamelle de verre quadrillé et numéroté, qui forme le couvercle d'une petite chambre, contenant une goutte d'eau; on peut examiner au microscope le moût gélatiné et repérer à l'aide du numérotage des quadrillages, la position de chaque cellule. La présence de la goutte d'eau dans la chambre rend possible le développement de chaque cellule dans le moût gélatiné, et au bout de quelques jours, on voit apparaître, visibles à l'œil nu, un certain nombre de colonies ou taches de levure, chacune d'elles provenant d'une cellule unique, et constituant par suite, sûrement une race unique.

Si l'on ensemence alors chacune de ces colonies dans du moût stérilisé, et que par une série de cultures dans des quantités de moût de plus en plus grandes, on arrive à produire quelques centaines de grammes de levure, on aura une série de races provenant du levain primitif. On élimine tout d'abord celles qui appartiennent aux levures sauvages, et parmi les autres, on en choisit une qui, par son atténuation, son bouquet, sa clarification, se rapproche le plus de la levure industrielle d'où l'on est parti.

Cette levure, de race unique, doit être maintenant

propagée, de façon à obtenir une quantité suffisante pour mettre en levain, une cuve de la brasserie, soit en moyenne 30 hectolitres. La propagation se fait en deux phases et à l'aide d'appareils assez différents dont il existe maintenant un grand nombre de types.

Appareil Hansen. — Un premier procédé se base sur l'emploi de l'appareil Hansen, qui donne assez de levure pour ensemencer directement 8 hectolitres de moût. L'appareil Hansen se compose de deux parties, un réservoir à moût[D] et un cylindre de fermentation[C] (fig. 64).

Le réservoir à moût porte un serpentin permettant de faire bouillir et de stériliser le moût versé dans le récipient; il est placé d'habitude un peu au-dessus du cylindre à fermentation, avec lequel il communique. Le réservoir à moût peut être refroidi extérieurement par des affusions d'eau froide et amené à 8 ou 10°, et on peut y injecter de l'air filtré.

Le cylindre de fermentation, en cuivre étamé, possède un couvercle qui laisse passer la tige d'un agitateur, n'exerçant son action qu'à la partie inférieure du cylindre. Un tube partant du couvercle, plonge dans un vase plein d'eau, à travers laquelle se dégagera l'acide carbonique. Un tube de niveau communique à sa partie supérieure avec un filtre à coton, par lequel on peut faire pénétrer de l'air filtré dans le cylindre. Enfin une tubulure placée vers le milieu du cylindre permet le chargement de la levure. A la partie inférieure du cylindre, deux robinets, l'un à 10 centimètres du fond pour l'écoulement de la bière, l'autre, disposé à ras du fond, permettra de recueillir la levure.

Comme organes accessoires, une pompe à air et un réservoir pour l'air comprimé.

Les filtres qui surmontent le tube de niveau pour le cylindre et le tube d'injection pour le réservoir à moût sont des cylindres en métal de 20 à 25 centimètres de lon-

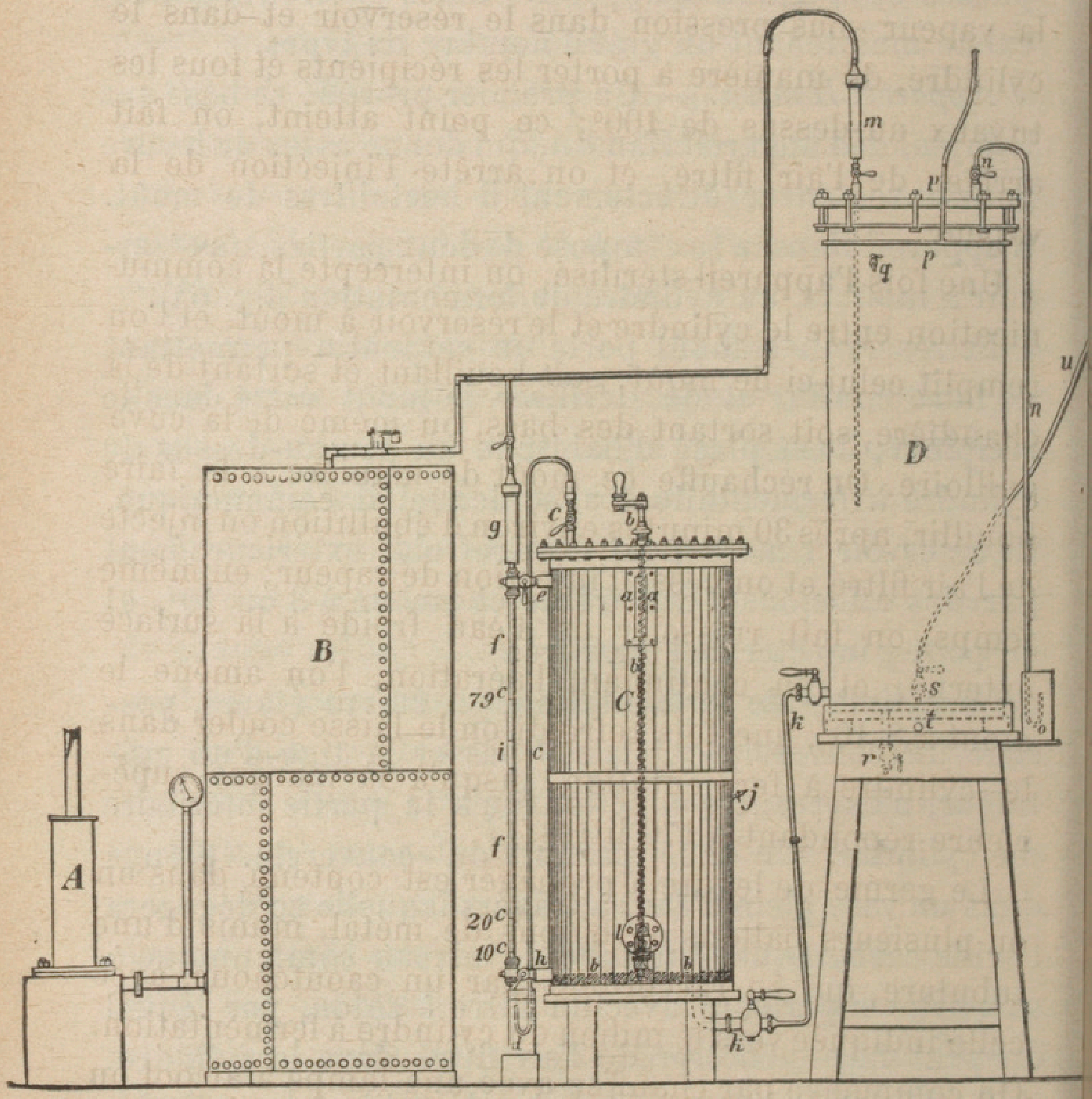


Fig. 64. — Appareil à propager la levure construit par Hansen et Kühle.

A. Jörgensen. — Microorganismes de la fermentation.

gueur, de 3 centimètres de diamètre, ils sont remplis de coton tassé, 35 grammes environ par filtre, et avant l'emploi on les stérilise en les chauffant à 180 degrés.

On interpose en général un filtre en coton entre le réservoir à air et les appareils pour salir moins vite les deux petits filtres ci-dessus indiqués.

Avant toute opération, on commence par injecter de la vapeur sous pression dans le réservoir et dans le cylindre, de manière à porter les récipients et tous les tuyaux au-dessus de 100°; ce point atteint, on fait arriver de l'air filtré, et on arrête l'injection de la vapeur.

Une fois l'appareil stérilisé, on intercepte la communication entre le cylindre et le réservoir à moût, et l'on remplit celui-ci de moût; soit bouillant et sortant de la chaudière, soit sortant des bacs, ou même de la cuve guilloire. On réchauffe ce moût de manière à le faire bouillir, après 30 minutes environ d'ébullition on injecte de l'air filtré et on cesse l'injection de vapeur; en même temps, on fait ruisseler de l'eau froide à la surface externe, et en continuant l'aération, l'on amène le moût à 8-10°; une fois refroidi on le laisse couler dans le cylindre à fermentation, jusqu'à la marque supérieure répondant à 170 litres.

Le germe de levure à propager est contenu dans un ou plusieurs ballons ou bidons de métal, munis d'une tubulure, qui se raccordent par un caoutchouc, avec celle indiquée vers le milieu du cylindre à fermentation. On commence par chauffer avec une lampe à alcool ou un bec de gaz le col du ballon, on enlève rapidement la baguette qui ferme la tubulure latérale, le tout en chauffant le col, on fait écouler la presque totalité de la bière. On introduit alors avec les mêmes précautions 1/2 à 3/4 litre de l'eau contenue aussi dans un ballon Pasteur et stérilisée par ébullition, on agite le bidon

pour mettre la levure en suspension, et enlevant le caoutchouc de la tubulure latérale, on engage celle-ci dans la petite tubulure du cylindre à fermentation. On y fait ainsi passer la levure, on répète cette opération, avec un nombre de bidons représentant 40 litres de moût environ; à chaque changement de bidon, il faut avoir soin de passer dans la flamme la petite baguette de verre ou de métal qui ferme la tubulure de chargement du cylindre, et de l'enfoncer de suite dans le caoutchouc qui garnit cette tubulure.

Une fois la levure introduite, on met l'agitateur en mouvement et on laisse fermenter complètement, le temps nécessaire varie bien entendu avec la température du local.

Avant de retirer la levure, on commence par remplir de nouveau le réservoir à moût, le stériliser et l'aérer et le refroidir; on laisse déposer au moins une heure.

Ceci fait, on ouvre le robinet du cylindre situé à 20 centimètres du fond, et on laisse écouler la bière, en envoyant de l'air filtré; lorsque le niveau du liquide est à quelques centimètres du fond, on introduit du moût, on met l'agitateur en marche pour mélanger la levure, et on tire celle-ci dans un récipient stérilisé à la vapeur, en se servant du robinet inférieur. On remet encore du moût jusqu'à 10 centimètres du fond et après agitation, on le fait encore couler dans le récipient qui a reçu déjà la première partie de la levure.

Comme le cylindre contient encore de la levure, il suffit de le remplir à nouveau, avec le moût contenu dans le réservoir pour faire repartir la fermentation.

On obtient ainsi la levure délayée dans 50 litres de moût, on l'ajoute à 8 hectolitres de moût, contenus

dans une petite cuve. Une fois la fermentation en pleine marche, on déverse cette cuve dans une plus grande contenant déjà 8 hectolitres, ce qui donne 16 hectolitres en fermentation. Ceux-ci suffisent alors à mettre en levain 16 autres hectos, c'est-à-dire que l'on a une cuve de 32 hectos en fermentation. On laïsse la fermentation marcher comme d'habitude.

Appareils non continus. — L'appareil continu de Hansen donne d'excellents résultats entre les mains d'une personne soigneuse sachant les précautions à prendre pour éviter une infection, mais son prix est élevé, et, confié à des ouvriers peu au courant, il peut s'infecter aisément. De plus cet appareil ne fournit pas assez de levure pour ensemencer une cuve moyenne, et l'on est obligé d'achever la propagation dans des cuves quelconques.

Comme d'ailleurs les chances d'infection pendant cette dernière propagation sont minimes, puisque la levure est sans cesse en fermentation très active, on a songé à partir d'un pied de levain moins considérable, qui pourrait être fourni par un laboratoire et fabriqué dans des bidons analogues aux bidons Pasteur (fig. 65) de manière à avoir sûrement quelques centaines de grammes de levure réellement pure, en étant débarrassé de la surveillance d'appareils compliqués et dégrevé du prix d'achat d'un propagateur continu.

On procède alors de la façon suivante; supposons qu'il s'agisse de cuves à fermentation de 30 à 35 hectolitres; on prépare une cuve de 5 hectos environ, A, et une autre de 18 hectos, B; ces cuves doivent être vernies à neuf, passées à la vapeur, et maintenues tout à fait propres et parfaitement étanches.

Dans A, on met 100 à 150 litres de moût et l'on y délaye la levure pure envoyée ordinairement liquide par les laboratoires, et en quantité de 6 à 800 grammes; à cette dose, la fermentation part rapidement; dès que

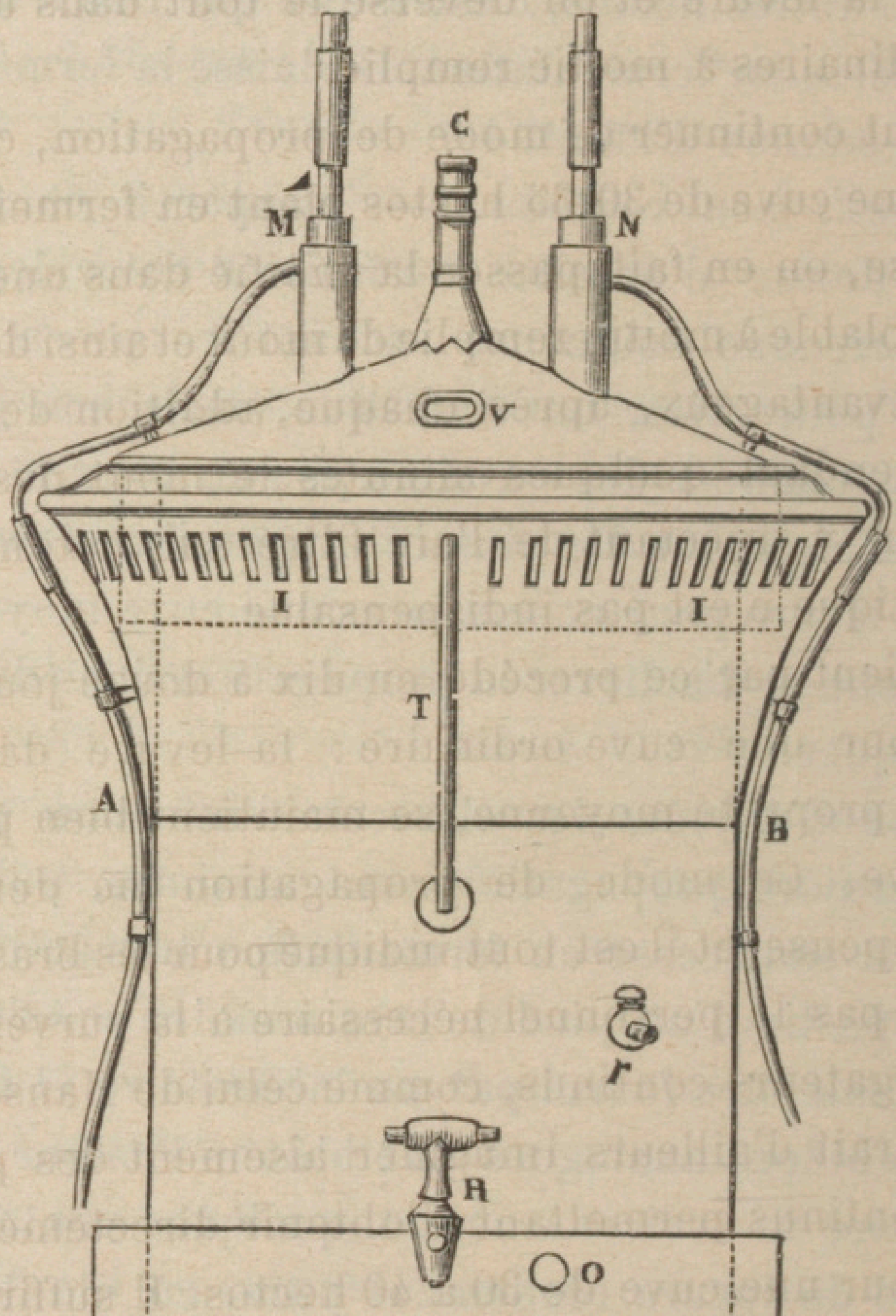


Fig. 65. — Appareil de Pasteur pour le refroidissement et la fermentation de la bière.

l'on aperçoit des mousses couvrant la surface, on ajoute encore 1 hecto de moût, et après agitation on attend l'apparition de nouvelles mousses pour charger encore 2 hectolitres. Lorsque les 4 hectolitres de A sont en fermentation mousseuse, on agite pour bien mélanger

et on verse dans B, contenant déjà 4 hectolitres de moût; les 8 hectos ne tardent pas à fermenter à leur tour, on ajoute 8 hectos de moût, et au bout de quelques heures, on a 16 hectos en pleine fermentation; on mélange la levure et on déverse le tout dans une des cuves ordinaires à moitié remplie.

On peut continuer ce mode de propagation, c'est-à-dire qu'une cuve de 30-35 hectos étant en fermentation mousseuse, on en fait passer la moitié dans une autre cuve semblable à moitié remplie de moût et ainsi de suite.

Il est avantageux, après chaque addition de moût, d'aérer pendant quelques minutes le moût des cuves A et B, en y injectant de l'air filtré sur coton, mais cette pratique n'est pas indispensable.

On obtient par ce procédé en dix à douze jours, un levain pour une cuve ordinaire : la levure dans des moûts de propreté moyenne, se maintient bien pure et très active. Ce mode de propagation ne demande aucune dépense, et il est tout indiqué pour les brasseries qui n'ont pas le personnel nécessaire à la surveillance des propagateurs continus, comme celui de Hansen.

On pourait d'ailleurs imaginer aisément des propagateurs continus permettant d'obtenir directement des levains pour une cuve de 30 à 40 hectos. Il suffirait de grouper une série de cuves à fermeture hydraulique, avec chauffage à la vapeur pour y stériliser du moût; on pourrait même simplifier en y stérilisant seulement un peu d'eau, et y faisant arriver le moût bouillant de la chaudière. Chaque cuve posséderait alors un appareil à injection d'air filtré, un agitateur, et pourrait être refroidie soit par un serpentin intérieur, soit par arrosage sur la surface externe.

Concevons que l'on possède des cuves de 2 hectos, 4 hectos, 8, 16 hectos, la première cuve étant chargée avec 6 ou 800 grammes de levure que l'on peut obtenir dans un laboratoire, la levure produite servira à charger la cuve de 4, la récolte de celle-ci la cuve de 8 hectos, etc. Si l'on monte une batterie ainsi composée, l'on pourra obtenir chaque 12 jours environ, un levain pur pour 30 à 35 hectos; bien entendu, il faut recharger immédiatement la première cuve après l'avoir vidée.

Température. — Un point important pour qu'une levure pure réussisse en pratique, c'est la température à laquelle s'effectue la propagation. Dans la plupart des laboratoires, les levains sont cultivés à une température assez élevée, 15° environ, même pour les levures basses.

Si l'on transporte un levain ainsi obtenu dans du moût à 6° par exemple, la fermentation partira très lentement et sera peu énergique, la levure se déposera mal, si c'est une levure basse, ou montera incomplètement si elle est haute.

Il faut avoir soin de ramener peu à peu la levure de la température à laquelle elle a été cultivée, au point habituel, 6° environ; il est nécessaire pour cela que le laboratoire, en envoyant le levain indique de quelle température l'on doit partir, c'est ce que l'on fait toujours au laboratoire de Nancy. Supposons que l'on donne comme point de départ 12°, on laisse le levain dans du moût à 12°, le premier moût que l'on recharge, ramène la température à 10° environ; la température s'abaisse à 8-9° au troisième chargement, à 7-8 au quatrième, et enfin à 6-7 au cinquième et dernier. On est ainsi ramené à la température habituelle de mise en levain,

sans que la levure ait été gênée par un brusque refroidissement.

Levures pures du commerce. — On voit souvent annoncer de la levure prétendue pure à des prix, dérisoires comme 2 francs le kilog de levure pressée. Il ne faut pas incriminer les levures pures, quand celle achetée à un tel prix donne de mauvais résultats, parce que la préparation de levains purs, avec toutes les précautions qu'elle exige, ne permet pas un prix de vente aussi bas, et d'ailleurs, on ne peut avoir de garantie qu'en s'adressant à une station ou à un laboratoire de brasserie où la production puisse être faite sous le contrôle de personnes expérimentées.

Levures mixtes. — Les levures pures suivant la méthode de Hansen, telles qu'elles sont préparées à Copenhague, Munich, Nancy, sont de race unique, puisque, comme nous l'avons dit, on les obtient en partant d'une seule cellule. Dans la fermentation basse, les levures de race unique, ont donné à peu près constamment de bons résultats, soit comme goût, soit comme clarification et comme conservation.

Pour les levures hautes, il y a eu d'assez nombreux insuccès, attribuables, à ce qu'il semble, à un choix moins soigné des espèces, une fois l'isolement d'un certain nombre de cellules effectuées ; le laboratoire de Nancy possède plusieurs levures hautes qui ont donné de bons résultats, chaque fois que la propagation a été faite convenablement, et avec des moûts normaux.

Toutefois, en Belgique et même en Angleterre, on a été moins heureux, et l'on a reproché, à tort selon nous, aux levures pures et hautes de ne pas donner de fermenta-

tion complémentaire. Quoi qu'il en soit, M. Van Laer, considérant ces insuccès, et remarquant que les levures acclimatées, dans la plupart des brasseries, étaient des mélanges de plusieurs races, a eu l'idée de composer par le mélange en proportions déterminées d'un certain nombre de races pures, des levures mixtes, que l'on propage tout à fait comme les levures pures de race unique.

Les levures mixtes de M. Van Laer sont introduites en pratique depuis trop peu de temps, pour que l'on puisse actuellement se former sur leur valeur une opinion ferme ; elles ont leurs partisans et leurs détracteurs. Le reproche principal que ceux-ci leur adressent c'est qu'un mélange de plusieurs races ne conserve plus après quelques générations la même composition, certaines races diminuant et finissant même par disparaître, tandis que d'autres prédominent.

Le procédé de M. Van Laer s'inspire du reste, à ce qu'il semble, de l'ancien procédé de purification des levures industrielles, qui consistait à débarrasser simplement celles-ci de bactéries, de moisissures, de mycoderme et de levures sauvages, et à propager la levure ainsi nettoyée comme une levure pure. On peut arriver ainsi à respecter entièrement la composition du levain industrie, tandis qu'en mélangeant des proportions déterminées de cultures de levures pures appartenant à plusieurs races, l'on n'est nullement certain de reproduire la levure primitive, ni d'assurer sa conservation.

Mise en levain. — La levure est employée soit à l'état liquide, soit pressée; il est difficile d'évaluer exactement ce que représente comme levure pressée,

un litre de levure liquide, puisque celle-ci peut contenir des quantités d'eau très variables ; aussi considérons-nous le cas de la levure pressée.

On compte ordinairement 300 grammes de levure pressée par hectolitre de moût, mais beaucoup de brasseurs n'emploient que 250 grammes et même 200 grammes.

Il semble qu'il y ait avantage à donner une forte dose de levure ; en effet pendant le temps qui s'écoule entre l'arrivée du moût en cuve et le départ de la fermentation, le moût est livré sans défense aux bactéries, levures sauvages, et même moisissures qu'il a pu récolter au réfrigérant, dans la cuve guilloire et dans l'air. Dès que la fermentation commence à se manifester par des bulles abondantes, il se produit au-dessus de la cuve une couche d'acide carbonique qui sert de défense contre les bactéries aérobies contenues dans l'air. De même la levure ayant commencé la destruction des matières sucrées, a déjà fourni son développement ; les cellules jeunes et vigoureuses sont réparties dans toute la masse du liquide et absorbent tout ce qui est assimilable sans rien laisser comme aliments aux ferments étrangers. Les bactéries aérobies, se trouvant dans un milieu privé d'oxygène et en présence de cellules de levures abondantes et vigoureuses, ne peuvent subsister.

Quant aux anaérobies, il en existe peu ou pas dans le moût lui-même, puisqu'il est oxygéné à son arrivée dans les cuves à fermentation ; lorsque l'oxygène ayant été absorbé par la levure, les anaérobies se trouvent dans des conditions meilleures, ils ne peuvent se développer beaucoup, à cause de la concurrence des

cellules de levure plus nombreuses et plus énergiques. On doit donc considérer comme recommandable l'emploi d'une quantité de 300 grammes levure pressée par hecto, et l'on peut sans inconvénient la porter à 350 et même 400 grammes.

L'augmentation de la dose de levain, paraît surtout avantageuse en été, puisque à la saison chaude le nombre de ferments étrangers existant dans l'air est bien plus considérable et les chances d'infection elles-mêmes plus grandes.

Traitement de la levure. — On emploie généralement comme levain, la levure provenant d'une fermentation précédente ; lorsqu'elle a été pressée, on la délaye dans un peu de moût, de manière à la répartir également pour les diverses cuves à fermentation. Comme l'oxygène est très favorable à l'activité de la cuve, il est bon d'aérer fortement le moût contenant la levure. Dans quelques brasseries, l'on se contente de verser à plusieurs reprises le moût et la levure d'une certaine hauteur et d'un baquet dans l'autre; cette opération produit aussi une aération.

On peut employer aussi une sorte de turbine, qui élimine les matières étrangères en même temps que la levure est traversée par un fort courant d'air, et se transforme en une sorte de mousse. Ce procédé est surtout utilisé quand on part de levure liquide.

Il faut avoir soin dans toutes ces opérations que la levure soit en contact uniquement avec des appareils d'un nettoyage très facile, entièrement démontables, de manière à éviter toute infection. A ce point de vue le procédé d'aération le meilleur pour la levure consiste à y injecter directement de l'air filtré au moyen d'un

tube de métal, perforé comme une pomme d'arrosoir. Après chaque traitement le tube est passé à la vapeur.

Les cuves ou baquets dans lesquels s'effectue la préparation du levain, doivent être après chaque emploi brossés avec soin, leur vernis doit être toujours en parfait état sans fissure aucune, et il est même recommandable de les passer à la vapeur, ou tout au moins de les laver avec une solution d'antiseptique, chlorure de zinc à 1/15, ou bisulfite au 1/10. L'effet de ces antiseptiques sera beaucoup plus complet, si on les laisse séjourner quelques heures dans les récipients, un simple lavage ne pouvant détruire tous les ferments et épargnant ceux qui se trouvent au point d'assemblage du fond et des douves.

Dans quelques brasseries, on ajoute au levain divers ingrédients, les uns préconisant un peu d'alcool, les autres une infusion de houblon, etc. Ces divers produits sont, dans le cas le plus favorable, sans aucune action utile, précisément parce qu'ils sont employés à petite dose ; aussi à cause de l'extrême sensibilité de la levure, on doit se garder de toute substance que l'on conseille d'ajouter à la levure, sous un prétexte quelconque, et si l'on manque à cette règle, on pourra s'estimer fort heureux de ne pas éprouver d'inconvénient à ces traitements plus ou moins bizarres.

Refroidissement des moûts en fermentation. — Pendant la fermentation, il se produit une forte élévation de température, que l'on doit limiter à 2 ou 3°. On y arrive en refroidissant le moût, soit à l'aide de nageurs, soit avec des serpentins.

Les nageurs sont des vases en tôle étamée, formés

d'une partie conique, et d'un bord très évasé, la pointe du cône est lestée avec du plomb, de façon que le nageur soit bien stable. On remplit ces appareils de glace, et grâce à la forme évasée de la partie supérieure, l'instrument flotte encore quand la glace a fondu, l'eau de fusion ne formant qu'une couche de peu d'épaisseur.

Les nageurs sont encombrants, difficiles à manier, aussi la plupart des brasseries le remplacent-elles par

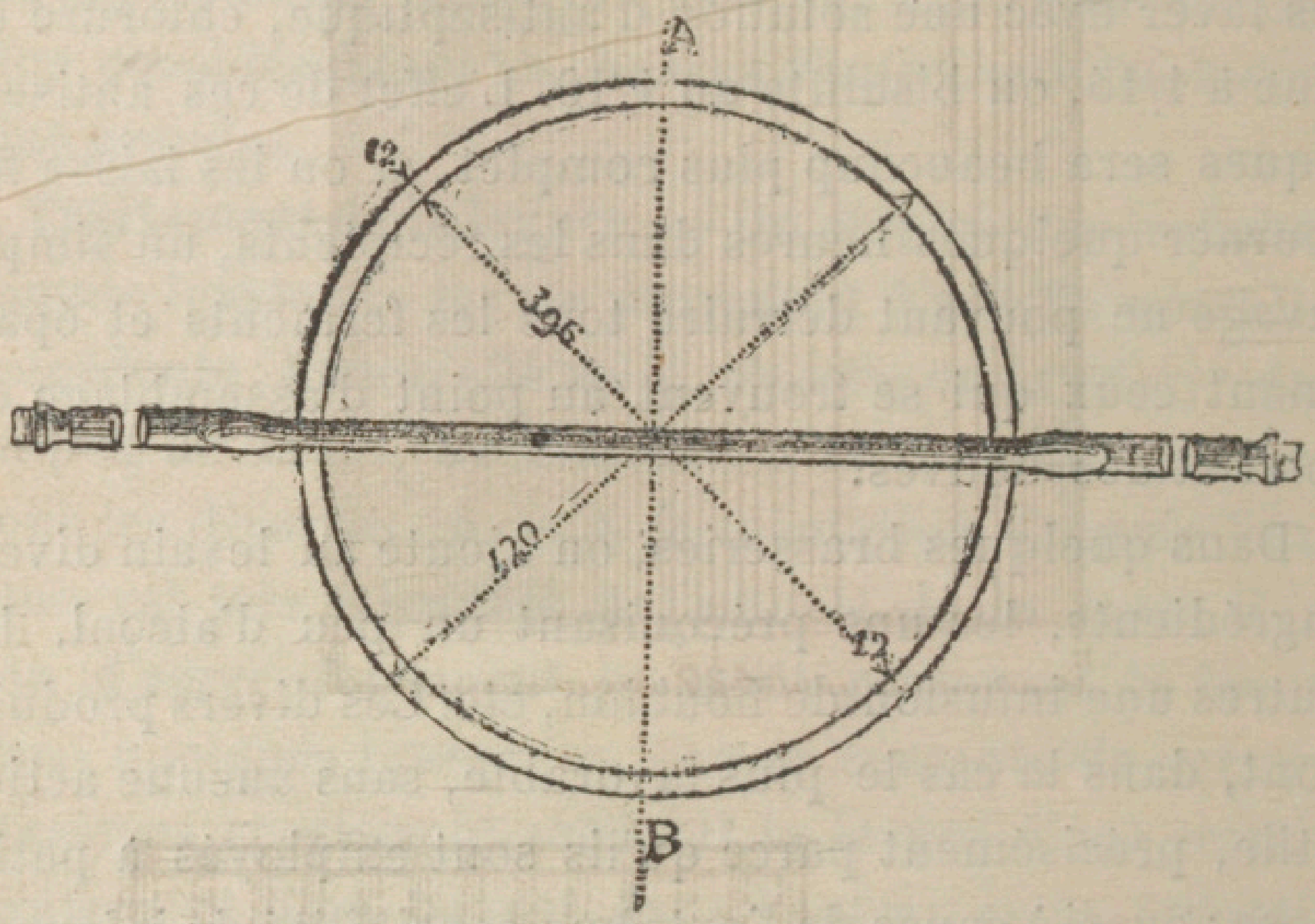


Fig. 66. — Réfrigérant pour cuve (les fils de Ch. Munier à Nancy).

des serpentins en cuivre étamé, dans lesquels on fait circuler de l'eau glacée, celle-ci est formée facilement par la machine frigorifique, si l'on en possède une ; sinon, on peut préparer l'eau glacée, à l'aide d'un bac, dans lequel on maintient de la glace, et que l'on remplit d'eau, une pompe fait circuler cette eau dans les serpentins, et la ramène ensuite au bac.

Les figures 66 et 67 représentent l'appareil de MM. Munier, constructeurs à Nancy, et la figure 68 celui de

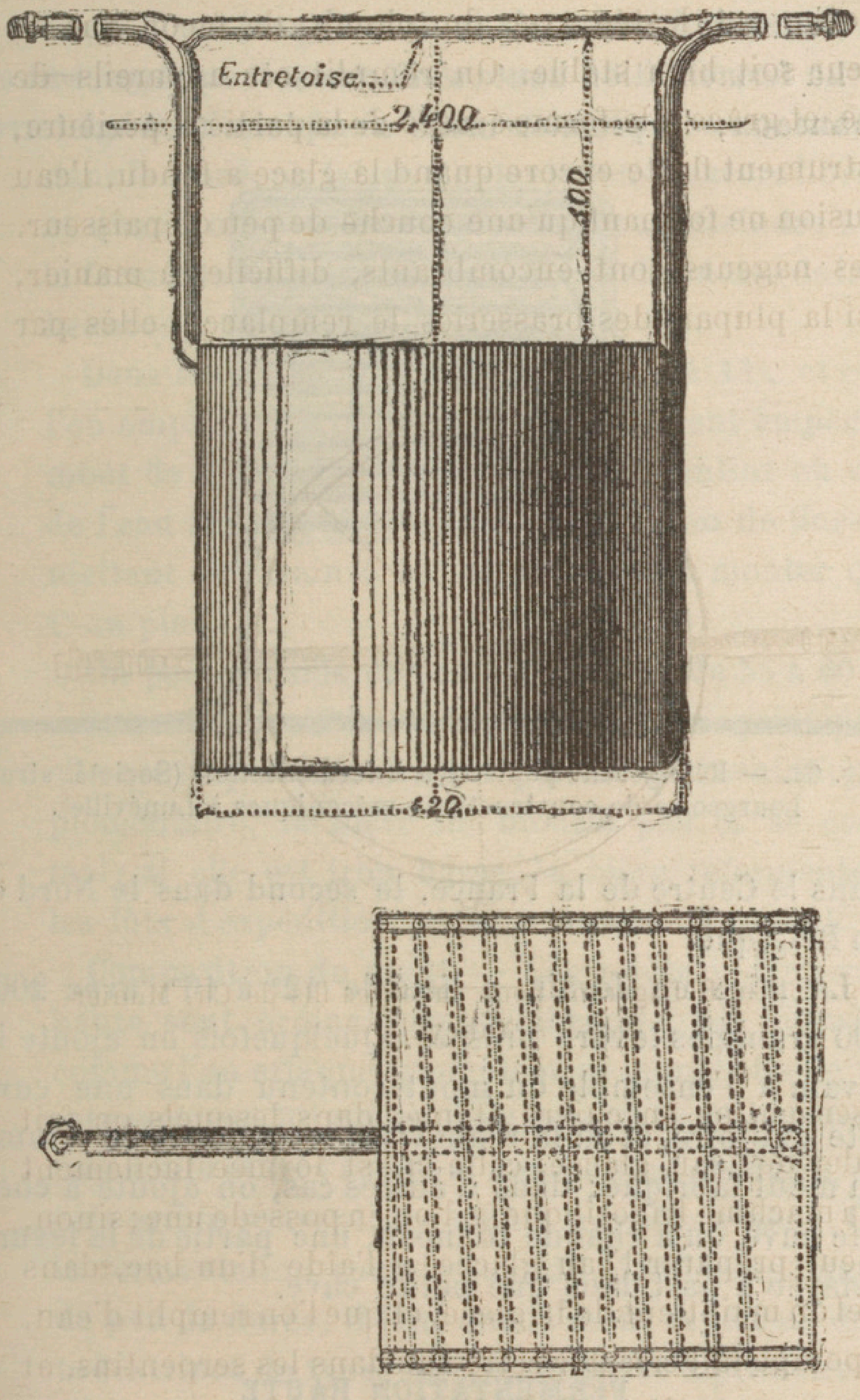


Fig. 67. — Réfrigérant pour cuve à fermentation.

la Société strasbourgeoise de constructions mécaniques à Lunéville.

La fermentation haute s'effectue soit en cuves, soit en tonneaux; le premier mode s'emploie en Angleterre,

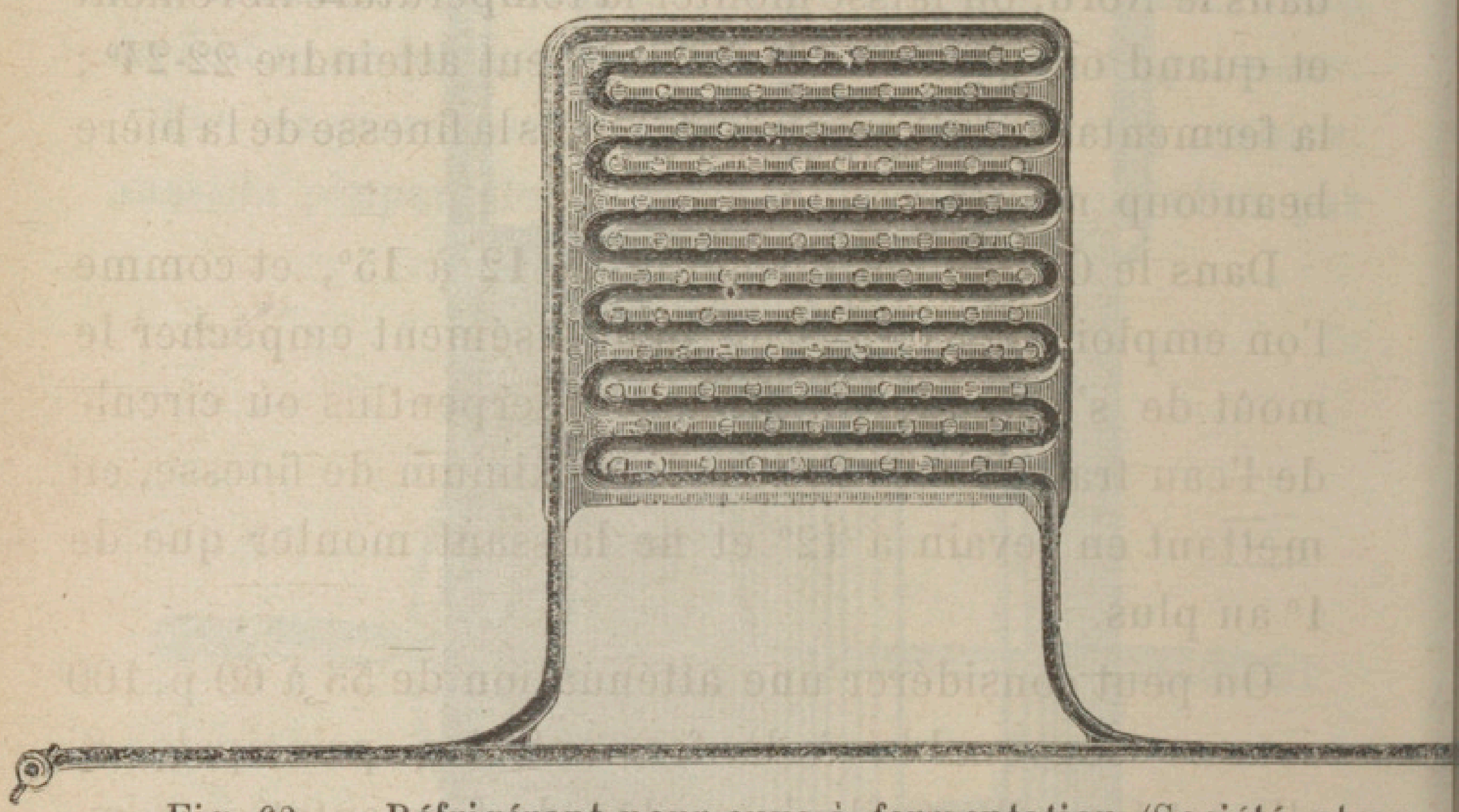


Fig. 68. — Réfrigérant pour cuve à fermentation (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques à Lunéville).

dans le Centre de la France, le second dans le Nord et en Belgique.

La mise en levain a lieu de 12° à 16°, avec 200-300 grammes levure pressée. Quelquefois on ajoute le levain à l'ensemble du moût contenu dans une cuve dite guilloire, et où la régie vient reconnaître le volume du moût fabriqué; dans d'autres cas, on ajoute à chaque cuve ou à chaque tonneau, une partie de la levure délayée à part dans une petite cuve.

FERMENTATION HAUTE

La fermentation haute est généralement de peu de durée; dans le Nord, elle ne dure guère que quarante-

huit à soixante heures, dans le Centre de la France, on la prolonge jusqu'à cinq et six jours, lorsqu'elle a lieu à température assez basse, vers 12 à 13° par exemple,

La conduite de la fermentation est assez variable ; dans le Nord, on laisse monter la température librement et quand on part de 16°-18°, on peut atteindre 22-24° ; la fermentation est très rapide, mais la finesse de la bière beaucoup moins grande.

Dans le Centre, on fermente de 12 à 15°, et comme l'on emploie des cuves, on peut aisément empêcher le moût de s'échauffer, à l'aide de serpentins où circule de l'eau fraîche. On obtient le maximum de finesse, en mettant en levain à 12° et ne laissant monter que de 1° au plus.

On peut considérer une atténuation de 55 à 60 p. 100 comme convenable à la fermentation principale. Si elle est trop élevée il n'y a plus de fermentation complémentaire, la bière ne mousse pas et se conserve mal; si elle est trop basse, la bière refermente dans les fûts d'expédition, et se conserve aussi mal.

Composition du moût. — Les moûts de fermentation haute sont ordinairement fabriqués par infusion, et comme l'on attaque généralement le malt à une température élevée, 70° et plus, il est nécessaire d'avoir des malts très actifs et très sucrés si l'on ne veut produire, comme cela arrive souvent, des moûts trop dextrineux. Comme la fermentation complémentaire des bières hautes est de peu de durée, il faut que le moût renferme des maltodextrines de types bas, et on arrive à produire celles-ci en saccharifiant à une température ne dépassant pas 65-68°. Si l'on fait l'attaque du malt à une température inférieure, 60° par exemple, on obtient des bières dont

l'atténuation est trop forte, dont la mousse ne tient pas; si l'on opère au-dessus, l'atténuation est trop faible, la levure s'affaiblit dans un moût trop dextrineux; il en résulte alors des refermentations violentes, la bière se trouble en bouteilles par suite d'un nouveau développement de levure, et la mousse colle aux parois du verre.

On peut considérer comme un bon travail, une première trempe à 63-68° suivant que le malt est moins ou plus actif; le bouillon est envoyé en chaudière, additionné de 1/4 du houblon, et on le maintient vers 65° jusqu'à l'arrivée de la première trempe de lavage au moins, cette trempe étant faite à l'eau bouillante. On monte lentement à 75°, puis rapidement à l'ébullition; mais on a soin de vérifier que la saccharification est complète avant de dépasser 75°, pour être certain d'éviter un trouble d'empois.

Circonstances qui influent sur l'atténuation.

On peut considérer comme capables de faire varier l'atténuation :

1° **Race de levure.** — Certaines levures peuvent donner des atténuations de 55 et 60 p. 100, d'autres jusqu'à 75 et 80 p. 100. Cette dernière catégorie est représentée surtout par des levures de distillerie, mais on les rencontre assez souvent en brasserie; ces levures ne sont pas recommandables, parce qu'elles laissent une bière tout à fait plate, non mousseuse et de mauvaise conservation. Pour y obvier, on est obligé d'attaquer le malt à température très élevée, et encore ne peut-on

guère descendre l'atténuation à la limite normale de 55-60 p. 100.

2° **Composition du moût.** — Comme les levures n'attaquent à la fermentation principale que le maltose et les maltodextrines de type très bas, plus le moût contiendra de ces deux substances, et plus il s'atténuera. Or on obtient le maximum de maltose libre et de maltodextrines de types très bas, en saccharifiant vers 62°, un malt peu touraillé, à plumule bien développée. On produit au contraire très peu de maltose libre, et beaucoup de maltodextrine en brassant ce même malt entre 68 et 75°. Enfin, le moût contient une forte proportion de maltodextrines de type élevé, en employant un malt fortement touraillé, que l'on saccharifie vers 70°.

Suivant que l'un ou l'autre de ces cas se présentera, on aura avec une même levure divers degrés d'atténuation.

3° **Aération.** — En aérant le moût dans les cuves à fermentation, on augmente l'atténuation ; l'extrait de la bière pouvant diminuer de 0,3 à 0,5 Balling. Cette action se comprend en ce qu'on élimine l'acide carbonique et que l'on accroît la vitalité de la levure.

4° **Température.** — Pour un même moût, et une même levure, l'atténuation est d'autant plus forte que la température est plus élevée et l'écart peut atteindre, en fermentation haute, 8 à 10 p. 100.

Caves de fermentation. — Une température convenable est celle de 10 à 13° environ ; et elle doit être notablement plus basse pour la fermentation en tonneaux, puisque l'on ne dispose alors d'aucun moyen pour refroidir le moût pendant la fermentation. Dans la fermentation en cuves, comme on maintient par réfrigé-

ration directe, le moût à 12-15°, il est inutile que la cave ait une température bien inférieure.

Les caves fraîches sont cependant préférables, parce que les moisissures, le mycoderme et les bactéries, ont alors un développement moins aisé.

Il est indispensable que les caves soient largement ventilées; on y arrive soit par des puits d'aération, quand les caves sont profondes, soit mieux par l'emploi de ventilateurs à air, qui prennent à l'extérieur de l'air aussi pur que possible, recueilli au-dessus des toits, et même filtré si c'est possible, et le refoulent dans la cave. Une cheminée d'appel sert à évacuer l'air, à mesure qu'on l'injecte.

Ce procédé est de beaucoup préférable, aussi bien aux puits d'aération, qu'à la ventilation par aspiration; dans ces deux cas, en effet, l'air qui est appelé arrive par-dessous les portes, par des ouvertures quelconques, et il peut être souillé; avec la ventilation par refoulement, on peut prendre de l'air pur, et le filtrer de manière à n'envoyer dans la cave que de l'air exempt de ferments étrangers.

La bonne ventilation empêche l'accumulation d'acide carbonique, et permet une fermentation régulière, de plus elle évite à la bière un goût particulier bien connu des brasseurs, dont les entonneries sont aérées d'une façon insuffisante.

Les caves de fermentation doivent être maintenues dans un grand état de propreté, il faut laver soigneusement le sol imperméable, avec des liquides antiseptiques, badigeonner les murs à la chaux. On se trouve bien également d'ajouter au lait de chaux un peu de cristaux de soude (carbonate de soude), ce qui intro-

duit dans ce lait de la soude caustique et augmente son pouvoir antiseptique.

Depuis quelques années on rencontre dans un certain nombre de brasseries, des caves dont les murs sont recouverts de vernis émail blanc ; cette matière est imperméable, se lave avec une grande facilité, soit avec de l'eau sous pression, soit avec une brosse, et les murs peuvent ainsi être entretenus dans un grand état de propreté. Ces enduits sont d'ailleurs peu favorables au développement des moisissures, et au cas où celles-ci apparaîtraient, on les aperçoit immédiatement, de sorte que rien n'est plus aisé que de faire disparaître les premiers foyers, sans attendre une infection générale, qu'il est alors très difficile d'éliminer.

Les caves de l'École de brasserie de Nancy, sont munies de cet enduit ou vernis émail, que l'on fabrique maintenant en France et notamment à Nancy.

Fermentation en cuve. — Les cuves sont vernies, et il faut veiller à ce qu'elles soient toujours parfaitement étanches, sans aucune fissure, qui deviendrait un foyer d'infection. Lorsqu'on aperçoit une telle fissure, il faut la boucher avec un peu de gomme laque appliquée avec un fer chaud, et ensuite repasser une couche de vernis à cet endroit.

Les cuves fraîchement vernies doivent être ou passées à la vapeur, ou tout au moins lavées à plusieurs reprises avec de l'eau bouillante pour enlever toute odeur de vernis. Après chaque fermentation, la cuve doit être brossée soigneusement, puis on la badigeonne avec un lait de chaux, ou bien on y laisse séjourner du bisulfite de chaux étendu de huit fois son volume d'eau, ou du chlorure de zinc, étendu de 10 à 15 fois son

volume d'eau. Le chlorure de zinc a sur le bisulfite le grand avantage de ne pas s'altérer, et d'être trois fois plus concentré, ce qui rend son transport moins onéreux ; enfin comme il est inodore, son emploi est beaucoup moins incommode. En dehors de ces trois antiseptiques, auquel on peut encore joindre le sulfate ferrique, aucun des nombreux antiseptiques conseillés et vantés par les annonces, n'est recommandable.

On peut laisser la solution antiseptique ou la chaux séjourner jusqu'à ce que l'on ait de nouveau besoin de la cuve, on la rince alors à l'eau à plusieurs reprises, pour éliminer complètement l'antiseptique qui pourrait exercer une fâcheuse influence sur la levure.

On voit apparaître au bout de quelques heures à la surface du moût une mince couche de mousse fine formant comme une crème ; ensuite la mousse s'épaissit, s'élève, et rejette une grande quantité de résine de houblon ; les mousses montent encore, deviennent plus grossières, et à la surface se forme une couche jaune pâle de levure ; enfin l'écume retombe, et laisse à la surface une épaisse couche de levure.

Il est bon d'écumer les cuves lorsqu'elles rejettent la résine de houblon, pour éviter soit un trouble, soit un goût amer.

Quant à la levure, tantôt on la recueille en bloc, à la fin de la fermentation, tantôt on fait plusieurs écumages, en la ramassant petit à petit.

En n'écumant qu'une fois, on trouve généralement plus de levure au fond de la cuve, et du reste si l'on attend quelque temps avant de recueillir la levure, une partie de celle-ci plonge et se dépose.

Comme nous l'avons dit, la durée de la fermentation peut être beaucoup augmentée si l'on refroidit le moût à l'aide de serpentins, à circulation d'eau.

Lavage de la levure. — La levure écumée est délayée dans de l'eau, que l'on décante avant que le dépôt ne se soit fait complètement pour éliminer les matières étrangères, résine, matières azotées, débris de drèches que la levure a entraînés.

On peut considérer *un seul* lavage comme tout à fait suffisant, et il n'y a aucun intérêt à en faire plusieurs, ni surtout à laisser pendant plusieurs heures la levure en contact avec l'eau, renouvelée ou non. Il y a à cela deux raisons : d'abord l'eau contient en général des bactéries qui viennent souiller la levure. Ensuite, au contact de l'eau, les matières contenues dans les cellules, passent en partie à travers la membrane, et la levure s'épuise, elle donne ensuite des fermentations moins énergiques et se montre moins résistante aux infections. Cet épuisement est naturellement d'autant plus grand que les lavages sont plus nombreux et que la durée de contact avec l'eau est plus longue.

Il faut veiller avec grand soin sur la pureté de l'eau employée au lavage et rejeter absolument toute eau contenant beaucoup de bactéries, surtout celles qui sont capables de vivre dans la bière. Lorsqu'on n'a à sa disposition qu'une telle eau, il faut la faire bouillir, puis, après refroidissement, de préférence dans des vases couverts, l'employer seulement au lavage, et se borner bien entendu à un seul. Dans ce cas, il est bon d'aérer la levure avant la mise en levain.

On recommande parfois d'ajouter à l'eau des antiseptiques, mais ceci est nettement à déconseiller, car ces

agents ne peuvent détruire les germes étrangers sans altérer aussi la levure elle-même.

Après s'être déposée et lavée, la levure est pressée ordinairement ; pour cela on l'introduit pâteuse dans des sacs à tissu serré, que l'on noue fortement et que l'on soumet à l'action d'une presse à vis. On peut aussi utiliser pour cela des filtres-presses, comme ceux employés en distillerie.

Fermentation en tonneaux. — Ordinairement on met en levain tout le moût, dans une ou plusieurs grandes cuves, servant de cuves guilloires, et lorsque les mousses apparaissent, on le fait passer dans les tonneaux. La dimension de ceux-ci est assez variable : tantôt on fait la fermentation dans les tonneaux d'expédition eux-mêmes, tantôt dans des tonneaux ayant de 250 à 600 litres ; dans les deux cas les phénomènes sont d'ailleurs les mêmes, et le traitement ultérieur de la bière diffère seul.

Les fûts sont penchés de façon que la bonde se trouve au-dessus d'une auge, ou d'un caniveau, aboutissant à un bassin, le même pour une série de fûts. Une fois les premières mousses apparues, il s'écoule des fûts une certaine quantité de liquide mêlé de résine, ce que l'on nomme les *amers* de *houblon*. Ce liquide est recueilli, pour être utilisé plus tard. Bientôt la mousse devient de plus en plus compacte, et les fûts commencent à cracher de la levure qui coule le long de leurs parois et tombe dans l'auge ou le caniveau ; pendant cette période, il faut maintenir les fûts constamment pleins ; c'est ce qu'on appelle les *cuiller* et l'on emploie pour cela les amers recueillis précédemment.

Lorsque le dégagement de levure cesse, en général

après vingt-quatre à trente-six heures ; on fait passer les fûts dans la cave de garde.

La levure est recueillie dans les caniveaux ou auges (miniaux) et après lavage, on la presse.

Ce mode de fermentation est très primitif et assez dangereux. D'abord si l'on utilise les fûts mêmes d'expédition, ceux-ci sont rarement très propres ; revenant de chez le débitant avec un reste de bière gâtée, on se contente ordinairement de les laver à l'eau froide, avant de les employer à une nouvelle fermentation, et on ne les traite au goudron ou au vernis qu'une ou deux fois par an. Les bactéries qui s'étaient développées dans le fût avec la bière gâtée ne sont pas détruites et peuvent infecter la nouvelle bière qu'on y fait fermenter.

Les amers qui servent à l'ouillage ont coulé le long des fûts et dans les miniaux, et dans ce trajet ils recueillent toujours une certaine quantité de ferments, car les parois des tonneaux ont été plus ou moins soigneusement lavées, et les miniaux, pour peu que leur relèvement présente des crevasses, sont de vrais foyers d'infection. Comme les amers sont en somme constitués par du moût, ces ferments se développent et cela d'autant plus aisément que la température des caves à fermentation est élevée et atteint souvent 18 et 20°, en réintroduisant les amers dans le moût, on risque encore de l'infecter.

Enfin les mêmes motifs font que la levure elle-même se souille rapidement, et transmet l'infection aux brassins suivants.

Toutes ces raisons font que la fermentation en tonneaux donne naissance à de très nombreux accidents

de fabrication, généralement troubles ou acidification de la bière.

De plus, il est impossible de refroidir le moût pendant la fermentation, de sorte qu'en été on arrive à l'effectuer à des températures bien exagérées, 25 et même 28° comme maximum ; l'opération est alors très rapide, mais aux dépens de la conservation.

En effet, quand la fermentation se fait très vite à température élevée, la levure est rejetée trop tôt et l'atténuation du moût insuffisante ; or les bières sont d'autant plus altérables qu'elles sont moins atténuées, et avec les nombreuses causes d'infection que nous avons signalées, jointes à la conservation par une température assez élevée, ce n'est pas surprenant que les accidents soient nombreux.

Fermentation complémentaire et conservation.

Lorsque la fermentation a eu lieu en tonneaux, on laisse la bière dans les fûts pour achever sa fermentation (fermentation secondaire ou complémentaire), pour se clarifier et se saturer d'acide carbonique ; quand la fermentation a eu lieu en cuve, on soutire la bière dans des foudres ou dans des tonneaux contenus dans une cave de garde. Ces foudres sont généralement de faible volume, 6 à 7 hectos, à cause de la pression qu'ils ont à supporter et de la difficulté qu'il y aurait à se procurer des fûts de grandes dimensions suffisamment solides pour résister à une pression de trois atmosphères.

Les caves de garde des brasseries de fermentation

haute sont à des températures très variables, les unes ayant 6 à 8°, les autres atteignant 13 et même 15°.

Plus la température est élevée et plus les chances d'infection de la bière par les ferments étrangers sont considérables; d'ailleurs la fermentation principale ayant eu lieu déjà à une température qui permet le développement de ces ferments, on peut craindre une infection de deux origines, provoquée soit par des ferments que la bière apporte, soit par ceux que donne les foudres ou l'air des caves. Il est donc désirable que les caves soient fraîches et une température de 12° paraît le maximum de ce que l'on peut accorder pour une fabrication rationnelle.

La fermentation complémentaire est très courte pour les bières de fermentation haute. En hiver, ou lorsque la température des caves est très basse, elle se prolonge cependant quelquefois jusqu'à un mois, mais c'est là une exception et l'on peut admettre que quinze jours sont le maximum observé en pratique. Dans certaines régions, notamment dans le Nord, cette fermentation complémentaire n'a même pas lieu en général à la brasserie, mais chez le débitant lui-même et la bière peut être livrée une semaine après sa fabrication.

Étant données la température élevée des caves, la courte durée de la fermentation complémentaire et la forte dose d'acide carbonique que l'on veut obtenir dans la bière, il faut que cette fermentation soit très énergique, et par suite que le moût renferme seulement des maltodextrines de type peu élevé, riches en maltose, susceptibles de se dédoubler rapidement et assurant un fort dégagement d'acide carbonique.

A vrai dire, lorsqu'on emploie des levures très éner-

giques, ressemblant aux levures de distillerie, on ne peut guère distinguer les deux fermentations ; ce que l'on nomme fermentation complémentaire est seulement la fin de la première, et commence quand la majeure partie de la levure a été rejetée ; l'atténuation pendant cette seconde période est encore très considérable. Lorsque la conservation doit être longue, dans des caves froides, il faut nécessairement que l'atténuation à la fermentation principale soit faible, 48-50 p. 100. Elle s'élève naturellement quand la conservation doit être courte, il est cependant sage de ne pas l'augmenter beaucoup, parce que la courte durée de la deuxième fermentation étant corrélative de la température plus élevée des caves, il y a presque compensation, et on peut considérer 50-55 p. 100 comme l'atténuation convenable pour les bières hautes.

Traitement de la bière avant livraison. — En général, la bière ne se clarifie pas spontanément, et il est nécessaire de recourir à des procédés de clarification plus ou moins complexes : de plus, on doit chercher à y accumuler la plus grande quantité possible d'acide carbonique, pour rendre la bière mousseuse et pour assurer sa conservation. Le traitement de la bière avant livraison doit donc consister en une clarification et une accumulation d'acide carbonique.

Clarification. — Trois procédés sont en usage, savoir :

1° Les clarifiants ;

2° Les copeaux ;

3° Le filtre.

1° *Clarifiants.* — On emploie comme clarifiants des substances analogues à la gélatine, et dont le type est la

colle de poisson; ces matières albumineuses, introduites à l'état dissous, sont précipitées par le tannin encore contenu dans la bière, et forment alors un fin réseau qui englobe toutes les matières en suspension.

On peut effectuer le collage soit *par le haut*, soit *par le bas*. Dans ce premier cas, le réseau de matières gélatineuses coagulées est rejeté par la bonde du tonneau, grâce au dégagement de l'acide carbonique; ce collage ne peut donc réussir qu'avec les bières vives, c'est-à-dire encore en fermentation active et à condition que les tonneaux soient bien remplis. On l'utilise toutefois même pour les bières qui ne fermentent plus guère en leur ajoutant des kraüsen, c'est-à-dire du moût en fermentation énergique.

On emploie ordinairement des peaux de raies que l'on met d'abord gonfler dans l'eau et que l'on triture avec de l'eau, on tamise et on ajoute de l'acide tartrique, de manière à obtenir une dissolution opalescente, qu'on ajoute à la bière. On ferme la bonde et on roule le fût, pour activer le dégagement d'acide carbonique, on ouvre de nouveau la bonde, et le tonneau crache les matières coagulées avec celles qui étaient en suspension.

Dans le collage par le bas, le réseau de matières azotées coagulées se précipite au fond du tonneau et forme avec la levure déjà tombée un dépôt assez compact pour ne pas se remettre en suspension, quand on déplace le tonneau avec précaution ni surtout quand on le met en perce. Dans ce procédé, la bière reste comme on dit sur les lies et sur la levure de sorte qu'elle peut continuer à fermenter faiblement et rester mousseuse; lorsque le traitement est fait dans les fûts

d'expédition, ceux-ci sont alors additionnés de colle, puis transportés chez le débitant, qui les bonde suivant le degré de mousse à obtenir.

On peut préparer soi-même la matière destinée au collage par le bas, en faisant tremper pendant une nuit de la colle de poisson dans l'eau, ensuite on la malaxe à la main avec quarante à cinquante fois son poids d'eau, et on jette sur un tamis la bouillie claire obtenue. Au liquide qui traverse le tamis on ajoute un peu d'acide tartrique pour favoriser la dissolution de la colle; chaque litre du liquide opalescent ainsi obtenu peut servir à coller 200 à 250 litres de bière; cette colle préparée se putréfiant très rapidement, on peut, pour la conserver quelque temps, lui ajouter un peu de bisulfite, environ 20 grammes par litre; mais la putréfaction ne tarde pas plus d'une semaine ou deux.

Il faut bien remarquer que le collage, soit par le haut, soit par bas, est causé par l'action du tannin en dissolution, dans la bière sur les matières gélatineuses; or, le tannin n'existe plus qu'en très faible proportion et ne peut, par suite, coaguler qu'une très petite quantité de gélatine; toute la gélatine non précipitée reste en solution dans la bière et comme elle est très altérable, elle rend la bière beaucoup moins solide et plus sujette aux infections bactériennes. On doit donc encore ne mettre qu'une très petite dose de colle, 2 grammes environ de colle sèche par hectolitre.

La colle de poisson, préparée comme nous venons de le dire, donne des résultats très satisfaisants, et tout aussi bien qu'un grand nombre de produits très vantés dans le commerce et qui sont vendus jusqu'à cent fois leur valeur réelle; pour n'en citer qu'un seul, certain

clarifiant contenant 50 grammes de colle de poisson par litre, avec un peu d'acide tartrique et de bisulfite, est vendu 6 francs le litre.

2° *Copeaux*. — L'action des copeaux est entièrement physique. Ce sont de longs copeaux de noisetier ou quelquefois de hêtre, dont on remplit les tonneaux. Avant l'emploi, les copeaux doivent être bouillis avec de l'eau ou passés à la vapeur, puis rincés jusqu'à ce que l'eau soit incolore et n'ait plus aucun goût.

La bière en contact avec cette grande surface laisse déposer bientôt toutes les particules en suspension qui forment sur les copeaux comme un enduit. Il faut avoir soin, en soutirant la bière, de ne pas remuer le tonneau, sans quoi toutes les matières se remettent en suspension.

Les copeaux doivent être nettoyés avec le plus grand soin chaque fois qu'ils ont servi; faute de cette précaution, une fermentation acétique s'y déclare et infecte la bière versée de nouveau sur les copeaux. La difficulté du nettoyage provient de la porosité du bois, les ferments pénétrant dans les fibres et résistant aux lavages; il ne faut donc pas se contenter de faire tremper les copeaux dans l'eau, après les avoir brossés plus ou moins soigneusement; la seule manière d'effectuer une stérilisation complète est de les faire chauffer dans une chaudière avec de l'eau, de façon à avoir une pression de $1^{k},5$ à 2 kilogrammes que l'on maintient trente minutes au moins; on rince ensuite les copeaux. Quand on ne dispose pas d'un autoclave pouvant supporter cette pression, il faut au moins faire cuire les copeaux avec de l'eau additionnée d'autant de sel qu'elle en peut dissoudre; l'ébullition ne se produit alors qu'à 108-110°,

et la stérilisation se produit de la même façon que dans la chaudière.

Une ébullition avec l'eau seule ne suffit pas, même après une demi-heure, à rendre les copeaux stériles et il faut prendre de grandes précautions pour les débarrasser de tout germe, puisqu'il suffit de quelques bactéries pour infecter tout le contenu du fût.

On a proposé récemment des copeaux d'aluminium, dont l'action clarifiante est tout à fait la même que celle du noisetier. Les copeaux en métal ont l'avantage de se nettoyer très aisément, une stérilisation sous pression étant inutile, puisque les germes ne peuvent se trouver qu'à la surface.

3° *Filtration.* — Cette méthode est de beaucoup la plus recommandable pour la solidité de la bière, parce qu'elle n'introduit que peu de chances d'infection, si le filtre est maintenu propre, et parce qu'elle permet de conserver à la bière tout son acide carbonique. Cependant elle n'est pas encore très employée en fermentation haute, et l'on préfère ordinairement le collage. Il est vrai que les bières filtrées sont moins mousseuses que celles qui restent sur leurs lies, puisque celles-ci sont encore en contact avec la levure et que la fermentation continue à accumuler de l'acide carbonique ; mais les fûts où tout se fait, fermentation principale et secondaire, collage, ont généralement un dépôt abondant qui revient chez le brasseur avec un fond de bière complètement gâtée, le tonneau est infecté, et si le nettoyage n'est pas parfait, l'infection se propage de plus en plus jusqu'à toute la bière : avec le filtre on n'a pas cela à craindre, sous la seule condition de le passer à l'eau après l'usage, et de le démonter, chaque fois

qu'il y a une interruption de plus d'un jour dans le service. Nous reviendrons du reste sur les filtres.

Accumulation d'acide carbonique. — Quand la bière est conservée à une basse température, n'excédant pas 6°, la quantité d'acide carbonique dissous à cette température est en quantité largement suffisante pour produire une abondante mousse fine.

Quand les caves sont plus chaudes, il est nécessaire d'augmenter le volume d'acide carbonique dissous, en faisant croître la pression : pour cela, on bonde les fûts quelque temps avant la livraison, le gaz s'accumule et finit par atteindre une pression qui va dans certaines brasseries jusqu'à trois atmosphères. Si l'on soutire la bière sous cette pression elle est forcément très mousseuse ; toutefois il y a des pertes considérables de gaz à chaque transvasement ; en effet, aussitôt que la pression diminue, une certaine quantité de gaz carbonique se dégage, de manière à ne laisser que le volume répondant à la saturation pour la température donnée. Cet équilibre s'établit presque instantanément. Au contraire dans la conservation au froid, l'acide carbonique ne se dégage qu'au fur et à mesure du réchauffement du liquide.

FERMENTATION BASSE

La fermentation basse s'effectue toujours dans des cuves de bois ou d'ardoise, mais celles-ci sont encore peu répandues, malgré la plus grande facilité que l'on a de les maintenir propres. Les cuves de bois sont vernies, et après chaque fermentation, l'on doit les passer à la chaux ou à la vapeur, ou bien enfin y laisser séjourner une solution d'un antiseptique quelconque,

comme nous l'avons dit pour la fermentation haute, il faut veiller à ce que les parois de la cuve ne présentent aucune fissure, qui pourrait devenir un foyer d'infection.

Comme la fermentation a lieu à basse température, la cave doit être entourée d'une glacière ou munie de tuyaux où circule un liquide incongelable refroidi par une machine frigorifique ; les caves de fermentation doivent en effet conserver une température de 6 à 7°.

Pour régler la température du moût, on utilise soit les nageurs, soit les serpentins comme en fermentation haute, mais dans ceux-ci, on fait circuler non de l'eau fraîche, mais de l'eau glacée amenée à zéro par la machine frigorifique. Au-dessus des cuves règne une tuyauterie spéciale, dans laquelle circule cette eau glacée sous l'action d'une pompe, et il suffit d'ouvrir des robinets pour faire passer dans le serpentin de chaque cuve de l'eau à zéro, jusqu'à ce qu'on soit revenu à la température voulue.

Il paraît au premier abord plus commode d'utiliser à cet usage, non de l'eau douce, mais le liquide incongelable lui-même ; on ne le fait pas, en général, parce que le refroidissement par un liquide à 6-7° au-dessous de zéro serait trop brusque, et par crainte de fuites pouvant se produire dans le serpentin et introduisant dans la bière du chlorure de calcium ou du sel.

Les levures basses ne sont employées qu'à température très peu élevée, le maximum de température étant 11° ; au-dessus de ce point, la bière prend un goût de chaud désagréable. On peut conduire la fermentation en partant de 3 à 4°, mais la température habituelle de mise en levain est de 6°. Dans ces conditions, la fermentation principale est beaucoup prolon-

gée ; au lieu de quatre à cinq jours au plus, pour la fermentation haute, on arrive à onze jours en moyenne, quelques levures n'exigeant que neuf jours, d'autres au contraire quatorze et quinze jours. La durée dépend d'ailleurs de la levure, de la dose de levain et surtout des températures du moût et de la cave.

Phases de la fermentation basse. — Douze à vingt-quatre heures après la mise en levain, on voit apparaître de petits îlots de mousse à la surface du liquide (1re phase), peu d'heures après ce phénomène, il se forme contre les bords de la cuve une couronne de mousses plus hautes et plus consistantes, qui envahissent bientôt toute la surface. C'est ce qu'on nomme la période de *bas Kraüsen ;* en même temps la température s'élève (2e phase). En vingt-quatre heures, la proportion d'extrait fermenté dans cette phase est de 0,3 à 0,5° Balling. Les kraüsen deviennent moins compacts, mais s'élèvent de plus en plus, et en même temps ils se chargent par places de plaques brunes ; la hauteur des kraüsen est d'autant plus grande que la température est plus élevée ; lorsque celle-ci dépasse 12°, la fermentation est tumultueuse, et les kraüsen forment comme des vagues très hautes à la surface du liquide. C'est pendant cette période dite des *hauts Kraüsen* que la température du moût atteint son maximum.

L'élévation de température est naturellement d'autant plus grande que la cave est plus chaude ; elle peut atteindre jusqu'à 8°. Dans les caves froides, cet accroissement ne dépasse guère 3 à 4°. La fermentation est la plus active pendant la période que nous considérons, elle peut consommer de 1 à 1,5 p. 100 d'extrait par vingt-quatre heures (3e phase).

Les kraüsen se colorent en brun, et tombent tous ensemble, de manière à ne plus laisser à la surface qu'un couvercle un peu brunâtre, à la surface la température s'abaisse de plus en plus, et la consommation d'extrait retombe à 0,3°-0,1° Balling par vingt-quatre heures.

Kraüsen. — Ces mousses sont provoquées par le dégagement d'acide carbonique qui entraîne à la surface, de la résine du houblon, du tannin, des matières azotées coagulées; si l'on recueille dans un verre un peu de ces kraüsen, et qu'on les laisse tomber, on obtient un liquide très amer. Ces phénomènes paraissent dus aux résines du houblon, puisqu'ils sont à peu près nuls quand on fait fermenter du moût non houblonné, ou qu'on emploie du houblon déjà débarrassé de résine par un traitement à l'alcool. Ce sont des résines dites molles, appelées α et β, et surtout la résine α qui jouent le rôle principal.

Les kraüsen sont d'autant plus hauts que l'on a du moût plus houblonné et plus concentré.

D'ailleurs la levure intervient aussi pour la production des kraüsen ; quoique leur hauteur soit un signe d'une fermentation plus active et par suite d'une levure énergique, on est souvent porté à exagérer l'importance des kraüsen; beaucoup de brasseurs se désespérent et changent précipitamment de levain, quand ils ne voient pas de kraüsen énormes. Il y a cependant d'excellentes levures qui en donnent fort peu; par exemple, la levure employée à la Brasserie de Carlsberg, appartenant à M. Jacobsen, ne donne que des kraüsen insignifiants, et cependant elle a fait ses preuves depuis bien des années comme énergie et comme conservation de la bière.

Cassure. — Lorsque la fermentation se ralentit et que la bière paraît bonne à soutirer, l'on examine ordinairement dans un petit verre la bière prise dans la cuve. On dit que la *cassure* est belle lorsqu'on voit la levure en suspension, se séparer peu à peu et tomber au fond du verre, laissant surnager un liquide limpide.

La cassure appartient à certaines races de levure et non à d'autres; d'ailleurs ce n'est pas la seule cause qui puisse modifier la cassure, le malt et l'orge même jouent un rôle dans ce phénomène par leur composition. Dans certaines années, on ne peut avoir aucune cassure, dans d'autres, au contraire, pour des orges de même provenance, on obtient, une cassure très belle.

On l'observe également très marquée quand le moût séjourne peu de temps sur les bacs, de façon à passer avec le dépôt sur le réfrigérant où il est refroidi rapidement.

Les bières à faible atténuation ont ordinairement une cassure meilleure.

Cette apparence de la cassure n'a pas d'ailleurs l'importance que lui attribuent beaucoup de brasseurs; lorsque la bière a bon goût et qu'elle est atténuée convenablement, il n'y a pas à s'occuper de la cassure, bonne ou mauvaise. Sans doute une bière bien cassée se clarifie généralement vite à la cave de garde, parce que la levure se dépose rapidement, mais ce n'est pas obligé, et ce phénomène de la cassure ne semble influer en rien sur la qualité de la bière.

Fermentation bulleuse ou yeux de crapaud. — Dans les fermentations normales, le moût est vers la fin recouvert d'une couche de mousse fine, de couleur brune ou jaune brun, formant une sorte de chapeau. Quelquefois, on voit au lieu de cela de grosses bulles, aux-

quelles on donne souvent le nom d'yeux de crapaud.

La cause de la formation de ces bulles n'est pas exactement connue. On les observe quelquefois quand la levure se compose de plusieurs espèces à atténuation peu différente. Lorsque l'espèce à plus basse atténuation et que nous supposerons prédominante, a épuisé son action, les autres entrent en jeu, mais les bulles d'acide carbonique qui se dégagent rencontrent à la surface les restes de kraüsen, formant une couche visqueuse qui les arrête. L'acide carbonique s'accumule donc au-dessous de ce voile, jusqu'à ce que les bulles aient acquis une tension suffisante pour le briser, mais par un phénomène de capillarité, ces bulles s'étalent, et comme la fermentation est peu active, elles ne peuvent jamais rompre le voile.

On observe aussi la fermentation bulleuse quand le moût est refroidi brusquement au contact de son dépôt d'oxydation ; il contient en effet beaucoup plus de matières azotées précipitées et le voile qui recouvre la surface est plus résistant.

La fermentation bulleuse dépend aussi de la composition du malt et de l'orge, celle-ci contient, en effet, des matières gommeuses, de proportion variable, qui augmentent plus ou moins la viscosité du moût ; de même les moûts peu dextrineux fermentent à la cuve d'une façon très complète, de sorte que le dégagement d'acide carbonique finit brusquement ; de telles bières sont généralement très sèches, et manquent de moelleux.

Circonstances qui modifient l'atténuation.

L'atténuation normale est de 58 à 62 p. 100; lorsqu'elle est trop faible, la bière est plus aisément alté-

rable, parce qu'elle contient encore beaucoup de substances assimilables par les ferments de maladie, bactéries ou levures sauvages; de plus, dans les bières peu atténuées, la levure de culture même peut occasionner des troubles, en développant de nouvelles cellules après la mise en fûts ou en bouteilles.

Inversement avec une atténuation exagérée à la cuve, la fermentation complémentaire est peu active, il faut alors que les caves de garde soient maintenues à une température très basse, pour ne permettre en six semaines ou deux mois qu'une consommation d'extrait de 0,3 à 0,5° Balling.

La température des caves de garde intervient d'une façon active pour régler l'atténuation; plus cette température est basse, moins la fermentation complémentaire sera énergique, et par conséquent plus on devra atténuer à la cuve; au contraire avec des caves chaudes, c'est-à-dire à 5, 6° et au-dessus, la fermentation secondaire sera assez vive, et il faut laisser dans la bière, des matières pour l'alimenter. En somme la bière à la livraison doit avoir une atténuation comprise entre 70 et 75 p. 100, pour les bières genres Dreher telles qu'on les fait dans beaucoup de brasseries françaises; si à la cuve, l'on n'a que 55 p. 100 d'atténuation, il faut regagner 15 p. 100 à la cave de garde, celle-ci ne doit donc pas être trop froide; si au contraire on a 65-66 p. 100 à la cuve, il ne faut pas perdre plus de 0,5 Balling à la cave de garde, et il est nécessaire que celle-ci soit très froide.

Les circonstances qui peuvent modifier l'atténuation sont sensiblement les mêmes que pour la fermentation haute, c'est-à-dire :

1° **La race de levure.** — On connaît sous le nom de levure de Saaz, une race qui atténue seulement à 45-48 p. 100; d'autres au contraire atténuent jusqu'à 70 p. 100; ce sont les limites extrêmes des diverses races de levure.

D'ailleurs l'atténuation ne reste pas constante pour une levure donnée quand on la transporte dans un autre moût; elle est d'abord moindre, puis les générations suivantes augmentent peu à peu; jusqu'à donner sensiblement la valeur primitive; quelquefois pourtant c'est l'inverse, la levure atténuant d'abord plus, il paraît probable que la composition du moût joue dans ce phénomène un rôle important.

Il suffit du reste d'ajouter de la diastase au moût pour augmenter l'atténuation; la farine de malt donnée avec le levain produit le même résultat à la dose de 5 à 10 grammes par hecto de moût ensemencé; cette action s'explique, si l'on se rappelle que la diastase apportée par la farine de malt, peut changer les maltodextrines en maltose immédiatement fermentescible.

Si à un moût fermenté par une levure à basse atténuation, on ajoute une autre race à atténuation plus élevée, une nouvelle fermentation a lieu; cette propriété rend naturellement bien plus aisée l'infection par les levures sauvages; elle peut même rendre dangereux l'emploi de levures mixtes comprenant plusieurs races à atténuation très différente.

2° **Composition du moût.** — Plus le moût contient de maltose libre et plus la proportion de matières fermentées par une même levure sera considérable; inversement plus la proportion de maltodextrines sera considérable et leur type élevé et moins forte sera l'atténuation à la cuve; par conséquent toutes les causes qui modifient

la composition du moût, touraillage, composition de l'eau, température de brassage, etc., influeront aussi sur l'atténuation.

3° **Température.** — En général l'atténuation augmente avec la température de fermentation, mais la différence n'est pas très sensible quand on reste dans les conditions pratiques habituelles. Une autre cause plus importante est la marche des températures. Si on laisse monter la température rapidement jusqu'à 9° par exemple, et qu'on refroidisse brusquement à ce moment, pour ramener par exemple à 6 le lendemain, on obtient une faible atténuation; si au contraire on laisse monter doucement, et qu'on refroidisse aussi avec précaution, l'atténuation augmente sensiblement; ainsi une levure introduite dans une brasserie et donnant 48 p. 100 on peut l'amener à fournir 57 à 60 p. 100. Voici le tableau des températures dans les deux cas :

Marche d'une fermentation.

	Atténuation 48 p. 100.	Atténuation 59 p. 100.
1er jour.....	5°	5°
2e —	6°	5°7
3e —	7°4	6°1
4e —	8°7	6°6
5e —	7°5	7°4
6e —	6°6	8°5
7e —	6°1	8°4
8e —	5°9	8°3
9e —	5°6	8
10e —	5°5	7°2
11e —	5°1	6°1
12e —	soutirage.	5°4
13e —	»	soutirage.

L'augmentation dans l'atténuation est obtenue par

trois ou quatre générations en suivant le tableau de marche indiqué dans la deuxième colonne, et l'atténuation reste ensuite sensiblement constante pour le même moût.

4° Aération. — L'injection d'air dans les cuves à fermentation augmente le rendement en levure mais provoque la disparition de 0,3 à 0,5 p. 100 d'extrait en plus, elle n'est donc recommandable que pour augmenter l'atténuation.

5° Causes diverses. — On obtient en général une atténuation plus forte quand les moûts passent peu de temps sur les bacs, et qu'ils sont envoyés au réfrigérant en entraînant le dépôt d'oxydation qui aurait dû se faire sur les bacs. Cette remarque s'applique également aux moûts aérés à chaud.

Rendement en levure. — On peut admettre qu'un hectolitre de moût dans les conditions normales donne $1^{k},8$ de levure au moins, équivalant à 360 grammes de levure complètement sèche; ce chiffre est d'ailleurs un peu plus élevé quand on opère avec des levures à forte atténuation; et il dépend aussi de la race et de l'aération du moût.

Conduite de la fermentation. — Nous donnons ci-dessous comme exemples le tableau des températures et des atténuations pour la bière de Vienne, genre Dreher, et pour celle de Pilsen.

Bière Dreher. — On met en levain à 4-5° avec 375 grammes de levure pressée; la fermentation dure quatorze jours et amène une atténuation de 55 p. 100.

Fermentation des bières genre Dreher.

Jours.	Degrés Balling.	Température des cuves.	Temp. du moût.	Apparence.
1er...	13.2	4°	4°	Surface blanchit ap. 16 heures.
2e...	13°	3°	4°5	— —
3e...	11°6	3°75	5°	Bas Kraüsen.
4e....	12°1	2°5	5°5	Début des hauts Kraüsen.
5e....	11°5	»	5°5	Hauts Kraüsen.
6e....	18°6	3°	6°	—
7e....	9°7	2°3	6°25	—
8e....	9°	1°95	6°25	Kraüsen tombant.
9e....	8°4	1°74	6°75	—
10e....	7°6	2°5	6°25	Tout à fait tombés.
11e....	7°	2°5	6°25	
12e....	6°6	2°5	6°25	
13e....	6°3	1°75	6°25	
14e....	6°1	1°75	6°25	

Pour la *bière de Pilsen*, on met en levain à 5° avec 500 grammes de levure par hecto à 10-12° Ball., la fermentation dure dix à douze jours et amène une atténuation de 53 p. 100 environ;

Fermentation des bières genre Pilsen.

Jours.	Température des caves.	Température du moût.	Degré Balling.	Apparence.
1er.....	4°	5°	11°5	
2e.....	4°5	3°	11°3	Blanchit.
3e.....	4°5	3°	11°2	
4e.....	4°5	2°5	10°8	Kraüsen.
5e.....	4°5	2°	10°1	
6e.....	4°5	2°	9°4	
7e.....	5°5	2°	8°2	
8e.....	6°	2°	7°8	
9e.....	5°5	2°5	6°8	
10e..... ..	4°	2°5	6°5	
11e.....	4°	2°5	6°5	
12e.....	4°	2°	5°8	
13e.....	4°	3°	5°4	Soutirage.

Bière de Munich. — Mise en levain à 5° avec un demi-

litre levure par hecto ; on laisse monter jusqu'à 10° mais en ayant soin de refroidir dès que le moût arrive à 8 degrés.

On a les apparences suivantes : en trente heures, la fermentation commence ; après quarante-huit heures les bas kraüsen, et après 4 jours les hauts kraüsen. On transvase après six jours et demi à sept jours et demi, l'atténuation étant de 54 p. 100 environ.

Avant le soutirage on refroidit la bière de 8° à 2°, de manière que celle-ci soit moins altérable pendant le transvasement.

Traitement de la levure. — La bière une fois soutirée et la levure mise à nu, on enlève la couche superficielle qui contient surtout de petites cellules mal développées, provenant de la fin de la fermentation, des levures sauvages et des bactéries.

On enlève ensuite la levure, en laissant également la couche qui se trouve immédiatement au fond et qui est également souillée. La levure retirée retient encore de la bière, elle est brunie par des résines de houblon, et souillée par des dépôts de matière azotée et des débris de drèches du moût.

Lorsqu'on emploie la levure immédiatement pour une nouvelle fermentation, on peut la prendre telle quelle, si au contraire elle doit rester quelque temps sans travail, la bière qu'elle retient constituerait un aliment pour les bactéries, et la levure pourrait s'infecter. Il est donc nécessaire dans ce cas de laver la levure, on la délaye dans un bac avec de l'eau, on décante l'eau avant que toute la levure soit déposée et on entraîne ainsi les levures mal développées, et les particules moins denses.

Ce lavage unique est parfaitement suffisant pour nettoyer la levure; dans beaucoup de brasseries, on le répète un certain nombre de fois, et même on laisse la levure jusqu'à douze heures dans un courant d'eau. Ces traitements ne sont pas rationnels et n'ont plus aucun rapport avec le but primitif du lavage, qui est un simple nettoyage de la levure. Il faut considérer en effet que l'activité de la levure est intimement liée à la composition du liquide contenu dans les cellules et qui renferme des matières azotées solubles et des matières minérales. Les parois des cellules étant perméables, si une cellule de levure se trouve baignée dans l'eau, pendant un certain temps, il se produit un passage de substances de l'intérieur de la cellule dans l'eau, et inversement une introduction d'eau dans la cellule. Celle-ci s'affaiblit, et une fois mise en contact avec le moût, elle n'est plus capable de bourgeonner avec la même vigueur, il en résulte que la fermentation part moins rapidement, que les proportions d'acide succinique et de glycérine augmentent et que la levure épuisée se comporte en somme comme une levure vieille.

Cet épuisement de la cellule est naturellement encore plus marqué quand l'eau est incessamment renouvelée, puisque le passage de substances ne s'arrête théoriquement que lorsque la proportion de ces substances est la même dans les couches voisines de la membrane et dans l'intérieur.

Levure pressée. — Quand la levure ne doit pas être employée immédiatement après la récolte, on la soumet à l'action d'une presse; pour cela, on met le dépôt, après lavage, dans des sacs en tissu épais, et on presse.

Le liquide s'écoule et la levure s'agglomère en masse compacte.

La levure pressée a l'avantage d'être toujours à peu près dans le même état, de sorte que l'on sait exactement la dose de levain à employer, tandis que la levure liquide est plus ou moins compacte, et un poids donné contient des quantités variables de levure sèche; il en résulte que le brasseur est exposé à donner un levain insuffisant.

La même observation s'applique à la levure liquide mesurée au litre, ce volume répondant aussi bien à 500 grammes qu'à $1^k,8$ suivant la compacité de la levure.

Caves de fermentation. — Dans la fermentation basse les caves doivent être maintenues à 5 ou 6°, et il est généralement impossible de conserver cette température, sans procédés artificiels.

Il est d'abord nécessaire que les caves soient thermiquement bien isolées, on y arrive soit par des murs très épais, soit par de doubles murs, entre lesquelles on interpose des matières mauvaises conductrices, liège, scories de hauts fourneaux, etc. Ces dernières sont plus économiques que le liège, mais leur bon effet est subordonné à une siccité complète; si elles ont séjourné quelque temps à l'air, et plus encore si elles ont été mouillées, elles prennent une grande quantité d'eau, et comme celle-ci est bonne conductrice de la chaleur, l'isolement est très mauvais, et la cave se réchauffe rapidement.

Pour le dessus, on emploie ou des voûtes épaisses, ou bien un gueusage en briques creuses, de 15 à 20 centimètres, au-dessus desquelles on laisse une couche

d'air de même épaisseur au moins, puis un nouveau gueusage.

On peut remplacer la couche d'air et le deuxième gueusage par une couche de poussière de charbon ou de scories. Mais il est essentiel que la couche isolante soit de 50 à 60 centimètres au moins.

En Amérique on trouve dans beaucoup de brasseries des caves qui sont au-dessus du niveau du sol, au lieu de se trouver enterrées, ou au moins en sous-sol, comme Europe; on arrive alors à l'isolement par des doubles parois, avec une couche d'air intercalée et même avec des revêtements en briques de liège aggloméré, ou en planches de même substance. Toutefois ce genre d'installation n'a pas encore trouvé faveur en France.

Le *refroidissement des caves* peut être réalisé de deux manières :

1° Par l'établissement d'une glacière, au-dessus des caves, et autant que possible autour d'elles. Ce système, longtemps le seul employé, exige que l'on trouve aisément de la glace en hiver; de plus il est un peu aléatoire, puisque la glacière peut se trouver insuffisante, et être vide en plein été, alors que son effet serait le plus utile. Enfin l'emploi des glacières est impossible dans tout le Midi. Aussi préfère-t-on de beaucoup le deuxième en continuant à utiliser les glacières déjà existantes, comme complèment, mais sans en créer de nouvelles.

2° Une circulation frigorifique de liquide incongelable, alimenté par une machine à glace et constamment maintenu à 5-8° au-dessous de zéro.

Dans toute la longueur de la cave, à la partie supérieure, règnent des tuyaux de fer, en nombre variable

avec la capacité des caves, et qui ne tardent pas à se prendre en une masse de glace compacte.

Ce dispositif est beaucoup plus onéreux, puisque la production du froid est constante, mais il permet de maintenir les caves à telle température que l'on veut, et cela d'une façon régulière, quelle que soit la saison.

La ventilation s'effectue comme pour les caves de fermentation haute, et le mieux à l'aide de ventilateurs par refoulement et d'air filtré.

Les mêmes observations faites pour la propreté des caves trouvent également ici leur emploi, et le vernis émail, apparaît également comme le moyen le plus recommandable d'assurer complètement cette propreté avec le moins d'entretien possible.

Fermentation complémentaire. Conservation.

Lorsque la bière est soutirée des cuves, son extrait ne diminue plus que très peu chaque jour, 0,2 p. 100 environ, mais la fermentation n'est pas complètement arrêtée. C'est qu'en effet si tout le maltose libre a disparu, la bière contient encore des maltodextrines, qui ne peuvent fermenter qu'après dédoublement. De plus comme la levure est moins vigoureuse, ce dédoublement ne peut se faire que lentement et d'autant plus que les maltodextrines sont de type plus élevé, c'est-à-dire plus riches en dextrine.

De plus la bière n'est pas complètement claire, elle retient en suspension une certaine quantité de levure, des matières azotées et de la résine provenant du moût ou du houblon.

Enfin la bière contenant à la fois de l'alcool et des acides, il peut se développer par un contact prolongé des éthers formés par l'union des acides et des alcools et qui donnent à la bière un bouquet des plus fins.

Toutes ces raisons font que la bière sortant des cuves ne peut être livrée immédiatement à la consommation, et qu'on doit lui faire subir une conservation plus ou moins longue, destinée à la continuation de la fermentation (fermentation complémentaire), à la clarification et au développement du bouquet; elle s'effectue dans la cave de garde.

Elle doit être parfaitement isolée, aussi sèche que possible, ventilée, et maintenue par des glacières ou par une circulation frigorifique à la plus basse température que l'on peut réaliser pratiquement; on admet généralement que 1° à 1°,5 représente un point convenable; toutefois certaines brasseries descendent jusqu'à 0°,75 et même 0°,5 avec avantage.

Cette basse température a pour but :

1° De préserver la bière contre les altérations dues aux ferments, puisque le développement de ces derniers au voisinage de zéro est presque nul, et que l'air des caves peut être maintenu presque stérile.

2° De prolonger la fermentation complémentaire de façon à rendre plus notable la formation des éthers et d'augmenter par conséquent la finesse de la bière.

3° D'accumuler dans la bière une quantité aussi grande que possible d'acide carbonique, la solubilité de ce gaz dans la bière augmentant à mesure que la température s'abaisse.

La bière soutirée des cuves est envoyée à l'aide de pompes dans de grands foudres ayant jusqu'à 60 hecto-

litres de capacité et logés dans la cave de garde. Ces foudres sont *gerbés* c'est-à-dire qu'ils sont posés les uns sur les autres de manière à accumuler le plus de bière possible dans une cave de surface donnée.

Pour éviter autant que possible les contaminations et les pertes d'acide carbonique, on se trouve bien avant le soutirage, de refroidir la bière dans les cuves jusqu'à 2 ou 3°. Toutefois on ne peut éviter complètement une perte d'acide carbonique, et le mouvement de la bière suffit à rendre à la levure une partie de sa vigueur.

Les premiers temps de séjour dans la cave de garde, une mousse abondante s'aperçoit à la bonde du foudre, maintenue ouverte bien entendu, on dit alors que la bière crache, peu à peu cette mousse diminue, elle cesse de sortir de la bonde; il faut avoir soin dans cette période de garde de maintenir les foudres complètement pleins; pour cela il suffit en général de deux remplissages que l'on effectue avec de la bière des brassins suivants.

On a même l'habitude de pratiquer souvent dans la cave de garde, des coupages pour assurer à la bière une qualité sensiblement constante, c'est-à-dire que l'on remplit un foudre en trois ou quatre fois avec des brassins différents.

La durée de conservation varie avec la qualité de la bière; pour celle dite de *garde*, elle dure au moins trois mois et souvent on prolonge jusqu'à six et huit mois; les remplissages doivent être naturellement plus nombreux.

Pour la bière ordinaire, on ne conserve que cinq à six semaines, quelquefois même un mois seulement.

Il est indispensable de veiller à la désinfection des

caves de garde ; pendant le remplissage des foudres, ou leur vidange, il tombe toujours une certaine quantité de bière sur le sol, qui doit, bien entendu, être imperméable.

Quoique la basse température des caves soit peu favorable au développement des ferments, on doit prendre cependant des précautions. Comme les lavages avec de l'eau ou des antiseptiques introduisent de l'humidité, et que la cave doit être maintenue sèche, on peut recommander l'emploi du sulfate ferrique préparé industriellement et à bas prix d'après les indications de M. Buisine.

Cette matière pulvérulente et fortement antiseptique est semée sur le sol des caves, et s'il tombe de la bière, toute fermentation nuisible est empêchée par le sel ferrique. Lorsque celui-ci est en partie dissous, il suffit de le ramasser ou de le balayer et de le remplacer.

On ne doit pas moins veiller à l'extrême propreté des foudres de garde qui sont goudronnés comme les fûts d'expédition. Comme pendant la conservation, il s'effectue aussi une clarification, les foudres de garde contiennent un dépôt assez abondant de levure, soit de culture, soit sauvage, des bactéries, et autres ferments qui étaient contenus dans la bière. Si le nettoyage du foudre une fois vide est incomplet, quelques-uns de ces ferments peuvent subsister et infecter la bière qu'on y introduit de nouveau. Il faut donc autant que possible goudronner les foudres de garde chaque fois qu'ils sont vides, et sinon, leur injecter de la vapeur, puis les rincer avec de l'eau additionnée de bisulfite ou de chlorure de zinc, et enfin avec de l'eau chaude, mais le

goudronnage est de beaucoup le moyen le plus certain.

Conditions de la fermentation complémentaire. — Nous avons vu que cette période avait plusieurs buts que nous rappelons ici :

1° Continuation de la fermentation ;

2° Clarification ;

3° Accumulation d'acide carbonique ;

4° Développement du bouquet.

La continuation de la fermentation est une condition indispensable pour la conservation de la bière ; en effet les infections microbiennes peuvent être provoquées soit par des ferments apportés par la bière, soit par ceux laissés dans le foudre, ou apportés par l'air des caves. Les ferments apportés par la bière consistent en levures sauvages, en bactéries et mycodermes.

Le développement des levures sauvages apportées par la bière se fait d'autant plus aisément que la bière a été moins atténuée, et il peut être jusqu'à 20 fois plus énergique dans une bière à faible atténuation. Toutefois tant que la levure de culture continue à agir, elle empêche l'alimentation des levures sauvages à moins que celles-ci ne soient en proportion très considérable. En tous cas, la meilleure défense contre ce genre de maladie est une atténuation jusqu'à 65 et 68 p. 100 à la cuve, et une fermentation complémentaire continuée pendant toute la durée de la conservation. Comme l'énergie de cette fermentation secondaire dépend de la température des caves de garde, on doit maintenir celles-ci d'autant plus froides que la bière a été plus atténuée à la cuve, et l'on admet en général qu'un moût à 14-15° Balling, soutiré à 5°,2 Bal-

ling par exemple, c'est-à-dire avec une atténuation de 64 p. 100 ne doit pas fermenter de plus 0°,3 à 0°,5 Balling pendant la conservation. Il est nécessaire pour obtenir ce résultat d'avoir des caves à 1° environ.

Quand il est impossible de maintenir dans la cave une température inférieure à 5-6° par exemple, la fermentation complémentaire atteint 1 à 2° Balling, et il faut que l'atténuation à la cuve soit beaucoup plus faible de façon à ramener la bière à la fin de la conservation à 4°,2-4°,5 Balling.

La composition du moût et les circonstances qui la modifient jouent, très entendu, un rôle important pour ce réglage de l'atténuation à la cuve; plus le moût contient de maltodextrines de types élevés, moins la fermentation complémentaire abaissera l'extrait de la bière, puisqu'elle ne fera disparaître que le maltose combiné, en laissant la dextrine, et que le dédoublement des maltodextrines sera d'autant plus lent que le type sera plus élevé.

Lorsqu'on aura donc des caves à une température supérieure à 1° ou 1°,5 au plus, on devra effectuer la fermentation principale avec une levure à basse atténuation, et employer des malts fortement touraillés, avec des températures de saccharification qui ne s'arrêtent pas entre 55 et 63°.

Pour les bactéries, apportées par la bière, elles peuvent être de deux espèces, les aérobies, qui ne peuvent vivre qu'en présence d'oxygène, et les anaérobies, dont le développement n'est possible que dans un milieu privé d'oxygène. Les aérobies, qui ont eu peu de temps pour se développer, si la fermentation est partie très vite, grâce à une dose de levain suffisante, ont été

affaiblies par l'existence dans un milieu privé d'air pendant toute la durée de la fermentation principale, et par une basse température; ils ne pourront donc se développer dans la cave de garde si la levure continue à produire de l'acide carbonique, en quantité suffisante pour empêcher toute rentrée d'air.

Les anaérobies n'ont pu se développer pendant la fermentation principale, grâce à l'activité de la levure qui consomme tous les aliments disponibles, ce qui amène probablement des produits toxiques pour ces bactéries; celles-ci ne peuvent être du reste qu'en petite quantité en fabrication normale, puisque le moût a été saturé d'oxygène avant d'arriver à la cuve à fermentation. Dans la cave de garde, l'existence n'est pas non plus facile pour les bactéries anaérobies, si la levure continue à absorber le peu de matières assimilables laissées par la fermentation principale. Si on joint à cela une basse température, le développement des bactéries anaérobies ne se fera pas non plus. Il ne deviendrait à craindre qu'après la livraison de la bière, puisqu'il n'y aurait plus là de levure, et que la bière serait soumise à une température beaucoup plus élevée et partant plus favorable aux infections. Mais si les deux fermentations ont été normales et l'atténuation convenable, toutes les matières assimilables ayant disparu, absorbées par la levure, soit sucre, soit substances azotées, il n'y aura plus possibilité d'infection par les bactéries anaérobies, les seules qui puissent végéter dans la bière normale saturée d'acide carbonique.

Le mycoderme est une espèce essentiellement aérobie; aussi est-il peu redoutable quand il a été apporté par

la bière, puisqu'il est obligé de rester constamment dans un milieu privé d'oxygène et à une basse température.

Pour les ferments de maladie contenus dans les foudres ou apportés par l'air, les mêmes raisons subsistent en grande partie.

Les bactéries sont naturellement soumises aux mêmes conditions d'existence que celles apportées par la bière, il y a toutefois une différence pour les anaérobies. Celles-ci, en effet, n'ont pas subi la période d'affaiblissement pendant la fermentation principale, et elles peuvent alors se développer pendant la conservation de façon devenir dangereuses après la livraison. Contre ce danger, il n'y a qu'un remède, l'atténuation considérable de la bière, et, comme moyen préventif, le nettoyage parfait des foudres.

Le mycoderme se trouve toujours en grande quantité soit dans l'air des caves, soit à la bonde des foudres ; si le tonneau n'est pas complètement rempli, ou que la fermentation complémentaire ne soit pas assez énergique pour maintenir toujours la surface du liquide saturée d'acide carbonique, et surmontée d'une atmosphère de ce gaz, il se produit, par diffusion, une dissolution d'un peu d'oxygène, le mycoderme s'ensemence et se développe en formant un voile.

Il faut donc, contre ce genre de ferment, maintenir les foudres complètement pleins, et entretenir une fermentation complémentaire suffisamment active pendant toute la durée de la conservation.

Enfin les levures sauvages contenues dans l'air des caves ou dans les foudres, ne sont dangereuses que dans des cas très rares. Hansen a en effet montré que

ces levures ne se pouvaient développer que si la bière avait encore un extrait supérieur à 6°,5 Balling.

Or c'est là une concentration exceptionnelle pour nos bières françaises, de sorte que cette nature d'accidents ne se rencontre presque jamais.

Nous arrivons donc à cette conclusion que les caves doivent être aussi froides que possible jusqu'à un demi-degré, l'atténuation à la cuve forte, au-dessus de 60 p. 100 et pouvant aller jusqu'à 65-68 p. 100, et la consommation d'extrait ne dépassant pas un demi-degré Balling à la cave de garde, mais produite par une fermentation continue.

Quand les caves sont plus chaudes, on doit atténuer moins à la cuve, de façon à retrouver à la livraison le même degré d'extrait pour la bière.

Principe des machines frigoriques. — La plupart des machines aujourd'hui employées pour maintenir la température des caves sont des machines à compression : on utilise, comme véhicule, un gaz liquéfiable, en général l'acide sulfureux, l'acide carbonique, ou l'ammoniaque, quelquefois le chlorure de méthyle.

Le principe est d'ailleurs toujours le même : concevons un serpentin (fig. 69) en fer, plongé dans un bain d'eau salée ou dans une dissolution de chlorure de calcium ; l'une des extrémités du serpentin communique avec la base d'un corps de pompe, et répond au refoulement, l'autre répond à l'aspiration.

Les corps que nous avons cités, acides sulfureux ou carbonique, ammoniaque, sont gazeux à la température ordinaire, mais si on les comprime suffisamment, ils se liquéfient partiellement : inversement, si on diminue la pression, au-dessus d'un de ces gaz liquéfiés, une partie

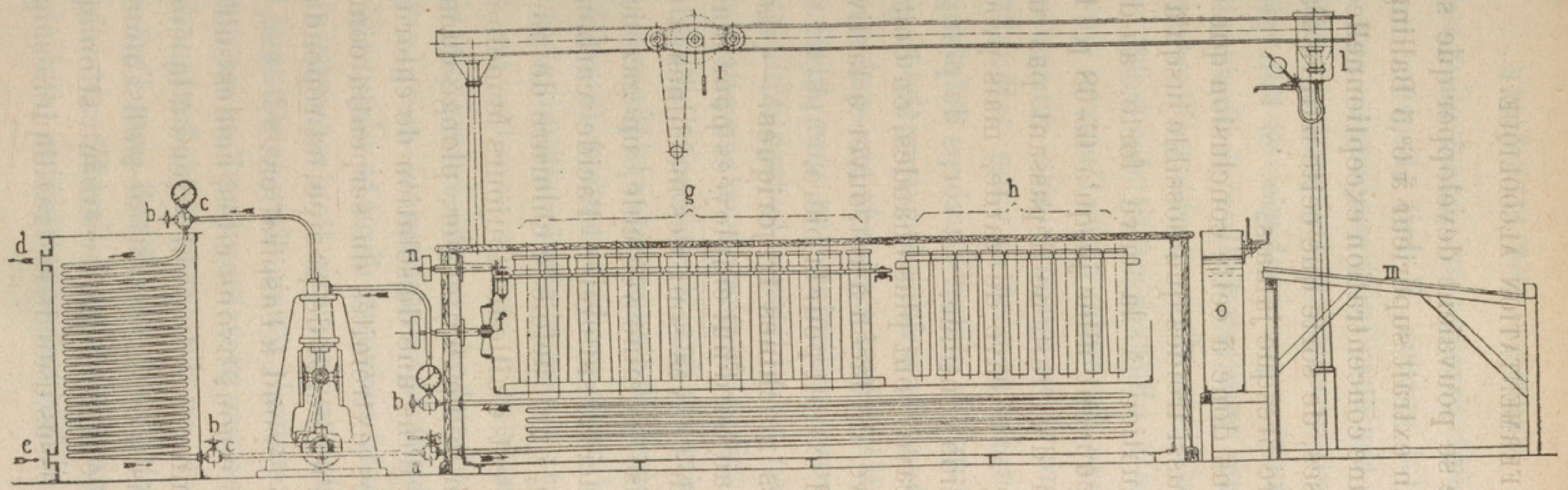


Fig. 69. — Principe des machines frigorifiques. Machines à acide carbonique Escher Wyss et C^ie, à Zürich.

repasse à l'état gazeux; or quand un de ces liquides repasse à état gazeux, il doit absorber une certaine quantité de chaleur, qu'il emprunte aux corps avec lesquels il est en contact. On peut se rendre compte de ce phénomène par analogie. Si l'on place sur la main quelques gouttes d'éther ordinaire, celui-ci ne tarde pas à disparaître, parce qu'il s'est vaporisé, et on éprouve une sensation de froid. De même si l'on plonge la main dans l'eau, et qu'on l'agite, l'eau s'évapore et on éprouve une sensation de fraîcheur.

Supposons que le piston du corps de pompe soit à la fin de sa course. Il y a dans le serpentin du gaz liquéfié, le piston se déplaçant aspire le gaz qui surmontait le liquide, la pression diminue, et une partie du liquide se vaporise en refroidissant le liquide qui baigne le serpentin; le corps de pompe se remplit de gaz. Si le piston comprime ce gaz, il est forcé d'aller de nouveau dans le serpentin et d'augmenter la pression, une nouvelle liquéfaction se produit et ainsi de suite, la même quantité de gaz pouvant servir indéfiniment et ne faisant que circuler.

En pratique les choses se passent un peu moins simplement. D'abord la compression du gaz l'échauffe, aussi avant de le renvoyer dans le serpentin le fait-on passer dans des tuyaux que l'on refroidit extérieurement par un courant d'eau. En second lieu, il y a les fuites possibles aux pressions que l'on est obligé d'employer ; en effet, on obtient la liquéfaction vers $2^{atm},5$, pour l'acide sulfureux, vers $7^{atm},5$ pour l'ammoniaque, et vers 50 atmosphères pour l'acide carbonique. Sous ces pressions, il faut une construction très soignée pour

éviter soit les fuites, soit l'attaque des organes de la machine.

Le liquide qui baigne le serpentin, et qui se refroidit, est ordinairement une solution saturée de sel ordinaire ou de chlorure de calcium, qu'une pompe fait circuler dans des tuyaux de fer, disposés dans les caves ; le liquide pris vers 8° au-dessous de zéro dans la cuve, au voisinage des serpentins, s'échauffe en refroidissant les caves, puis revient à la cuve ; et il se refroidit de nouveau et ainsi de suite.

Procédé Pfaudler pour la fermentation principale et complémentaire. — La nécessité de conserver longtemps la bière de fermentation basse exige des caves de grandes dimensions et par conséquent une dépense considérable de froid, pour entretenir dans ces locaux une température suffisamment basse.

On utilise dans quelques brasseries des États-Unis un procédé dit de Pfaudler, et qui permet de supprimer presque complètement la cave de garde, en réduisant à vingt jours environ le temps qui s'écoule entre le brassage et la livraison de la bière.

Le moût est entonné comme d'habitude dans les cuves et mis en levain ; dès que la fermentation commence, et que l'on voit la mousse apparaître à la surface, on pompe le liquide dans de grands réservoirs en fer émaillé intérieurement, et pouvant se clore hermétiquement ; à la partie supérieure le cylindre communique avec une pompe aspirante, et à la partie inférieure il porte un tube percé de trous par lequel rentre de l'air filtré. La pompe peut maintenir dans le cylindre une faible pression de 48 centimètres de mercure, environ deux tiers de kilo, malgré la rentrée d'air. On conçoit

que par l'aération constante qui se produit, et le dégagement continu d'acide carbonique, la fermentation doive marcher beaucoup plus rapidement.

Ces cylindres ont une capacité allant jusqu'à 130 hectos, et ils sont placés dans une cave à 7-8°.

La fermentation dure six à huit jours; on laisse la pression ordinaire se rétablir, la levure se dépose, et on fait passer la bière dans un autre cylindre identique au premier, sauf qu'il n'y a pas de rentrée d'air, mais la pompe maintient la pression à deux tiers de kilo environ ; c'est-à-dire que l'acide carbonique reproduit par la fermentation complémentaire est constamment aspiré.

Dans ces conditions, l'atténuation va très vite, la clarification rapide, à tel point qu'au bout d'une semaine, la bière a la même composition, et le même nombre de cellules de levure qu'un autre échantillon du même brassin conservé pendant trois mois dans les conditions habituelles à la cave de garde. Pour achever la clarification on fait passer quatre jours sur des copeaux. Une seule chose différencie cette bière de celle conservée trois mois au froid, c'est qu'elle ne contient que très peu d'acide carbonique; pour lui en rendre, on lui ajoute une certaine proportion de bière jeune (Kraüsen) ou on la sature par l'acide carbonique sous pression.

La bière ainsi traitée est identique comme goût et comme composition à la bière de garde; toutefois la saturation à l'acide carbonique sous pression, ou l'introduction de Kraüsen en forte proportion et le bondage, transforment la bière en une boisson gazeuse comme l'eau de Seltz, piquante, mais dont la mousse est grossière et ne tient pas.

Cette bière, qui est appréciée en Amérique, ne paraît pas devoir s'implanter en France, malgré l'énorme économie qui en résulterait pour le brasseur.

Traitement de la bière avant livraison.

La clarification et l'accumulation d'acide carbonique sont également les deux points à obtenir, mais on se trouve placé dans des conditions bien différentes que pour la fermentation haute. D'une part, en effet, le long séjour des bières en cave de garde les clarifie très notablement, et souvent même la bière peut être livrée sans traitement d'aucune sorte ; de l'autre côté, la basse température des caves permet d'accumuler dans la bière une grande quantité d'acide carbonique.

Les deux seuls procédés de clarification employés sont les copeaux et les filtres. Nous ne revenons pas sur ce que nous avons dit pour les copeaux en parlant de la fermentation haute, rappelons seulement la nécessité absolue de veiller à leur stérilisation ; pour les filtres nous en parlerons un peu plus loin.

La bière de garde n'est jamais bondée, parce qu'elle a dû, dans les conditions normales, se saturer d'acide carbonique, à une basse température, et qu'elle contient alors une dose suffisante de ce gaz.

Pour les bières de consommation, on a l'habitude de bonder huit à quinze jours avant la livraison.

Lorsque la fermentation complémentaire n'est plus assez active, on ajoute souvent un peu de Kraüsen, moût en fermentation mousseuse, pour rendre plus énergique le dégagement d'acide carbonique. On a proposé également d'injecter dans la bière de l'acide

carbonique sous pression ; mais aucun de ces deux procédés ne donne d'aussi bons résultats que la conservation normalement effectuée dans de bonnes conditions de température, car l'acide emmagasiné sous l'influence d'une pression plus forte, se dégage instantanément dès que cette pression diminue, il y a donc forcément des pertes d'acide carbonique pendant la mise en fûts ou en bouteilles, et la bière revient dans beaucoup de cas à sa teneur primitive en acide carbonique. Si cependant on est parvenu à conserver jusqu'au fût ou à la bouteille la majeure partie du gaz introduit artificiellement, la bière mousse bien en la versant, mais la mousse est à grosses bulles qui s'évanouissent immédiatement, et laissent la bière tout à fait chauve.

Il n'y a donc rien qui puisse remplacer, au point de vue du mousseux, la conservation dans une cave froide ; et le bondage aussi bien que l'acide carbonique injecté sous pression ne sont que des palliatifs insuffisants.

Filtres à bière. — On utilise à cet usage, soit la cellulose (pâte de bois), soit le papier, et quelquefois l'amiante. Les appareils doivent être hermétiquement clos pour éviter toute perte d'acide carbonique, ils ne fonctionnent d'ailleurs que sous une certaine pression.

On peut distinguer parmi les filtres deux systèmes, les filtres à cadres, et ceux à masse.

Le type des premiers est le filtre Enzinger : il se compose d'une série de cadres d'étain dans lesquels on comprime à l'aide d'une presse une certaine quantité de pâte de bois qui fait alors corps avec le cadre. Ces cadres sont séparés les uns des autres par un grillage en étain et une plaque de caoutchouc percée d'un trou : tous les cadres sont montés sur un bâti, et une vis de

pression permet de les assembler d'une façon tout à fait étanche, grâce aux plaques de caoutchouc mentionnées plus haut, et contre lesquelles viennent se serrer les bords des cadres métalliques. A chaque extrémité de l'appareil se trouve une lanterne, permettant de voir l'aspect du liquide avant et après filtration.

Grâce à la disposition des trous de caoutchouc, le mécanisme est le suivant : la bière monte d'abord dans la lanterne d'arrivée jusqu'à ce que l'air contenu dans cette lanterne ait une pression égale à celle qui est exercée dans le foudre sur la bière ; ensuite le liquide rencontre une plaque de cellulose comprimée qu'il traverse en se clarifiant ; il passe alors dans le canal ménagé dans le joint de caoutchouc, mais pour gagner le canal de la feuille suivante, il est obligé de traverser encore la deuxième galerie de cellulose et ainsi de suite.

On remplace ordinairement dans ces filtres à cadres, les feuilles de papier autrefois employées par les gâteaux de cellulose dont nous avons parlé dans notre description, et qui peuvent être employés longtemps, en les stérilisant de temps à autre, tandis que les feuilles de papier ne supportaient aucun nettoyage.

Dans les filtres à masse, deux dispositifs existent : l'un, le plus commun, consiste en une série de couches de cellulose, séparées par des plateaux métalliques perforés et contenues dans un récipient clos, qui est presque complètement rempli ; tantôt la bière arrive par la partie inférieure, tantôt par la partie supérieure, toujours sous l'influence d'une pression d'air.

Filtre Mœglin. — L'autre dispositif, qui mérite une mention spéciale, est le filtre construit par MM. Laurent

Mœglin et Cie à Reims, et qui est représenté sur la figure 70. La masse filtrante est placée entre deux cylindres concentriques en toile métallique, où elle se tasse d'elle-même en perdant son eau; au centre se trouve un espace assez considérable formant réservoir

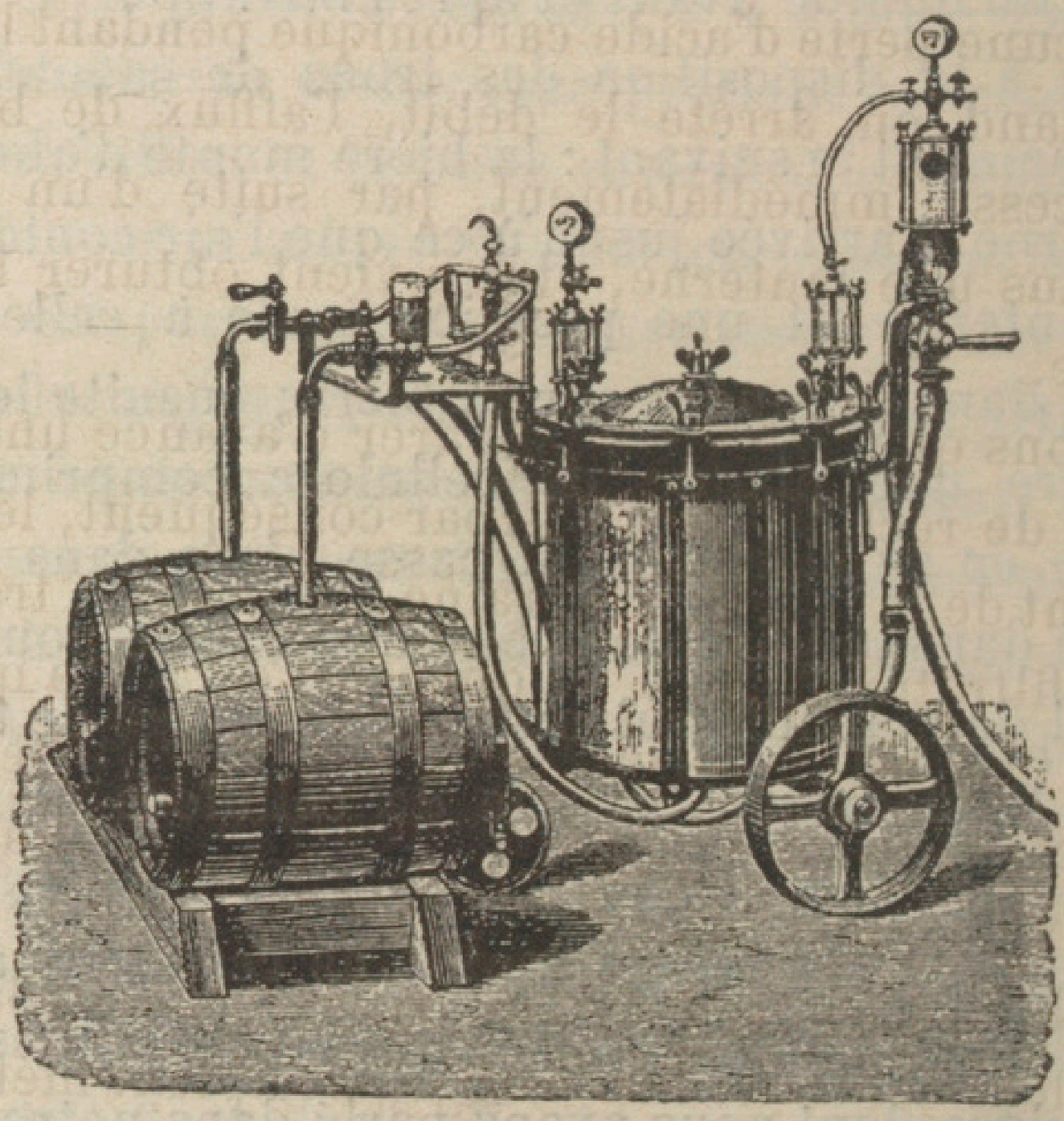


Fig. 70. — Filtre (Laurent Mœglin et Cie, à Reims).

d'air. Les deux cylindres concentriques étant fortement appliqués contre le fond avec un joint de caoutchouc, la bière est forcée de traverser la masse, avant d'arriver au compartiment central, et elle s'écoule par la partie inférieure.

L'existence de ce compartiment central présente un grand avantage; il forme matelas et empêche, quand on arrête l'écoulement de bière filtrée, les secousses qui dans les autres filtres détachent de la masse les matières qui s'y étaient collées et qui reviennent en suspension : il en résulte que dans les autres systèmes, on ne

peut arrêter le débit sans que la bière se trouble. Dans le filtre Laurent Mœglin, au contraire, la filtration reprend après un arrêt sans que la bière cesse d'être brillante.

Le compartiment central est rempli d'air à la même pression que celle exercée sur la bière, de sorte qu'il n'y a aucune perte d'acide carbonique pendant la filtration. Quand on arrête le débit, l'afflux de bière du foudre cesse immédiatement, par suite d'un flotteur placé dans une lanterne, et qui vient obturer le tuyau d'arrivée.

Ajoutons que l'on peut préparer d'avance une masse filtrante de rechange, et que par conséquent, le renouvellement de la masse n'entraîne qu'un arrêt très court dans la filtration. Enfin la quantité de bière qui reste dans le filtre est extrêmement faible. Ce filtre, d'une construction très soignée, nous semble ce qui a été fait de mieux jusqu'ici dans ce genre d'appareil.

Dans les filtres à masse, genre Stockheim, la masse de cellulose est contenue dans un récipient métallique, qu'elle remplit presque entièrement ; elle est formée de plusieurs couches séparées par des plateaux de toile métallique et disposées de telle façon que la bière entrant par la partie supérieure doit traverser toute la masse pour gagner le tuyau de sortie.

Ces filtres, quel que soit le système employé, doivent être lavés à l'eau sous pression circulant en sens inverse de la bière, dès que l'on arrête leur marche. De plus, lorsqu'on interrompt le travail pendant quelque temps, et, en tous cas, à intervalles rapprochés, il convient de les démonter, de passer l'intérieur et les tuyaux à la vapeur, et de soumettre la pâte de bois à la cuisson

dans un autoclave, après l'avoir lavée soigneusement pour éliminer les dernières traces de bière qu'elle peut retenir.

L'effet du filtre n'est nullement une stérilisation complète de la bière; des essais faits par Lafar, il résulte que les 9/10 des levures de la bière sont retenues par le filtre, mais que les levures sauvages traversent plus facilement les matières filtrantes que les levures de culture. Quant au nombre de bactéries, il est sensiblement le même dans la bière après ou avant filtration.

D'ailleurs, lorsque le filtre a été en service quelque temps, il ne retient plus les levures, et celles-ci finissent par exister en notable proportion dans la bière.

Le lavage à l'eau augmente en général le nombre des bactéries de la bière filtrée, et l'accroissement est d'autant plus grand que l'on emploie de l'eau moins pure.

Dans un essai de Lafar, après un lavage d'une demi-heure à l'eau, la première bière filtrée contenait près de cinq fois autant de bactéries qu'avant filtration.

Ceci nous montre quelles précautions l'on doit prendre dans l'usage des filtres; il est clair que si on laisse le filtre gorgé de bière pendant quelque temps, cette bière se trouvant en contact avec les organismes retenus par le filtre s'altérera rapidement, et le nombre de bactéries contenues dans la première bière qui traversera l'appareil sera fortement accru, au point de pouvoir infecter la bière.

Si on lave avec de l'eau impure, on obtiendra encore le même résultat. La conclusion, c'est qu'on ne doit employer au lavage du filtre que de l'eau contenant le plus petit nombre possible de bactéries, et qu'on doit

stériliser fréquemment la matière filtrante, en démontant et nettoyant complètement le filtre.

Mise en fûts. — La filtration ne peut s'effectuer qu'avec une certaine pression exercée sur la bière contenue dans le foudre de garde ; 5 à 8 dixièmes d'atmosphère sont suffisants, et l'on obtient cette pression soit par de l'air comprimé, soit par de l'acide carbonique liquide. Ce dernier corps présente sans doute des avantages, notamment celui de maintenir pendant l'opération la bière saturée d'acide carbonique ; mais, en revanche, le gaz carbonique est d'un prix élevé, et son emploi n'est pas possible sans détendeur spécial ; encore le maniement des bombes à acide carbonique est-il assez dangereux, lorsqu'il est confié, même avec un détendeur, à des ouvriers ne connaissant pas le danger de corps à telle pression : il suffit que le détendeur cesse de fonctionner, pour que, la pression augmentant, le foudre puisse éclater ; aussi, dans l'état actuel, a-t-on conservé presque partout le soutirage à l'air comprimé, celui-ci étant débité sous pression constante de 1/2 à 1 atmosphère.

Le filtre étant étanche, la bière sort de cet appareil avec la pression même qu'elle possédait dans le foudre. Mais dès qu'elle se trouve dans le fût à remplir, à une pression plus basse, un dégagement abondant d'acide carbonique se produit, la bière mousse fortement et, naturellement, elle sera moins piquante et moins mousseuse à la dégustation.

Cet inconvénient étant dû uniquement à la diminution de pression, on a songé qu'il suffirait de maintenir dans le tonneau une pression sensiblement égale à celle que supporte la bière dans le foudre. Supposons que la

bière arrive par un tube ayant rigoureusement le même calibre que la bonde, et pouvant fermer hermétiquement celle-ci. La bière commencera à couler, en comprimant l'air contenu dans le tonneau, et l'écoulement s'arrêtera lorsque cet air aura la même pression que celle supportée par la bière. Si maintenant le tonneau est muni d'une petite ouverture dont on puisse régler à volonté le diamètre, on pourra faire en sorte que la pression demeure constante dans ce fût, et très légèrement inférieure à celle de la bière.

C'est là le principe des appareils dits à contre-pression.

Il existe, bien entendu, des appareils qui le réalisent d'une façon plus ou moins complexe ; en effet, dans le dispositif précédent, il y a toujours perte d'un peu d'acide carbonique au début de l'écoulement de bière, et il suffit d'une ouverture un peu trop grande du tampon à vis D, pour provoquer aussi une diminution de pression. Pour l'éviter on peut commencer par remplir le tonneau d'air à la pression de la bière elle-même ; ensuite on fait arriver le liquide, en permettant la sortie de l'air. Dans le système Enzinger, on emploie un cylindre de verre épais muni de deux calottes de laiton. L'inférieure porte deux tubes, l'un B amenant la bière sous pression, l'autre conduisant au tonneau ; la calotte supérieure est munie d'une ouverture O qu'on laisse toujours ouverte à l'extérieur, mais qui peut être fermée par un flotteur contenu dans l'appareil ; de la partie supérieure de l'appareil part un tube qui rejoint un robinet à trois voies R. On fait arriver la bière par le tuyau B ; elle coule dans le cylindre jusqu'à ce que le niveau du liquide permette au flotteur de boucher l'ouverture O ; à ce moment la compression de l'air du cylindre com-

mence ; l'équilibre une fois établi, le robinet R permet de mettre en communication le tonneau avec la partie supérieure du cylindre. Un nouvel afflux de bière se produit, jusqu'à ce que l'air du tonneau soit aussi à la même pression que celui contenu dans le cylindre. On manœuvre alors le robinet R de façon à faire communiquer d'une part le tuyau de sortie de la bière avec le tonneau, et d'un autre côté, l'air du tonneau avec la partie supérieure du cylindre ; le niveau de la bière baissant, l'orifice O s'ouvre de nouveau et l'air peut s'échapper ; mais toujours en laissant constante la pression dans tout l'appareil.

Bière en bouteilles. — L'usage de la bière en bouteilles s'est beaucoup répandu depuis quelques années et c'est maintenant un article que tout brasseur est presque obligé de produire.

La bière en bouteilles est fort sujette aux altérations et l'on doit apporter pour elle le plus grand soin non seulement à la fabrication, mais à toutes les opérations accessoires.

Au point de vue fabrication, il faut opérer avec des malts aussi peu azotés que possible, une levure à forte atténuation, et au besoin aérer en cuve à fermentation, ce qui produit une atténuation plus forte et augmente la quantité de levure produite.

Ce dernier fait a généralement pour résultat d'épuiser aussi complètement que possible la bière en matière azotée assimilable. Ce point est fort important, car une des altérations les plus communes de la bière en bouteilles, c'est un nouveau développement de levure qui trouble d'abord légèrement le liquide, ensuite se dépose, mais en général si peu compacte que l'on voit un nuage

s'élever, et la bière se troubler quand on touche la bouteille.

Or Delbruck a montré que dans une bière fortement atténuée, ni levures sauvages, ni levures de culture ne se développaient plus, mais qu'il suffisait d'introduire dans cette bière un peu de matière azotée assimilable, asparagine, ou simplement moût, pour voir les cellules de levure se propager en quelques jours.

Les malts peu azotés sont donc aussi indiqués, et l'on peut remplacer une partie du malt par un peu de riz ou de maïs.

Comme les bactéries se développent aussi plus facilement dans les bières peu atténuées ou encore riches en azote assimilable, les conditions précédentes de fabrication serviront aussi à éviter autant que possible les infections bactériennes.

On peut joindre à ces précautions l'emploi d'une dose de houblon un peu plus forte, si la clientèle accepte l'amertume qui en résulte.

Une condition essentielle de conservation de la bière, c'est qu'elle soit bien saturée d'acide carbonique. Il est donc indiqué d'opérer avec les appareils à contre-pression la mise en bouteilles ; mais cela ne suffit pas encore : il faut mettre en bouteilles à partir du foudre directement, et non pas avec des tonneaux tirés préalablement au foudre.

La teneur en acide carbonique est en effet bien différente. Dans un essai, les bouteilles prises au foudre tenaient 0, 33 p. 100 d'acide carbonique ; une partie du même foudre ayant été placée en même temps dans des fûts, qui servirent le lendemain à la mise en bouteilles, la bière de cette seconde opération ne contenait plus

que 0,234 p. 100 d'acide carbonique ; au bout de quinze jours, elle était troublée par les levures, tandis que celle prise au foudre restait intacte.

Enfin il faut porter son attention sur l'eau servant au rinçage des bouteilles et dont il reste toujours une certaine quantité après le verre ; si l'eau renferme des bactéries capables de se développer dans la bière, il suffira de ces quelques gouttes laissées par l'égouttage, pour infecter les bouteilles, et réduire beaucoup leur durée de conservation. On devra donc s'assurer par une analyse que l'eau ne renferme aucun organisme capable de se développer dans la bière.

La mise en bouteilles s'effectue quelquefois encore à l'aide d'un long tube partant du fût, et plongeant jusqu'au fond de la bouteille, mais à cause des pertes ce système est de plus en plus abandonné au profit des appareils à contre-pression, et des *soutireuses* qui permettent de remplir simultanément jusqu'à douze bouteilles. Le dispositif est d'ailleurs tout à fait le même que pour le remplissage des fûts : le col de la bouteille s'appuie contre une bague en caoutchouc qui produit une fermeture hermétique ; les soutireuses sont disposées de telle manière que la bouteille une fois pleine, la bière reflue dans une sorte de lanterne, fait remonter un flotteur qui obture la sortie de l'air ; la pression qui s'établit dans la lanterne fait alors équilibre à celle exercée dans le foudre et la bière cesse d'affluer à l'appareil.

Conservation de la bière en bouteilles ou en fûts. — Pasteurisation. — Antiseptiques. — La plupart des maladies de la bière étant dues à des ferments, c'est-à-dire à des êtres vivants, dont le développement provoque

des troubles ou des changements de goût, M. Pasteur a montré qu'en chauffant des bouteilles de bière bien closes à 60° environ, on détruisait tous les germes et on assurait à la bière une conservation indéfinie; on a donné à ce procédé le nom de pasteurisation.

Les bouteilles soigneusement bouchées, le bouchon étant maintenu par du fil de fer ou des bandelettes de fer-blanc, sont disposées les unes sur les autres dans une bâche, contenant de l'eau, et dans laquelle on fait arriver de la vapeur, jusqu'à ce que la température de l'eau soit de 65° environ; on la maintient quelques minutes et on laisse refroidir.

Il faut avoir soin que la température ne s'élève pas au delà de 68°, sans quoi l'on aurait une coagulation de matières azotées; si d'autre part on ne chauffe que très peu, la température du bain étant toujours plus élevée que celle des bouteilles, la bière n'est pas du tout stérilisée.

La pasteurisation est donc d'une réussite assez délicate, puisqu'en chauffant fort, on risque des précipitations de matière azotée et qu'en chauffant modérément on ne stérilise pas la bière.

Un autre danger, c'est le goût de chauffé que prend facilement la bière pasteurisée. Lintner a reconnu qu'il existait toujours dans la bière une certaine quantité d'isomaltose; or ce sucre se caramélise déjà à 48° et au-dessus; il ne faut donc rester que le moins de temps possible au-dessus de 48°, et se hâter de refroidir la bâche avec de l'eau tiède dès que la température maxima est atteinte.

La stérilisation parfaite peut être effectuée à température peu élevée, 55° au plus, à condition de chauffer

plusieurs fois les bouteilles; mais c'est là une méthode peu pratique.

La pasteurisation de la bière en bouteilles est assez onéreuse et d'une conduite délicate; on a essayé de pasteuriser la bière des fûts d'expédition, en la faisant séjourner dans un cylindre métallique clos, traversé longitudinalement par des tubes où circule de l'eau chaude. Dans l'intérieur du cylindre, on exerce une pression d'air ou mieux d'acide carbonique pour empêcher toute perte de ce gaz. On monte lentement à 45° environ, puis en quelques minutes à 55-56°; à ce moment on remplace l'eau chaude des tuyaux par de l'eau froide, de façon à refroidir en quelques minutes au-dessous de 48°.

Ce procédé stérilise évidemment la bière, au même titre que la pasteurisation des bouteilles, il évite le goût de chauffé; mais son emploi ne nous paraît pas fort logique. On comprend très bien que l'on stérilise la bière dans les bouteilles mêmes où elle doit être gardée, mais si l'on stérilise la bière et qu'on l'introduise ensuite dans des foudres ou des bouteilles non stérilisés, des infections peuvent se produire exactement comme sans pasteurisation.

En somme la pasteurisation est une opération délicate et assez onéreuse, à cause du bris de bouteilles qui se produit à chaque opération. Pour simplifier, beaucoup de brasseurs ajoutent à la bière divers antiseptiques. Il faut se montrer très prudent dans l'emploi de ces produits, car il s'en rencontre beaucoup, qui sont légalement prohibés, ou qui sont de vrais toxiques, ou enfin qui sont dangereux pour la conservation de la bière.

Il existe par exemple des antiseptiques à base d'acide

salicylique, d'autres qui contiennent une forte proportion de fluorures ou d'acide hydrofluosilicique et qui peuvent être considérés comme de vrais poisons.

Nous avons rencontré aussi un de ces produits qui provoquait un trouble de la bière par suite de sa mauvaise préparation ; une autre, formé de bisulfite d'ammoniaque, introduisait dans la bière des substances assimilables comme les sels ammoniacaux, et favorisait par suite le développement des levures et des bactéries.

Le seul antiseptique dont nous considérions l'usage comme admissible, c'est le bisulfite à la dose de 25 grammes au plus par hecto. L'acide sulfureux se transforme assez vite en acide sulfurique, de sorte qu'au bout de quelque temps il est presque impossible de retrouver l'acide sulfureux ; d'ailleurs, à cette dose, il n'exerce aucune action fâcheuse sur le goût de la bière.

Une remarque générale à propos des antiseptiques, c'est qu'il ne faut pas leur demander une stérilisation complète, mais seulement l'engourdissement des ferments de façon à prolonger la conservation de la bière. En effet les doses qui amèneraient la stérilisation se sentiraient dans la bière comme goût.

On a fait divers essais de conservation de la bière par l'électricité, ou par l'ozone, mais jusqu'ici ces procédés n'ont donné aucun résultat satisfaisant, au moins au point de vue pratique.

CHAPITRE X

MALADIES DE LA BIÈRE. — ACCIDENTS DE FABRICATION

Les maladies de la bière peuvent être rapportées à deux grandes catégories, celles qui sont d'ordre chimique, et celles qui sont provoquées par des ferments organisés, levures, bactéries, mycoderme.

Maladies d'ordre chimique.

Ces maladies, qui sont ordinairement des troubles, des colorations défectueuses, ou des goûts désagréables, ont pour origine soit la mauvaise qualité des matières premières, soit un travail défectueux ; un certain nombre d'entre elles ne sont pas susceptibles de guérison, et le seul moyen est de prendre toutes les précautions possibles pour les prévenir.

Nous décrirons d'abord trois accidents classiques, qui provoquent des troubles.

Trouble d'empois ou d'érythrodextrine. — Il est caractérisé par une apparence louche ou laiteuse de la bière, qui est déjà visible et même plus apparente dans le moût avant la fermentation. Ce trouble s'atténue par la conservation, mais il ne disparaît pas par la filtration.

On reconnaît ce trouble aux essais suivants : On

remplit à moitié un verre avec de l'alcool fort, à 90° au moins, puis on ajoute 1/5 de verre environ de la bière suspecte. Il se produit un trouble abondant, qu'on laisse déposer; après quelques heures, on trouve au fond du verre un précipité compact, adhérent, et un liquide clair que l'on vide avec précaution, et aussi complètement que possible. On verse alors sur le dépôt quelques gouttes d'eau, et on agite pour dissoudre la matière adhérente ; on laisse tomber dans le verre deux ou trois gouttes d'une solution d'iode très étendue (1 gramme d'iode solide, 4 grammes iodure de potassium, 1 litre eau).

S'il se produit une coloration *bleue*, on à affaire à un trouble d'empois.

Si la coloration est *rouge*, c'est un trouble dû à l'érythrodextrine.

Il faut prendre garde, dans cet essai, à une confusion due à la présence dans la bière de résines du houblon qui peuvent elles aussi donner avec l'iode une coloration très faible, rouge violacé sale. Mais cette coloration ne se produit pas instantanément, et elle ne s'observe que lorsqu'on a ajouté une quantité d'iode bien plus considérable.

Le verre n'ayant pas donné de coloration immédiate, avec une addition d'iode de dix à douze gouttes par exemple, si on l'abandonne à lui-même pendant quelques minutes, l'excès d'iode qui communiquait au liquide une teinte jaune a disparu, et on trouve souvent, à sa place, la teinte rouge sale de la résine. On ne doit conclure à un trouble d'empois ou d'érythrodextrine que si la coloration a lieu immédiatement et avec quelques gouttes de la solution d'iode.

On peut joindre à cela quelques autres caractères. Par exemple le trouble d'empois disparaît quand on chauffe la bière et se montre de nouveau par refroidissement; il disparaît également en ajoutant à la bière un peu de soude ou de potasse, ou quand on la chauffe avec un acide, mais dans ces deux cas. il ne reparaît plus.

Causes du trouble d'empois. — C'est toujours une saccharification défectueuse, provenant soit de la mauvaise qualité du malt, soit d'un mauvais travail.

Dans le brassage pour infusion, une des causes les plus fréquentes est l'emploi d'eau très chaude, pour la première trempe; si on l'effectue comme quelquefois au voisinage de 75° (système anglais), on détruit une forte partie de la diastase. Si ensuite on fait bouillir la première trempe dans la chaudière, avant la réunion des trempes, on achève de détruire cette diastase déjà bien affaiblie, et lorsque les trempes de lavage données à l'eau bouillante amènent de l'amidon des empois, celui-ci n'est plus saccharifié. Le moût coule clair et le reste tant que le liquide reste bouillant; mais une fois le refroidissement effectué l'amidon se dépose, et produit le trouble dit d'empois; on peut donc apercevoir ce trouble déjà dans la cuve guilloire.

Cette cause d'accident est encore beaucoup plus active, quand on a affaire à des malts de dissolution défectueuse et peu riches en diastase.

En fermentation basse, le trouble d'empois peut se manifester d'abord quand on ramène trop vivement les trempes dans la cuve matière; pour les portions de malt, ou de moût, qui sont brusquement en contact avec la trempe bouillante, la diastase est détruite, et si cette

destruction se reproduit à chaque trempe, il finit pa. ne plus rester assez de diastase pour la saccharification complète. Le même fait se produit aussi quand la dernière trempe amène la température de la cuve matière au-dessus de 75 degrés.

Traitement du trouble d'empois. — La diastase ou, ce qui revient au même, l'infusion de malt faite à froid, attaque l'amidon, même à basse température, en présence de la levure. Si donc l'on ajoute à une bière troublée par l'empois, soit de la farine de malt, soit mieux une infusion claire de malt dans l'eau froide, et en même temps une certaine dose de Kraüsen, 2 à 5 p. 100, l'amidon se saccharifie et le trouble disparaît.

On peut employer, suivant l'intensité du trouble, 50 à 100 grammes de malt moulu par hectolitre de bière à traiter. On le fait infuser 2 heures avec de l'eau froide, en agitant de temps à autre; on fait passer à travers une toile fine ou un sac à trouble neuf, pour avoir une infusion aussi claire que possible, qu'on ajoute à la bière. Le trouble disparaît plus aisément dans les caves dont la température n'est pas trop basse.

Ce traitement n'est pas sans avoir quelque répercussion sur la composition de la bière. En effet la diastase introduite agit sur les maltodextrines dans la bière, de sorte que celles-ci fermentent : la fermentation complémentaire reprend donc une plus grande activité, mais elle ne peut plus se prolonger et l'atténuation augmente. Il est donc nécessaire de ne pas conserver la bière en caves longtemps après le traitement.

Trouble de glutine. — Il est caractérisé par la présence dans la bière de petits globules de matière azotée.

Le refroidissement de la bière augmente ce trouble, qui disparaît au contraire à peu près complètement en la chauffant; l'addition de potasse ou de soude fait également éclaircir la bière.

Causes du trouble de glutine. — La composition de l'orge et le travail du maltage jouent un rôle important dans la production du trouble de glutine : lorsqu'on a affaire à des orges très azotées, dont la plumule au maltage n'a pas été poussée très longue, une plus grande proportion de matières azotées entre en solution dans le moût et ces substances sont loin d'être coagulées complètement par la cuisson et le houblonnage, elles sont peu solubles à froid, et beaucoup plus à chaud. Lorsque donc on refroidit fortement la bière, une partie des substances azotées se précipite et se redissout à nouveau quand la température s'élève.

Il semble aussi que le trouble de glutine puisse apparaître par suite des matières albuminoïdes, laissées par la levure comme résidu; on voit en effet des moûts clairs à l'entonnement devenir troubles par la glutine soit dans la cave de garde, soit une fois en bouteilles ou en fûts d'expédition.

Ce trouble se produit d'ailleurs quelquefois à une température assez élevée, c'est-à-dire que la bière reste encore louche à 7, 8 ou 10°. A vrai dire, ce sont là les véritables troubles de glutine, puisque les bières qui louchissent à 3 ou 2°, sont de nouveau claires quand le client le consomme. Pour les premières il faut appliquer surtout les précautions préventives, et encore a-t-on parfois bien du mal d'éviter ce trouble quand les orges sont défectueuses.

Remèdes. — Le trouble de glutine disparaît quelquefois

par longue conservation à la cave de garde; les copeaux l'atténuent aussi, mais la filtration, pratiquée avec un faible débit sur une couche épaisse de masse filtrante, donne encore les meilleurs résultats; sans cependant que l'on puisse faire disparaître tous les troubles de glutine par ce moyen, tant s'en faut.

Pour les bières de fermentation haute, qui ont été fabriquées par infusion, et qui sont plus sujettes à ce trouble, on se trouve bien de refroidir aussi fortement que possible la bière avant de la filtrer ou de la coller; la glutine, qui dans ce genre de bière forme un trouble très abondant, est alors retenue par le filtre ou entraînée par le collage, et les bières ainsi traitées peuvent supporter plus aisément ensuite l'abaissement de température.

Comme moyens préventifs, on doit éviter les orges riches en azote, employer des malts à longue plumule, germés lentement et touraillés à température assez élevée, 75 à 80 degrés.

Le brassage de ces malts fait par décoction, et avec une durée d'ébullition des trempes un peu prolongées, éliminera beaucoup de matières azotées; la cuisson d'une durée normale de trois heures environ, sera portée à trois heures et demie ou quatre heures, la dose de houblon un peu forcée, et la fermentation conduite à la plus basse température possible. Une bière fermente à 5°, sans élévation sensible de température, sort absolument claire de la cuve et ne se trouble pas par refroidissement.

On doit également porter son attention sur la nature de l'eau; une eau à réaction alcaline redissout, en effet, les matières azotées coagulées à la chaudière;

et celles-ci se reprécipitent à la cuve guilloire; ce précipité très fin ne se dépose qu'avec une extrême difficulté, et il semble favoriser également la production par la levure, comme résidus de sa vie, de substances azotées se précipitant par refroidissement.

Quand on n'a à sa disposition qu'une eau ayant cette réaction alcaline, il faut la corriger par filtration sur de la pierre à plâtre, comme nous l'avons dit au chapitre de l'eau.

Trouble de résine. — Ce trouble se manifeste par la présence dans le moût de petits globules de couleur jaunâtre, réunis en forme de grappes de raisin, et qui paraissent constitués par l'une des résines du houblon; la présence de cette résine dans la bière semble devoir être attribuée à un défaut d'oxydation du moût, et à un refroidissement mal conduit. Si l'on examine, en effet, le dépôt laissé sur les bacs, on constate qu'il renferme une assez grande quantité de ces résines, qui sont comme fondues, et agglomérées en fragments volumineux.

Quand l'oxydation à chaud est défectueuse, on ne trouve que peu de ces résines et le moût, une fois refroidi, reste louche.

Le trouble de résine se distingue par l'examen microscopique, d'après l'apparence de ces grappes de globules jaunes; une telle bière s'éclaircit par la chaleur et se trouble de nouveau par refroidissement; la potasse la rend limpide, mais en la colorant en jaune brun; enfin l'éther et mieux la benzine, en dissolvant les particules de résine, clarifient également la bière.

Remèdes. — Le trouble de résine disparaît par une

longue conservation; il est en général éliminé par le collage des bières hautes, et par la filtration; il va de soi que si l'on filtre des bières troubles, on doit opérer avec des masses filtrantes serrées et avec un faible débit. Il est essentiel aussi d'éviter là, plus encore que d'habitude, les variations de pression qui remettraient en suspension les matières retenues par la masse filtrante.

Comme moyen préventif, on peut augmenter un peu l'oxydation du moût sur bac ou à l'oxygénateur.

Autres accidents d'origine chimique. — *Coloration anormale*. — On observe sur certaines bières une coloration verte ou rouge, qui, sans influence sensible sur la conservation, constitue cependant une calamité pour le brasseur. La coloration est due à l'orge employée, et on l'observe de préférence avec les orges exotiques, celles qui ont été récoltées avant maturation complète, ou qui ont été mouillées après la moisson. Il n'y a aucun moyen de faire disparaître cette coloration, que le changement de malt.

La teinte rougeâtre peut se constater aussi avec des orges en apparence saines, mais qui sont infectées de bactéries; celles-ci produisent une désorganisation complète des enveloppes et provoquent une sorte de transformation chimique des tissus. Dans les orges très chargées de bactéries, on remarque un développement rabougri des radicelles, une acidité anormale du malt vert et une coloration rouge désagréable des moûts et de la bière. Il y a donc lieu de surveiller l'orge employée au maltage, au point de vue des ferments qu'elle porte.

Les eaux contenant une forte proportion de nitrates

donnent aussi une coloration rouge, accompagnée d'un goût âpre et désagréable.

D'autres colorations peuvent être attribuées à la composition de l'eau. Une teinte vert noir, provient des sels de fer, qui se combinent au tannin du houblon. C'est en somme la production d'encre en petite quantité ; les eaux ferrugineuses exerceront déjà cette action au maltage, les enveloppes devenant brunes.

Les eaux alcalines brunissent le moût à la chaudière, et il en est de même des eaux très chargées de matières organiques.

L'emploi de malts fraîchement touraillés donne des moûts peu clairs à la mise en perce.

Quand on utilise le maïs brut, ou incomplètement dégraissé, la matière grasse s'émulsionne dans ce moût, et celui-ci se trouble par refroidissement. En même temps, le moût prend une odeur fort désagréable, mais qui disparaît souvent complètement par la fermentation; il faut d'ailleurs remarquer que, en travaillant même du maïs dégraissé, déjà à la dose de 20 p. 100, le moût coule peu clair, et avec cette même odeur, qui disparaît absolument par la fermentation. Il y a donc lieu de n'employer ce maïs qu'avec garantie d'une teneur en matière grasse inférieure à 0,5 p. 100 et faire contrôler cette richesse par l'analyse.

On peut compter également au nombre des accidents de fabrication les saveurs anormales de la bière, et la cause de celles-ci est d'autant plus malaisée à constater que la saveur est un caractère délicat et, en quelque sorte variable avec chaque dégustateur.

Certaines orges donnent, par exemple, un goût âpre, en particulier rencontré pour des échantillons

d'orge de Moldavie et de Roumanie, et quelques escourgeons.

La ventilation des caves, quand elle est défectueuse, fait prendre à la bière un goût analogue à celui de moisi ; les fermentations chaudes, une saveur semblable à celle des bières pasteurisées.

Les houblons médiocres donnent une saveur âpre et amère, d'autant plus forte que leur ébullition a été plus prolongée, et l'aération même paraît provoquer dans quelques cas ce même goût âpre, par suite de l'oxydation de principes constituants des houblons.

On ne peut employer contre ces goûts anormaux que des moyens préventifs et surtout le choix de bonnes matières premières et une fabrication soignée dans tous ses détails.

Accidents dus à des ferments.

Ces accidents se traduisent par des troubles ou une saveur anormale, et ils sont souvent liés à un défaut de fabrication, c'est-à-dire que les causes d'infection restant les mêmes, telle bière normalement fabriquée résistera, tandis qu'une autre sera complètement gâtée. Il y a donc lieu, en général, quand l'existence d'une maladie due à des ferments a été reconnue, de chercher à faire disparaître non seulement le foyer d'infection, cause directe, mais encore le défaut de fabrication qui a préparé le terrain aux mauvais ferments. Ajoutons que le contrôle doit être particulièrement sévère pour ce qui tient aux maladies bactériennes, car une fois l'infection commencée, il faut souvent un long temps, des semaines et des mois pour l'éliminer, tandis

qu'au début, il suffit souvent de quelques nettoyages pour l'arrêter.

On peut reconnaître les maladies d'origine microbienne par l'examen microscopique, après avoir vérifié que la bière ne s'éclaircit pas par addition de soude ou de potasse concentrée.

Les accidents dus à des ferments peuvent être rangés en plusieurs catégories suivant l'espèce de ferments qui les provoquent.

Levures de culture. — Ce trouble peut apparaître de deux façons : d'abord la clarification ne se fait pas pendant la période de conservation, et l'examen microscopique décèle dans la bière la présence de nombreuses cellules de levure, dont beaucoup sont rabougries et mal développées. L'origine de ce trouble est ordinairement un affaiblissement du levain, dû lui-même, soit à un moût trop dextrineux ou à une aération insuffisante du moût à froid, ou à la présence d'antiseptiques, ou enfin à une ventilation défectueuse des cuves de fermentation. Ces deux dernières causes peuvent être éliminées tout d'abord par une modification de la ventilation et la suppression des antiseptiques; quant à l'affaiblissement du levain, on le combat par l'aération du levain avant l'emploi, par l'injection d'air dans les cuves à fermentation, et si ces procédés ne suffisent point, par l'addition au malt d'une certaine proportion de malt de bonne qualité, peu touraillé et riche en diastase. On peut également ajouter au levain un peu de farine de malt, ou même un peu d'infusion de malt faite à froid, comme si l'on voulait faire disparaître un trouble d'empois. Cette addition revient à introduire de la diastase dans le moût, et elle a pour résultat de

changer en maltose fermentescible, les maltodextrines de type élevé qui rendent la fermentation difficile. On augmente également ainsi l'atténuation et la fermentation principale.

La clarification mauvaise ne résiste pas, en général, au séjour sur copeaux et à la filtration, mais elle est d'un mauvais augure pour la conservation, et le trouble peut aisément reparaître sous sa seconde forme, à laquelle nous arrivons maintenant et qui est la plus fréquente.

Il arrive souvent, et l'on peut même dire toujours, après un temps plus ou moins long, que la bière en bouteille forme un dépôt léger, qui se remet en suspension au moindre mouvement, quoique la bière ait été tirée parfaitement brillante du foudre. Ce dépôt consiste ordinairement en cellules de levure, dont la formation s'explique de la façon suivante : Quel que soit le brillant de la bière et la perfection du filtre, celui-ci laisse toujours passer un certain nombre de cellules; la fermeture des bouteilles n'est jamais parfaite, et à mesure que la conservation se prolonge, il rentre de l'air dans le liquide; si, en outre, la bière n'est pas fortement atténuée, ou si par la nature du malt, elle contient encore des matières azotées, assimilables par la levure, celle-ci se remet à bourgeonner, et cela d'autant plus vite que les cellules restant étaient plus vigoureuses, le milieu moins épuisé et que la mise en bouteilles à introduit plus d'air dans la bière.

On peut prévenir ce développement si désagréable de cellules de levure par un ensemble de précautions: la bière destinée aux bouteilles doit être faite avec du malt aussi peu riche en azote que possible; la fermen-

tation sera conduite très froidement, vers 5-6°, et sans grande variation de température ; ceci permet d'introduire dans le foudre de garde très peu de levure ; l'atténuation à la cuve sera très élevée, il ne faut pas craindre d'atteindre 68 et 70 p. 100 ; la bière sera conservée dans une cave très froide, avec une fermentation complémentaire très peu énergique, ne consommant que 0,3 à 0,5 p. 100 extrait au plus, et le séjour dans la cave de garde devra être aussi long que possible.

Par ces procédés on affaiblira la levure restant dans le foudre et comme par la fermentation à très basse température, on a réduit beaucoup le nombre de cellules arrivant dans la cave de garde, on a chance de n'introduire dans les bouteilles qu'un très petit nombre de cellules fort affaiblies et qui ne pourront plus bourgeonner.

A cela on doit joindre la mise en bouteilles directement au foudre, et l'emploi d'appareils à contre-pression pour réduire au minimum la perte d'acide carbonique. Il est clair en effet que plus la bière sera saturée de ce gaz, et moins il y aura de rentrée d'air ; la bière saturée d'acide carbonique à 1° par exemple, laissera dégager dans la bouteille une certaine quantité de ce gaz qui fera pression au-dessus du liquide, et si la fermeture est hermétique, la levure ne pourra plus trouver aucune trace d'oxygène, son développement sera alors rendu encore plus malaisé. Nous savons en effet qu'une levure affaiblie ne bourgeonne que si on lui fournit de l'oxygène, ce fait ayant été démontré par Pasteur.

Pour éviter la production du trouble de levure en bouteilles, quelques brasseries pasteurisent, mais il ne semble pas que ce traitement soit toujours suffisant, du

moins tel qu'il est pratiqué d'habitude. J'ai eu en effet l'occasion d'examiner des bières pasteurisées qui montraient après quinze jours un fort dépôt de cellules de levure. Cela n'est pas étonnant si nous nous rappelons que les cellules ne sont tuées qu'après cinq minutes au moins à 60° environ, le fait ayant été prouvé par M. Kayser. Or, pratiquement, on pasteurise en chauffant l'eau du bac à 60-65°, mais sans contrôler la température dans la bière même. Suivant l'épaisseur du verre, la répartition plus ou moins régulière des températures, les bouteilles peuvent n'atteindre que 50 ou 55° et cela pendant un temps très court; il en résulte que la stérilisation n'est pas complète.

Comme agent auxiliaire, on utilise aussi souvent les antiseptiques. J'ai dit à plusieurs reprises tout le mal que je pensais de ces produits, en ne faisant exception que pour le bisulfite; or à la dose de 4 à 5 grammes par hectolitre, employée d'habitude, le bisulfite est incapable d'exercer une action antiseptique quelconque. Il faudrait augmenter notablement cette dose, et avec la crainte alors que le goût d'acide sulfureux se fasse sentir.

Nous croyons donc que, pour la conservation de la bière en bouteilles, les conditions de la fermentation et l'atténuation doivent jouer le rôle principal, et que la pasteurisation, si l'on y a recours, doit être effectuée de façon à atteindre sûrement 60° et à maintenir cette température au moins cinq minutes dans les bouteilles. Dans ces conditions, les seules efficaces, le goût de pasteurisation n'est pas trop sensible, mais il se manifesterait à la moindre élévation de température.

Le trouble de levure peut aussi, d'après Hansen, se

produire quand le levain comprend deux races à atténuations differentes. La fermentation suit d'abord son cours avec la race à plus faible atténuation, sans que la seconde se développe sensiblement ; lorsque l'atténuation répondant à la première est attteinte, il se produit comme un arrêt de peu de durée, et la deuxième race commence à se développer, d'autant plus aisément que l'écart d'atténuation est plus considérable, puisque la proportion de matières azotées assimilables est faible pour les levures peu énergiques, et que la première race a laissé une forte quantité de ces substances pour la nutrition de la seconde. Cette deuxième race se développe donc et la production de nouvelles cellules amène un trouble de la bière. Ce trouble peut ne se manifester qu'après un temps plus ou moins long, par exemple lorsque le soutirage a réintroduit un peu d'oygène dans la bière.

La possibilité de troubles provoqués par un mélange de deux races est certainement démontrée par Hansen, mais il semble difficile d'admettre la fréquence d'une telle cause : en effet la grande majorité des levains industriels, et il y a quelques années, tous les levains étaient composés de plusieurs races ; or les troubles n'étaient pas plus fréquemment observés qu'actuellement. Il nous paraît donc qu'on ne saurait conclure à la généralité du cas observé par Hansen : l'emploi des levures de race unique a de nombreux avantages, mais l'expérience pratique a prouvé constamment que les troubles de levure ne se produisaient guère avec une levure mixte complètement acclimatée et une bière normalement atténuée.

Refermentation. — Lorsqu'un levain composé de

plusieurs races à atténuation très différente se trouve ensemencé dans un moût dextrineux, on peut après quelques générations observer une refermentation : ceci se produit surtout avec les levures hautes qui sont souvent mélangées de levures basses, en quantité moindre. Supposons que la fermentation peu surveillée, ne durant que le temps habituel, devenu insuffisant pour une levure affaiblie par plusieurs générations dans du moût peu sucré, l'atténuation ne soit que 50 p. 100 par exemple. La bière haute est soumise pendant quelques jours à une fermentation complémentaire peu active puisque la composition du moût est défectueuse, puis collée et expédiée soit en fûts, soit en bouteilles. La mise en bouteilles ou le transvasement dans les fûts d'expédition donne à la levure restant un regain de vigueur, le transport ou le séjour dans des locaux plus chauds, ramènent un développement de la levure basse et une fermentation plus énergique ; l'acide carbonique s'accumule en vase clos et la pression peut faire éclater les fûts, on transforme la bière en bouteilles en une sorte de limonade gazeuse, sous une pression telle que, en débouchant, tout le liquide est projeté sous forme de mousse.

Ces phénomènes n'apparaissent qu'après plusieurs générations, parce que les conditions du milieu sont inégalement mauvaises pour les diverses races, et que l'équilibre existant entre elles par suite de l'acclimatation se trouve rompu.

Le seul remède à un pareil état de choses est de ramener le moût à une composition normale, soit par le changement de malt, soit par une modification du procédé de fabrication, soit par un renouvellement du levain.

Levures sauvages. — On donne pratiquement ce nom à toutes les espèces de levures qui produisent dans la bière des manifestations anormales, troubles, goût amer, etc. Les levures sauvages sont surtout véhiculées par l'air, et elles existent dans l'atmosphère en grande quantité à l'époque de la maturation des fruits, beaucoup d'entre elles se trouvant à la surface des prunes, cerises, groseilles ou raisins. Elles paraissent s'introduire primitivement dans le moût pendant le passage de celui-ci au réfrigérant, et peuvent même dans certains cas occasionner des fermentations spontanées; une fois entrées dans le moût, elles souillent le levain, de plus en plus, se perpétuent dans les tuyaux mal entretenus, dans l'air même et finissent par occasionner de graves accidents qui ont été signalés d'abord par Hansen.

L'introduction des levures sauvages dans la bière peut se faire de deux façons bien différentes par les résultats de cette infection.

Levure après la fermentation principale. — 1° Dans la bière, après la fermentation principale. Hansen a fait voir que dans ce cas les levures sauvages ne produisaient d'altération sensible que si la bière avait un extrait supérieur à 6,5 p. 100. C'est là un cas exceptionnel pour nos bières françaises. D'ailleurs l'introduction de ces levures sauvages après fermentation, ne s'explique guère que par l'atmosphère, et on comprend aisément que si des levures sauvages s'abattent dans une cuve à fermentation, le liquide saturé d'acide carbonique et privé de la majeure partie de ses éléments assimilables par la levure de culture, ne présente qu'un terrain peu favorable aux levures sauvages. Celles-ci ne peuvent donc se pro-

pager que si l'atténuation du moût a été faible, c'est-à-dire si les matières nutritives subsistent encore en quantité suffisante. Si l'on joint à cela que beaucoup de levures sauvages sont de fermentation haute, et que le séjour dans les caves de garde les affaiblit considérablement, on verra que les chances d'infection par les levures sauvages après la fermentation principale sont très restreintes pour nos bières françaises assez fortement atténuées. Le danger n'existe et encore pas très redoutable que pour les bières genre Munich, à basse atténuation.

2° *Levures sauvages avant la fermentation principale.* — Ce cas répond à la présence des levures sauvages dans le levain, ou dans le moût; dans ce dernier cas elles proviennent de l'air ou des tuyaux.

Quand il y a une grande quantité de levures sauvages, apportées par le moût, on peut observer quelquefois, mais rarement, une fermentation spontanée. Celle-ci serait d'ailleurs favorisée par un séjour prolongé du moût dans la cuve guilloire avant mise en levain, c'est là un accident exceptionnel.

Le plus souvent, que les levures sauvages soient apportées par le moût ou par le levain, on se trouve dans les conditions que nous avons signalées pour la coexistence de plusieurs races de levure : c'est-à-dire que le développement des levures sauvages se fera mal, donnant des cellules plus petites qui resteront plus facilement en suspension dans la bière; une partie des levures sauvages se mélangera cependant à la levure, qui s'infectera de plus en plus, les autres seront soutirées dans la cave de garde. Pendant la période de conservation, on n'observe en général que peu de phé-

nomènes anormaux, c'est-à-dire que la clarification suit son cours, sans développement de goût spécial, sauf le cas d'une énorme quantité de levures sauvages.

Mais, quand la bière est filtrée et répartie dans les fûts d'expédition, ou dans les bouteilles, elle contient toujours des levures sauvages, beaucoup d'entre elles ayant des cellules de petite dimension qui traversent les filtres plus aisément que le levain de culture : la température s'élève dans la cave du débitant, et les levures de maladie se développent avec leurs ennuyeux caractères, trouble, goût désagréable ou amer.

Ce développement est d'autant plus aisé et rapide que l'atténuation a été plus faible, c'est-à-dire que les levures trouvent encore plus de substances assimilables.

Le remède à cet état de choses ne peut être que préventif, c'est-à-dire que l'on doit changer le levain, soumettre à un nettoyage très soigneux tous les tuyaux qui amènent le moût, les bacs où l'on délaye le levain, les foudres et le filtre même, qui sans cela pourrait infecter de levains sauvages une bière indemne passant après une bière souillée.

Bactéries. — On peut les faire figurer au nombre des ennemis les plus redoutables, car pour une infection due aux levures sauvages, on en compte plus de 100 provenant des bactéries.

Pasteur a distingué les bactéries en deux groupes, les aérobies et les anaérobies ; cette classification, absolue au temps où elle a été faite par l'illustre savant, ne paraît plus devoir être considérée comme si rigoureuse ; on connaît en effet des bactéries qui, tout en ayant une préférence pour l'un des modes d'existence, peuvent à la rigueur s'accommoder de l'autre, et

même des ferments qui sont presque indifféremment aérobies et anaérobies. Ajoutons que les espèces décrites par Pasteur sous le nom par exemple de ferment butyrique ou acétique ne sont pas uniques, et que l'on connaît, parmi les bactéries capables de donner de l'acide butyrique, des espèces aérobies, d'autres anaérobies, d'autres enfin qui peuvent supporter les deux genres de milieu. Sous bénéfice de ces réserves, il est cependant commode de conserver la distinction des aérobies et des anaérobies et nous allons l'employer.

Les bactéries proviennent originairement de l'air ou du sol, mais pratiquement elle peuvent pénétrer dans le moût ou la bière, par l'air, par les tuyaux, les cuves, le levain, les foudres et même par l'eau. En général ces bactéries sont détruites pendant la cuisson et le houblonnage, le danger d'infection n'est donc pas considérable dans le brassage proprement dit. Des bactéries paraissent cependant pouvoir provenir du malt lui-même, et l'on a observé des cas d'infection bactérienne, où l'on retrouvait dans la bière des ferments existant sur l'orge, sans qu'on pût trouver aucun autre foyer d'infection. Ce serait là des bactéries capables de former des spores et de résister à la double action du touraillage et de la cuisson. Quelques faits semblent militer en faveur de cette interprétation, mais ils ne sont pas assez nombreux pour qu'on puisse considérer comme certaine l'existence de cette cause de maladie.

Le danger d'infection commence déjà sur les bacs, il est le plus pressant à partir du réfrigérant jusqu'au moment où la fermentation est partie.

Pour comprendre l'importance de ce danger, il faut se rendre compte que tout tuyau incomplètement net-

toyé devient un foyer de bactéries, qu'un écoulement d'eau résiduelle, non protégé par un tampon ou par une fermeture à siphon, répand dans l'air des germes d'infection, qu'il en est de même des débris de drèches, des fumiers, des cabinets d'aisances, etc. Or depuis le moment où le moût coule au réfrigérant jusqu'à celui où la fermentation part, le moût recueille tous ces ferments, qui peuvent y prospérer, puisque la température est peu élevée ; les dangers sont bien plus considérables pour la fermentation haute, où la mise en levain n'a pas lieu au-dessous de 12°, et souvent au-dessus ; or à ces températures le développement des bactéries est déjà extrêmement rapide. Pour la fermentation basse, le moût étant fortement refroidi, l'infection fait des progrès plus lents.

Considérons d'abord les bactéries qui peuvent être apportées, aérobies ou anaérobies, par le moût ou le levain.

Pendant le séjour à la cuve guilloire, prolongé souvent pour la nécessité de la reconnaissance par la régie, les bactéries aérobies ont libre carrière ; grâce à la coexistence d'aérobies qui consomment l'oxygène dissous, les anaérobies peuvent eux aussi commencer à se développer mais d'une façon peu vigoureuse, puisque les éléments assimilables sont dévorés par les aérobies qui se trouvent dans les conditions les plus favorables.

Une fois le levain introduit, les cellules de levure absorbent peu à peu l'oxygène dissous et rendent l'existence de plus en plus difficile aux aérobies ; si la mise en levain a lieu assez vite et avec une dose de levure assez forte, la propagation des aérobies s'arrête ; au contraire avec une faible dose de levain donné, après

un séjour prolongé à la cuve guilloire, le développement des aérobies peut être assez actif pour gêner celui de la levure.

Quant aux anaérobies, ils ne sont guère favorisés dans cette période ; dans le moût avant mise en levain, ils n'ont guère pu se propager ; une fois que l'oxygène a été absorbé par la levure, ils ne sont pas dans une situation beaucoup meilleure, puisque la levure très active consomme à peu près tout ce qui est assimilable, et que de plus, elle sécrète probablement des substances peu favorables aux bactéries.

Toutes ces causes font qu'une fois la fermentation partie, le développement des aérobies s'arrête et que celui des anaérobies est médiocre.

Quand la levure commence à diminuer l'intensité de sa consommation d'extrait, les choses ne vont pas beaucoup mieux pour les bactéries engourdies, une partie passe dans la levure, qui s'infecte de plus en plus, une autre reste dans la bière.

Considérons maintenant séparément les deux genres de fermentation haute et basse.

Fermentation basse. — La bière contenant des bactéries aérobies et anaérobies passe dans les foudres de garde. Si la fermentation complémentaire continue, tout le temps de la conservation, la bière restera toujours saturée d'acide carbonique et il n'y aura aucune place pour les aérobies ; si au contraire le dégagement d'acide carbonique cesse, il rentre de l'air par diffusion et ces ferments peuvent reprendre quelque vigueur ; c'est le cas des infections par le ferment acétique.

Pour les anaérobies, ils se trouvent bien dans un

milieu privé d'oxygène, mais la température est basse, ils ont été placés depuis la fermentation dans des conditions peu favorables, et tant que la levure continue à consommer de l'extrait, leur existence est peu active, le plus souvent même, ils périssent pour la plupart.

Il est donc très rare que, dans les conditions normales, une infection bactérienne se présente en fermentation basse pendant le séjour à la cave de garde.

Fermentation haute. — Les mêmes causes subsistent pendant la fermentation principale, sauf l'action du froid; à 15°, et souvent même à 18, 20, 22°, les bactéries résistent beaucoup mieux à l'inanition et aux conditions de milieu défavorables. La fermentation part plus vite pour compenser heureusement la plus grande rapidité de développement des bactéries avant l'absorption d'oxygène par la levure.

Lorsque la fermentation principale a lieu en cuve, et la conservation en tonneau dans une cave fraîche, nous rentrons dans les mêmes phénomènes que pour la fermentation basse.

Quand toute la fermentation, soit principale, soit complémentaire, est faite dans des tonneaux d'expédition, la conservation n'a pas lieu dans des caves froides et par suite les chances de développement des bactéries sont bien plus grandes. Ajoutons que les tonneaux conservent toujours de la levure, leur nettoyage complet est malaisé, et que les bactéries apportées par le moût peuvent recevoir souvent un renfort de celles restées dans le tonneau.

Aussi dans la fermentation en tonneau, si la fermentation complémentaire est peu active, par suite d'une atténuation trop forte à la fermentation principale ou

d'une composition défectueuse du moût, il n'est pas rare de rencontrer des altérations bactériennes, déjà dans la cave avant la livraison.

Infection après conservation. — Pour les deux espèces de fermentation, nous venons de constater que la continuation de la fermentation complémentaire était le seul moyen d'empêcher le développement des bactéries dans la cave de garde. Une fois la période de conservation terminée la bière est mise en fûts ou en bouteilles, et elle entraîne avec elle les bactéries qui qui ont survécu à la conservation.

Les fûts et les bouteilles se trouvant dans des locaux plus ou moins chauds, sans fermentation continuant, les bactéries se développent avec une grande rapidité chez quelques espèces. Il suffit de quarante-huit heures pour rendre la bière trouble et putride ; pour d'autres, comme les sarcines, une semaine environ est nécessaire.

Si donc la bière contient des bactéries anaérobies, encore vivantes au moment du transvasage, il y a des chances très sérieuses d'altération, pour ne pas dire une certitude d'infection. Celle-ci est naturellement plus ou moins prompte suivant le nombre de bactéries et leur vitalité.

En dehors des ferments apportés par le moût, d'autres peuvent s'introduire dans la bière et provoquer des altérations. Lorsqu'un fût d'expédition sert aussi à la fermentation, il conserve après collage par le bas, un dépôt abondant de levure et de gélatine très altérable. Lorsque le fût est vidé chez le débitant, il conserve encore une petite quantité de bière, qui s'infecte soit par l'air, soit au conctact des ferments contenus dans les lies. Il en résulte que les tonneaux sont très diffi-

ciles à nettoyer, où à proprement parler, à stériliser ; le seul moyen radical serait le goudronnage, après chaque retour, mais c'est là un traitement que les fûts ne subissent guère qu'une fois l'an. Lorsque le fût est de nouveau rempli de moût, il contient encore des bactéries et celles-ci peuvent en s'ajoutant éventuellement à celles du moût, provoquer une infection très rapidement. L'emploi des fûts d'expédition pour la fermentation est une cause très fréquente d'accidents que l'on pourrait éviter par le goudronnage habituel de ces récipients.

Pour la bière en bouteilles, l'eau employée au rinçage peut être une cause d'accidents si elle renferme des bactéries capables de se développer dans la bière. Dans ce cas, il suffit en effet de quelques gouttes d'eau dans une bouteille mal égouttée pour altérer rapidement la bière et la rendre imbuvable. Il sera donc prudent de vérifier si l'eau est capable de provoquer une infection de la bière.

Les filtres sont quelquefois l'origine d'accidents bactériaux et il en est de même des copeaux. Si ceux-ci ou les masses filtrantes ne sont pas stérilisés à la vapeur sous pression, chaque fois qu'il se produit un arrêt de quelque durée dans leur fonctionnement, ils deviennent le siège de fermentations acétiques ou autres, et les ferments développés dans le filtre ou sur les copeaux passent dans la bière mise ensuite en contact avec eux.

Préservation. — Les infections bactériennes ont toujours pour origine première un défaut de propreté ou un levain souillé, ou l'eau ; ce dernier cas n'est pas très fréquent. Il faut donc avoir soin d'éliminer le plus possible tous les foyers d'infection, et pour cela stériliser

les tuyaux à la vapeur, ou avec une solution chaude de soude; on doit supprimer dans le voisinage du réfrigérant tout écoulement d'eaux résiduelles, placer le refrigérant dans un local clos dans lequel on injecte de l'air filtré. Les cuves et les foudres doivent être vernis ou goudronnés de façon à maintenir leur revêtement absolument sans fissure. Une cause d'infection possible est dans le moût des sacs à troubles. Je puis citer un cas, où en balayant le dépôt de bois avec un balai non nettoyé, et reversant dans la cuve le moût du sac à trouble, on a provoqué une infection de longue durée par les sarcines.

Nous pouvons donc considérer la propreté, ou si l'on veut, la stérilisation de tous les récipients comme la meilleure défense contre les bactéries.

Il ne faut pas négliger non plus la propreté du levain, et s'assurer que l'eau ne contient pas de ferments capables de se développer dans la bière.

Enfin, les accidents microbiens, lorsqu'ils se produisent, ont souvent pour cause indirecte la composition défectueuse du moût, et il faut aussi examiner si l'atténuation est convenable, si le malt n'est pas trop riche en matières azotées.

Mycodermes. — Les altérations causées par le mycoderme sont en général faciles à éviter, puisque ces espèces sont aérobies. Il faut seulement que dans la cave de garde, les foudres soient maintenus bien pleins et avec une fermentation complémentaire continue. Si dans ces conditions, il s'ensemence un peu de mycoderme à la surface, son développement sera insignifiant.

Moisissures et torulas. — Le développement des moisissures dans la bière est fort rare, et quand il s'ob-

serve, il est dû presque sûrement au bouchon, sauf le cas où l'air des caves serait absolument rempli de moisissures, mais même alors la moisissure ne pousserait avec quelque vigueur que si la bière était complètement morte.

La présence des moisissures dans les caves ne serait donc pas elle-même très dangereuse; mais elle coïncide presque toujours avec celle de bactéries se superposant à la moisissure et vivant en quelque sorte à ses dépens. A ce titre on doit faire la chasse aux moisissures par le passage des murs à la chaux, ou par l'emploi du vernis émail et par l'emploi d'antiseptiques comme le sulfate ferrique pour le sol des caves.

CHAPITRE XI

CONTROLE DE LA FABRICATION

Le but que l'on doit se proposer est multiple.

1° On doit s'assurer que les matières premières sont convenables, et tâcher de connaître le mode de travail qui s'appliquera le mieux au malt pour obtenir un genre de bière déterminé.

On arrive à ce résultat en pratiquant ou en faisant faire l'analyse de l'orge et du malt, si l'on malte à la brasserie et du malt seulement avant l'achat.

Quant le brasseur achète le malt tout fabriqué, il est prudent avant de conclure un marché, de connaître la composition de chaque malt offert ; on peut ainsi se décider en toute connaissance, mais il est encore bon au moment de la livraison de vérifier s'il y a identité entre le malt fourni et l'échantillon.

L'analyse du malt donne du reste d'utiles indications pour le travail de brassage ; il est clair qu'un malt d'excellente qualité, comme par exemple les beaux malts de Moravie ou de Hongrie, peut être traité d'une façon à peu près quelconque sans inconvénient, puisque la saccharification sera sûrement terminée, et que le malt étant très friable, l'épuisement sera aisé à obtenir. Mais quand l'on a affaire à un malt dont la dissolution est médiocre, qui donne à l'analyse peu de maltose,

il faut conduire la saccharification lentement, ne monter au-dessus de 70° qu'avec beaucoup de précautions, et insister aussi sur les températures entre 55 et 65°.

Dans le travail par infusion, l'analyse préliminaire du malt peut rendre les plus utiles services. En effet, si un brasseur a l'habitude d'attaquer son malt à 70° par exemple, et de faire bouillir sa première trempe aussitôt en chaudière, il peut parfaitement obtenir soit un trouble d'empois, soit un moût tellement dextrineux que la levure s'affaiblit en quelques générations et que l'atténuation étant trop faible, la bière s'altère rapidement.

La température de la première trempe doit être faite à température d'autant plus basse que le malt est moins sucré et d'une dissolution moins bonne; ainsi avec un malt moyen on ne devrait pas dépasser 63° pour cette première trempe, tandis qu'avec les malts sucrés et bien désagrégés, il est préférable de faire l'attaque à 65° et même à 68°.

L'analyse des orges n'est pas non plus inutile pour le malteur, qui se contente le plus souvent des caractères extérieurs, pour faire son choix, et qui ne songe guère à modifier le travail de la germination suivant la composition du grain. Il est clair cependant qu'une orge riche en azote, doit être germée très long et à basse température, bien plus que les orges peu glutineuses, et l'analyse permettra même d'éliminer les orges très chargées en azote que nous envoient certaines régions exotiques, ou celles qui proviennent des terrains fumés avec excès. L'examen microscopique des grains devient également utile, pour reconnaître les organes trop chargées de bactéries ; le dosage de l'hu-

midité permet d'apprécier le degré de maturation, la détermination de l'amidon donne une mesure de la valeur réelle des grains, en même temps qu'elle fournit le point de départ du contrôle dans la malterie; enfin, le pouvoir germinatif est un élément d'appréciation des plus importants en donnant le minimum des manquants qui peuvent se produire.

2° On doit déterminer quel est le rendement utile obtenu, et le comparer au rendement théorique.

Pour la *malterie*, si l'on connaît la quantité d'amidon et de matière azotée contenue dans 100 kilos d'orge, et que l'on détermine le poids de malt sortant de la touraille par 100 kilos d'orge, l'extrait et la matière azotée du malt, on peut calculer combien il a été perdu d'amidon et combien de matière azotée a été éliminée. Dans une bonne fabrication, la perte d'amidon et la diminution de matière azotée doit être sensiblement constante pour toutes les couches d'une même orge. Comme exemple de calcul, soit une orge contenant par 100 kilos :

Eau... $13^k,7$ Matière azotée. 11 kilos. Amidon. 58 kilos.

Supposons que 100 kilos de cette orge donnent 77 kilos de malt sec sortant de la touraille, le malt contenant par 100 kilos :

70^k d'extrait et 13 p. 100 matière azotée.

Les 77 kilos de malt sec contiendront :

$$70^k \times 0,77 = 50^k,19 \text{ extrait ;}$$
$$13 \times 0,77 = 10 \text{ kilos matières azotées.}$$

Or l'orge primitive contenant 58 p. 100 amidon et 11 p. 100 matière azotée, il en résulte que la ger-

mination a fait disparaître par 100 kilos d'orge travaillée :

Amidon..... 7k,8 Matière azotée... 1 kilo.

Les deux chiffres répondent à un travail défectueux, la perte d'amidon est trop forte et celle de matière azotée devrait être augmentée par l'allongement de la plumule poussée presque jusqu'à la longueur du grain. On peut admettre comme perte normale d'amidon 5 à 6 kilos pour 100 kilos d'orge.

On devrait tenir pour les diverses couches un carnet de fabrication mentionnant l'origine, et la composition de l'orge, la durée de trempe et la quantité d'eau absorbée pour chaque jour, l'épaisseur et la température des couches au germoir, enfin le degré de touraillage, sa marche, la composition du malt, en extrait et en matières azotées, et, comme dernière indication, la perte d'amidon p. 100 et la quantité de matière azotée éliminée par 100 kilos d'orge.

On est ainsi à même de vérifier si le travail est régulier, et conduit constamment aux mêmes pertes ; lorsque celles-ci peuvent être réduites pour l'amidon, on peut se guider sur la température des couches, et quand une diminution de qualité se remarque pour une couche, on distingue justement quel a été le point modifié dans la germination et l'on peut remettre les choses en l'état.

Brassage. — L'analyse du malt donne la quantité d'extrait contenu dans le poids de malt mis en œuvre ; si l'on calcule le rendement pratique, on saura quel est le p. 100 d'extrait que l'on a retiré et par suite celui qui a été perdu.

Soit par exemple, un brassin fait avec 2500 kilos d'un malt qui fournit à l'analyse 73 p. 100 extrait, et au brassage, 111^{h},5 de moût à 14° Balling, ayant une densité de 1,0572.

Le rendement pratique s'établit, comme nous l'avons dit, par la formule

$$E = \frac{111,5 \times 14,8}{25}$$

d'où

$$E = 66 \text{ p. } 100$$

Le rendement pratique est donc 66 p. 100, le rendement théorique étant de 73 p. 100, il y a donc une perte de 7 p. 100 qui pourrait être encore réduite peut être d'une à deux unités, mais pas davantage. Le calcul du volume du moût doit être fait à la cuve guilloire et non en chaudière, ce procédé donnant des résultats trop forts.

On peut se rendre compte de la répartition de la perte d'extrait au moins d'une façon approchée. Une première cause de perte réside dans le liquide retenu par les drèches, et qui a la même composition que le dernier lavage. Supposons que ce dernier pèse 1°,5 Balling ; 100 kilos de malt donnent en moyenne 130 kilos de drèches humides, qui contiennent environ 80 p. 100 eau, c'est-à-dire que 100 kilos de malt laissent dans la cuve 104 litres de liquide, et 26 kilos de matière solide à 1°,5 Balling, les 104 litres de liquides contiennent 1^{k},6 d'extrait sur 7 kilos perdus.

Une autre cause de perte c'est l'amidon laissé dans la drèche, et qui peut être aussi dosé. Supposons que les drèches humides contiennent comme c'est la moyenne pour un bon épuisement 3,5 p. 100 amidon, cela représente

pour les 130 kilos de drèches, provenant de 100 kilos de malt, 4ᵏ,5 extrait.

Nous retrouvons donc ainsi 1ᵏ,6 d'extrait dans le liquide qui imprègne les drèches et 4ᵏ,5 d'amidon non solubilisé contenu dans ces mêmes drèches, soit en tout 6ᵏ,1 sur les 7 kilos perdus. Le reste est dû à une petite quantité d'amidon contenue dans le faux fond, à ce qui reste de liquide et de drèches dans la pompe, etc.

Si donc l'on tient un registre indiquant pour chaque brassin la différence obtenue entre le rendement théorique et le rendement pratique, avec le degré Balling du dernier lavage, et si possible le taux d'amidon de la drèche, on saura constamment si le travail est régulier et l'épuisement satisfaisant : si l'on trouve pour un brassin un rendement pratique moins élevé, on pourra chercher immédiatement quelle est la cause de perte : son lavage moins complet, son dépôt d'amidon au faux fond, un épuisement moins parfait de la drèche.

3° **Fermentation et traitements avant livraison.** — On connaît, d'après les opérations précédentes, le volume de moût produit et son degré. Après la fermentation on détermine le degré de la bière et son volume, et l'on sait ainsi quelle est la quantité d'extrait détruit par la fermentation et le volume de liquide perdu par le transvasement en foudres de garde.

En répétant la même détermination pour la bière livrée, on connaît également le rendement en bière livrable par hecto de moût ou, ce qui revient au même, par 100 kilos de malt. En général 100 litres de moût donnent environ 80 litres de bière à livrer.

Chauffage. — On peut déterminer quelle est la quan-

tité de charbon brûlée par brassin, ce qui permet de constater si la conduite des foyers est régulière et si tel ou tel charbon donne un rendement calorifique meilleur.

Ces diverses déterminations rendent facile le calcul du prix de revient par hectolitre de bière livrée.

4° On doit vérifier si la saccharification est complète.

Il suffit pour cela de faire l'essai à l'iode, dans la cuve matière, après la température finale atteinte, et au moment de laisser reposer dans ce procédé par décoction, et dans la chaudière après réunion des trempes pour le procédé par infusion.

5° On doit connaître la marche de la fabrication entière.

Il est très utile de relever la température des diverses trempes, et leur durée, ainsi que les indications nécessaires à la cuisson, aux additions de houblon, au refroidissement et à l'oxydation du moût, à la fermentation et à la conservation.

Pour le brassage proprement dit, on note la température dans la cuve matière après le retour de chaque trempe s'il s'agit de décoction, et celle de la cuve à chaque trempe pour l'infusion. On indique à côté le temps mis pour la cuisson de chaque trempe. On relève aussi le degré Balling du bouillon, la température de l'eau de lavage, et le degré Balling à la fin de l'écoulement de chaque trempe de lavage. Il serait utile aussi d'indiquer le volume d'eau employé pour la trempe principale et celles de lavages, mais comme ces volumes restent les mêmes en général pour toute la fabrication d'une même brasserie il n'est pas indis-

pensable de répéter chaque jour les mêmes chiffres.

On ne doit pas négliger non plus de signaler les diverses observations faites, si le bouillon coule clair, si les drèches laissent facilement filtrer, etc.

De même pour la cuisson, on note l'heure à laquelle les trempes sont réunies en chaudière, la durée d'ébullition, l'origine et le poids du houblon employé, les quantités ajoutées à chaque addition et l'heure à laquelle celle-ci est faite. L'indication de la *cassure* du moût est également bonne à connaître.

L'heure de la mise au bac, la température du moût sortant du bac, celle qu'il a en sortant du réfrigérant sont aussi relevées.

Pour la fermentation, on indique le nombre de kilogrammes de levain, son origine, le nombre de générations qu'il a faites, la température d'entonnement et le numéro des cuves. S'il n'est pas possible de noter la marche de température de fermentation, il faut donner au moins la température maxima et le jour où elle a été obtenue, ainsi que la date des *Kraüsen*.

Au soutirage, on indique si le tranché est bon, le dépôt de levure ferme, la récolte normale; on détermine le degré Balling de la bière et on déduit son atténuation.

Dans la cave de garde, on note les numéros des foudres qui ont reçu le brassin, l'époque des remplissages, la durée de conservation, éventuellement celle du bondage, et au moment de la livraison, l'extrait et l'atténuation, ainsi que le goût et la clarification de la bière.

Cet ensemble de renseignements constitue pour le brasseur une source indispensable de renseignements ;

elle lui permet de se rendre compte constamment de la marche de la fabrication et de pouvoir retrouver presque immédiatement la cause de toute défectuosité constatée dans la bière d'un brassin. Un certain nombre de praticiens des plus expérimentés tiennent depuis leur entrée dans la pratique de tels carnets de fabrication et de fermentation, et ils sont unanimes pour en reconnaître l'extrême utilité et pour en recommander l'usage.

Si ce contrôle permanent se généralisait, accompagné des indications analytiques concernant le malt, et s'il était possible le moût (maltose et dextrine), la comparaison de ces carnets permettrait d'élucider bien des points aujourd'hui encore obscurs, et l'on ne peut que désirer de voir tous les contremaîtres prendre l'habitude de ce contrôle de la fabrication.

6° **Contrôle microscopique.—Levain et conservation.** — Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, les maladies d'origine microbienne sont de beaucoup les plus fréquentes, et comme une fois nées elles ne peuvent être guéries, le brasseur doit s'attacher à les prévenir. Or ceci ne peut être obtenu que par un contrôle journalier du moût et du levain.

Nous considérons donc comme indispensable qu'à chaque brassin, le moût de la cuve guilloire soit examiné au microscope, de manière à reconnaître s'il contient des bactéries ou des levures soit de culture, soit sauvages : pour donner plus de sensibilité à cet examen, on peut recueillir un peu de moût dans un petit flacon stérilisé qu'on laisse vingt-quatre heures dans une chambre chaude. Au bout de ce temps et à une température favorable (15-25°), pour peu qu'il existe des bac-

téries ou des levures, elles se seront abondamment développées et seront aisément visibles. Il est toutefois plus simple, et peut-être meilleur, d'examiner seulement le moût tel quel, car un moût peut être presque stérile à la cuve guilloire, et paraître fort sale après une incubation de vingt-quatre heures.

On connaît par cet examen si aucun foyer d'infection ne se déclare entre les bacs et l'entonnerie, puisque l'apparition d'un de ces foyers se traduirait par une forte augmentation du nombre de bactéries ou de levures existant dans le moût avant l'entonnement. Si l'on constate un accroissement du nombre de germes, à la cuve, on doit prendre des échantillons à l'entrée et à la sortie du tuyau allant du réfrigérant à la cuve guilloire ou aux cuves à fermentation, et l'on trouve toujours un tuyau par le passage duquel le moût se salit ; on sait ainsi qu'il faut nettoyer le tuyau, ou qu'il faut boucher un trou d'écoulement, éloigner les drèches, etc.

Levain. — On l'examine au moment de la mise en levain, en s'attachant surtout aux bactéries et aux levures sauvages; les premières peuvent être reconnues directement; quant aux secondes, un œil exercé peut aussi les voir au microscope; mais lorsque l'opérateur n'est pas sûr de lui-même l'examen du temps de formation des spores est plus certain. Toutefois, on peut considérer déjà comme fort satisfaisant pour la pratique l'examen microscopique des levains, dût-il être limité à la recherche des bactéries.

Bière au soutirage. — C'est au moment du soutirage que l'on peut le plus aisément retrouver des levures sauvages, c'est donc à cette période qu'il conviendra de

faire l'examen à ce point de vue, et l'on pourra conclure avec certitude de la présence de levures sauvages dans la bière bonne à soutirer, à un levain souillé par ces levures de maladie.

On ne se contente pas de chercher les levures sauvages, mais on porte aussi ses investigations sur les bactéries; leur présence est toujours un indice fâcheux pour la conservation.

Conservation de la bière. — Il est fort ennuyeux pour le brasseur d'avoir une bière gâtée, mais ce malheur devient plus grave, par suite de la défaveur qu'un tonneau retourné par le client jette sur le brasseur.

L'important c'est évidemment de faire une bière solide, mais le brasseur supporterait plus aisément les accidents de fabrication s'il était seul à les connaître. Il est donc d'un grand intérêt pour lui de savoir à quoi s'en tenir sur la solidité d'une bière, et de pouvoir dire presque à coup sûr : tel foudre peut être envoyé à longue distance sans s'altérer, tel autre ne peut supporter qu'un court voyage et demande à être consommé dans un délai de dix jours environ, enfin un foudre ne peut être consommé que sur place, ou même doit être sacrifié.

On peut arriver assez facilement à être renseigné sur ce point de la façon suivante : quinze jours avant le transvasage d'un foudre de garde, on en tire deux canettes, que l'on a préalablement lavées à l'eau bouillante ou même stérilisées en les chauffant dans un four de fourneau quelconque, puis bouchées avec un bouchon chauffé.

On examine de suite au microscope cette bière, et l'on

note avec le numéro du foudre le résultat de l'examen. Les bouteilles sont ensuite placées dans une chambre chaude, l'une à la lumière, l'autre à l'obscurité, et, de temps en temps, on examine si elles conservent leur limpidité, ou s'il se forme un voile à la surface, ou un trouble dans le liquide.

La veille du jour fixé pour l'envoi, on examine sérieusement les bouteilles d'abord à l'œil, à l'odorat et au goût, puis au microscope. Si ce dernier examen ne montre pas de bactéries ou un très petit nombre, on peut considérer la bière comme très solide. S'il y a un assez grand nombre de bactéries ou de levures sauvages, en général la bouteille restée à la lumière sera trouble, celle à l'obscurité pouvant rester claire ; dans ce cas on peut conclure que la bière demande à être consommée dans un court délai. Enfin si les deux bouteilles sont gâtées, on sait que la bière ne peut voyager et il faut l'examiner elle-même pour décider si elle peut être consommée sur place ou vendue aux vinaigriers, ou même jetée. Quand ce cas se présente, l'examen microscopique indiquera la cause réelle du trouble et il y aura lieu de rechercher, aux diverses phases de la fabrication, par une série d'examens microscopiques, à quel moment l'infection a commencé à se produire.

Ici encore l'habitude de noter pour chaque levain et pour chaque moût le résultat de l'examen microscopique permet de remonter rapidement à l'origine du mal et d'y remédier.

Cet ensemble de contrôles par le microscope ou par l'examen sommaire doit être complété encore par la connaissance de la composition de l'eau au point de

vue de l'action que ses microorganismes peuvent exercer sur le moût et sur la bière et cette action doit être déterminée de temps à autre puisque, suivant les saisons, les eaux sont plus ou moins souillées et que les espèces prédominantes varient.

CHAPITRE XII

VALEUR ALIMENTAIRE DE LA BIÈRE. CONSOMMATION

La bière est de toutes les boissons hygiéniques la seule qui constitue un aliment complet ; en effet, tandis que le vin, le cidre, contiennent presque uniquement de l'alcool, des matières carbonées et des sels comme le sulfate et le bitartrate de potasse qui n'ont pas de valeur alimentaire, la bière renferme, outre les matières carbonées, de notables proportions de matières azotées et de phosphate de potasse, aptes à jouer un rôle important dans la nutrition.

Si nous comparons la composition moyenne des vins rouges français avec celle d'une bière de l'Est, nous trouvons en grammes par litre :

	Vin rouge.	Bière de Tantonville.
Extrait.....	20 grammes.	50 grammes.
Alcool.....	90 —	45 —
Matières azotées.	18 —	58 —
Substances minérales.....	2gr,3	3gr,2 —

Un litre de bière contient donc deux fois moins d'alcool, deux fois et demi plus de matières dissoutes qu'un litre de vin, et en outre des substances azotées et du phosphate de potasse.

En raison de sa faible alcoolisation et de sa valeur nutritive, la bière est donc préférable au vin et d'un emploi surtout recommandable quand il s'agit d'assurer une alimentation plus complète ; il existe d'ailleurs pour les cas particuliers de lactation des bières plus concentrées ayant une valeur nutritive triple ou quadruple de celle des bières ordinaires.

Au point de vue hygiénique, la bière a sur le vin un avantage sensible : elle apaise la soif tout en épargnant à l'économie les sueurs abondantes, grâce aux principes toniques du houblon. (Lunier.)

La bière constitue la seule boisson que son prix rende abordable aux populations des régions non viticoles et à ce titre seul, elle doit être envisagée comme un indispensable auxiliaire du vin dans la lutte contre l'alcoolisme ; il est regrettable que des surtaxes presque prohibitives empêchent l'introduction dans les grandes villes d'une boisson aussi recommandable et à bas prix.

La nécessité d'une réforme des droits de fabrication et d'octroi (ou plutôt le dégrèvement total des boissons hygiéniques) est d'ailleurs préconisée depuis longtemps comme la seule barrière à opposer aux progrès de l'alcoolisme.

Outre ces barrières fiscales, la bière doit lutter contre un préjugé absurde, c'est l'idée que les bières sont falsifiées par l'emploi des substances les plus extraordinaires comme succédanés du houblon ou comme agents de conservation. Il est profondément regrettable de voir dans des journaux réputés sérieux, des allusions au rôle que jouent le buis, la strychnine ou l'acide salicylique en brasserie, et ces affirmations gratuites et sans fondement sont repro-

duites avec satisfaction par les revues étrangères, comme le signe de la décadence de la brasserie française ; elles en concluent naturellement que toutes les bières françaises sont de véritables poisons, et que tout consommateur soucieux de sa santé doit adopter uniquement les bières allemandes ou anglaises.

En réalité ces affirmations ne reposent sur aucun fait précis ; elles sont la conséquence d'une légende qui s'est formée il y a dix ans environ, quand le laboratoire municipal de Paris découvrit dans quelques bières *allemandes* des doses considérables d'acide salicylique, et dans un échantillon du buis. Quelques personnes peu au courant de la fabrication, supposèrent que s'il y avait une bière additionnée de buis, et d'autres traitées par l'acide salicylique, ce n'était pas un fait isolé et que toutes les bières renfermaient, au lieu de houblon une substance amère quelconque ; et naturellement, on inventa la coque du Levant, la strychnine, et tous les alcaloïdes ayant une saveur amère. C'était là une œuvre d'imagination pure, qui a laissé malheureusement des traces profondes.

En réalité, il a suffi de quelques poursuites judiciaires, terminées par de sévères condamnations, pour mettre fin à l'importation de bières étrangères, salicylatées, comme à la vente des vins colorés par des dérivés de la houille. Ces fraudes ont servi de point de départ à une vigoureuse campagne de M. Charlie, le distingué directeur du *Brasseur français* (1), contre la consommation des bières allemandes, campagne qui a produit une diminution notable et progressive dans l'impor-

(1) R. Charlie, *le Poison allemand.*

tation des bières étrangères, tandis que la consommation des bières françaises progressait.

Actuellement, il est presque impossible de trouver une bière française additionnée d'acide salicylique; le seul agent de conservation que l'on rencontre quelquefois, est l'acide sulfureux à très faible dose sous forme d'acide liquide ou plus souvent de bisulfite. Or ce produit doit être considéré comme inoffensif, d'après la délibération du Comité d'hygiène de France en date du 10 février 1890 (1).

Une autre cause de défaveur imméritée pour la bière, c'est le traitement défectueux qu'elle subit dans un assez grand nombre de débits, qui emploient des pompes mal entretenues et des tuyaux défectueux pour amener la bière de la cave au débit. L'attention a déjà été appelée à diverses reprises sur ce point, et M. Ch. Girard, chef du laboratoire municipal, a signalé depuis longtemps les défectuosités et les dangers pour l'hygiène que présentent les pompes à bière mal soignées.

Il est vrai que l'extension de plus en plus grande donnée à la vente en bouteilles, atténue beaucoup ces dangers, puisque le consommateur peut recevoir la bière à domicile, même par faibles quantités, et que, dans ces conditions, aucune altération ne se produit, à moins d'une conservation prolongée.

Production de la bière. — Elle est restée sensiblement stationnaire depuis près de quinze ans, comme le montre le tableau suivant tiré des statistiques officielles :

(1) Rapport de M. Ogier au Comité consultatif d'hygiène de France (*Recueil des travaux*, 1890).

1880	8.227.005	hectolitres.
1881	8.624.786	—
1882	8.305.703	—
1883	8.410.650	—
1884	8.492.853	—
1885	9.009.922	—
1886	7.978.860	—
1887	8.233.647	—
1888	6.952.470	—
1889	8.382.954	—
1890	8.490.511	—
1891	8.305.730	—
1892	8.937.454	—
1893	8.937.750	—
1894	8.444.686	—

Pour les trois dernières années, les quantités fabriquées se répartissent de la façon suivante, la bière forte payant un droit de 3 fr. 75, la petite bière de 1 fr. 25 par hectolitre.

	1892. fr.	1893. fr.	1894. fr.
Bière forte à 3 fr. 75....	5.115.596	5.119.754	4.760.182
Petite bière à 1 fr. 25...	3.809.705	3.804.727	3.678.755
Bière fabriquée dans les hospices.....	12.153	13.262	14.748
Totaux.....	8.937.464	8.937.773	8.443.685

Les sommes payées comme droits de fabrication, se sont élevées à :

En 1892	23.960.000	francs.
En 1893	23.973.000	—
En 1894	22.432.000	—

La bière fabriquée en France y est presque entièrement consommée, il existe cependant une petite exportation.

Dans les trois premiers mois de l'année 1895, il a été exporté 19320 quintaux, en augmentation sur les

années précédentes. La valeur de la bière exportée dans les trois premiers mois de chaque année a été :

1893.....	326.735 francs.
1894.....	448.160 —
1896.....	772.826 —

Inversement il est consommé en France une certaine quantité de bières étrangères. Dans le premier trimestre de 1895, on a consommé 35 453 quintaux de bière étrangère, se repartissant comme suit :

Allemagne.....	28.213 quintaux.
Angleterre	3.587 —
Autriche.....	407 —
Autres pays	3.546 —

La valeur des bières importées, comme d'ailleurs les quantités, sont en décroissance.

Pendant le premier trimestre de chaque année, il a été importé comme valeur :

1891.....	2.158.000 francs.
1892..... ...	1.948.000 —
1893.....	2.028.000 —
1894.....	1.971.000 —
1895.....	1.773.000 —

En somme, la quantité de bière étrangère consommée en France est voisine de 150 000 hectolitres, et les efforts des brasseurs français pour produire des bières analogues aux bières brunes de Munich, arriveront sans doute à abaisser considérablement ce chiffre.

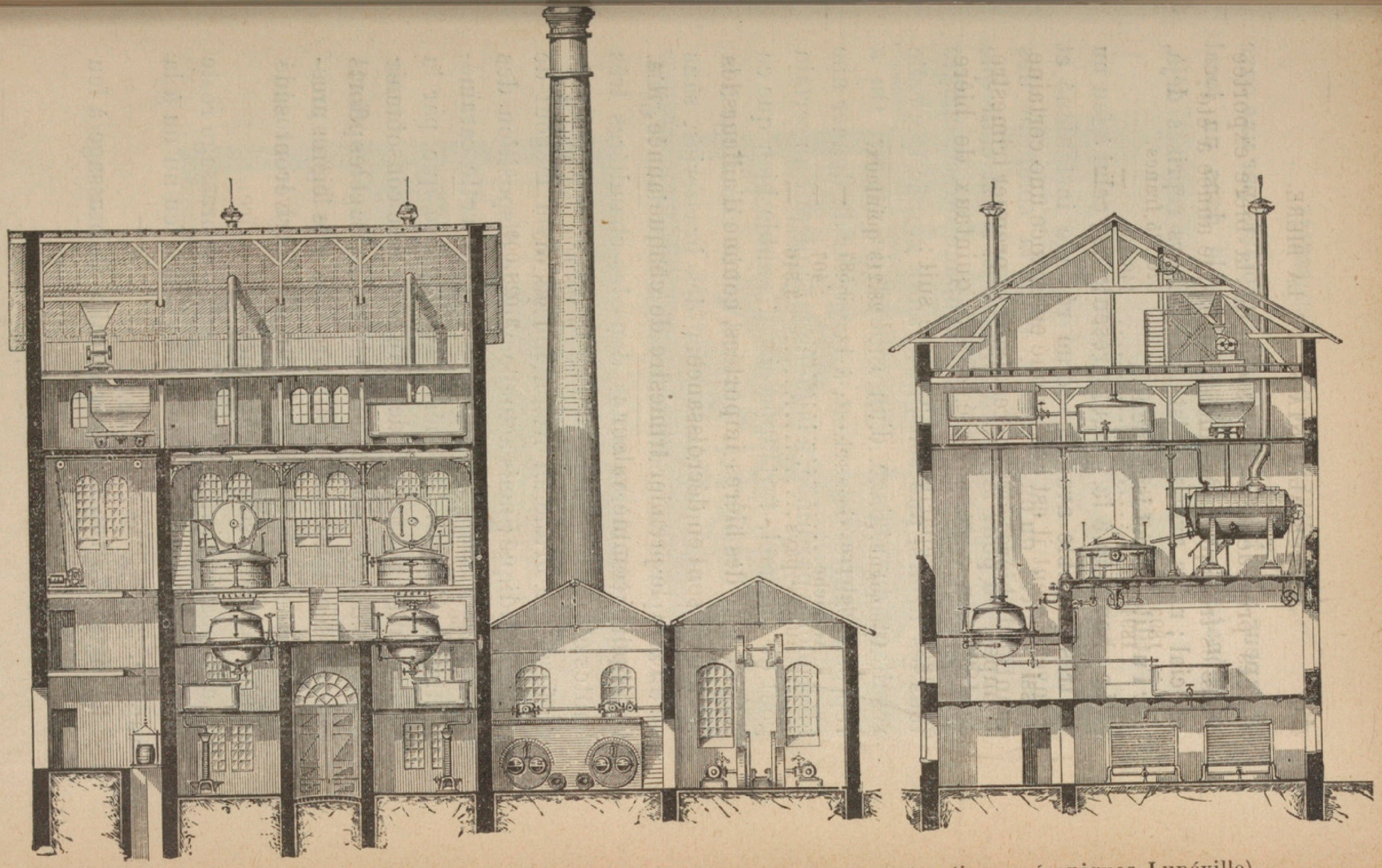


Fig. 72. — Vue d'une brasserie à vapeur (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, Lunéville).

à vapeur : les bacs y sont aussi remplacés par une cuve oxygénateur, et le refrigérant isolé dans un local spécial ; nous avons insisté, à plusieurs reprises déjà, sur l'utilité de cet isolement.

Le chauffage à la vapeur présente sur celui à feu nu le très sensible avantage d'un réglage instantané et aussi délicat qu'on le veut, pour la conduite des trempes, ou pour la cuisson du moût. Il est clair que l'on ne peut atteindre par le chauffage direct, malgré tous les tiroirs, une sensibilité aussi grande que celle résultant du réglage d'un robinet de vapeur. On a reproché, autrefois surtout, à la vapeur de donner une bière moins parfumée, à laquelle manquerait un certain goût de caramel, fort apprécié. Il semble bien que ce soit là une illusion, car aujourd'hui le chauffage à la vapeur est organisé dans bien des brasseries, sans qu'on ait aperçu de modifications sensibles dans le goût. En réalité, les bières cuites dans les chaudières très hautes et étroites, que l'on disposait autrefois tout près du foyer, se brûlaient fréquemment, d'où le goût de caramel indiqué ; mais actuellement la disposition des chaudières rend beaucoup plus difficile cette caramélisation : d'ailleurs l'expérience a prouvé que par la cuisson à la vapeur on pouvait, si on le désirait, obtenir ce goût particulier dû à la cuisson à feu nu, en opérant non en chaudière ouverte, mais avec une légère pression de quelques centimètres d'eau. C'est le procédé employé à la brasserie de Carlsberg.

La disposition intérieure de la salle de brassage reste sensiblement la même, que l'on cuise à feu nu ou à la vapeur.

La figure 73 représente une salle de brassage à feu

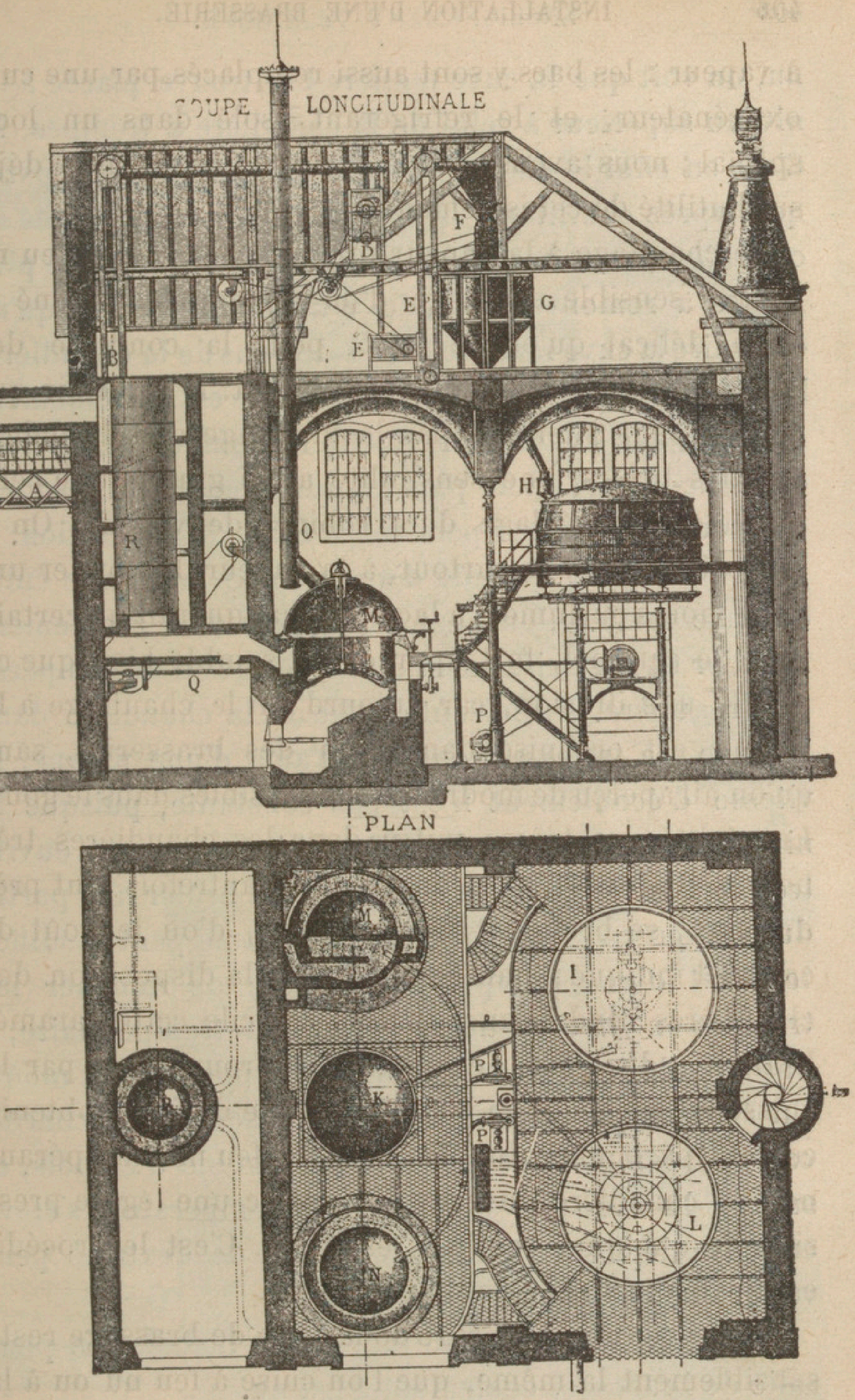


Fig. 73. — Brasserie à feu nu
(Diebold et Michel, constructeurs à Nancy).

nu, on voit que la cuve matière I se trouve placée à un niveau supérieur à celui de la chaudière à trempes, M. C'est en effet le dispositif ordinairement adopté, parce que, après ébullition, la drèche et le moût, passés en chaudière, sont beaucoup plus fluides et par suite plus faciles à remonter à l'aide d'une pompe. Lorsqu'au contraire la cuve matière est au-dessous de la chaudière. la trempe que l'on monte en chaudière est extrêmement épaisse, elle engorge aisément la pompe, et en tout cas celle-ci garde une plus grande quantité de drèches, qui peuvent s'altérer pendant la suite de l'opération.

En renvoyant à l'aide d'une pompe la trempe cuite en cuve matière, on peut être assuré d'un écoulement régulier et par suite aussi d'une élévation de température régulière. En faisant couler de la chaudière dans la cuve, la trempe montée à l'aide d'une pompe, la vitesse d'écoulement n'est pas constante, puisque le niveau varie dans la chaudière. L'ouvrier peut ouvrir trop fort la vanne de la chaudière, et brûler une partie du malt en cuve matière ; tandis qu'il ne peut modifier le débit d'une pompe. La manière de ramener les trempes en cuve matière, surtout la trempe claire, a une grande importance pour la composition du moût. Un écoulement trop rapide peut causer une saccharification incomplète et par suite un trouble d'empois, et suivant la vitesse avec laquelle la température s'élève en cuve de 63° à 75°, la proportion de dextrine peut varier du simple au double.

La figure 74 représente une autre installation pour salle de brassage, également à feu nu.

Enseignement technique. — Alors que les pays voisins possèdent depuis longtemps un enseignement

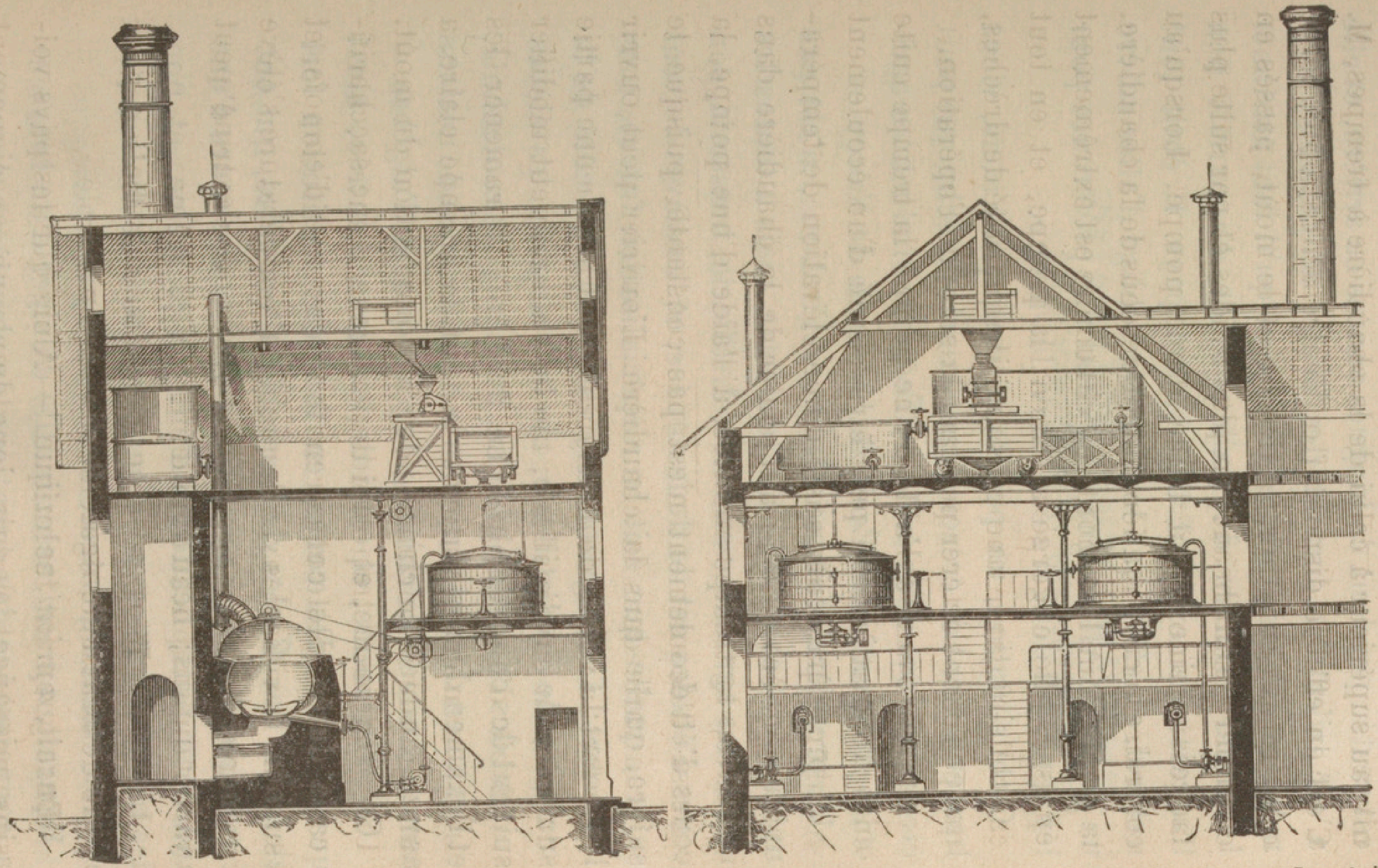


Fig. 74. — Vue d'une brasserie à feu nu (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, Lunéville).

technique très développé pour la brasserie, la France est restée pendant de longues années en arrière, et elle a été tributaire surtout des écoles allemandes; c'est même à cet enseignement étranger qu'il faut attribuer le grand nombre d'installations et d'appareils non français qui existent dans notre pays. Il était tout naturel, en effet, que le brasseur, obligé d'aller suivre un cours en Allemagne, rapportât une préférence pour les appareils dont il s'était servi lui-même.

Cette situation, un peu humiliante pour nous, vient heureusement de cesser; l'enseignement technique peut être reçu dans deux écoles, l'École des industries agricoles de Douai, et l'École de brasserie de Nancy.

La première, comme son nom l'indique, n'est pas uniquement consacrée à la brasserie, mais à toutes les industries agricoles : sucrerie, distillerie, brasserie, son cours d'études est de deux années, et les élèves doivent suivre, quelle que soit leur spécialisation future, tous les cours; l'enseignement y est général; à côté de la sucrerie, de la distillerie, de la brasserie, les élèves suivent des cours de physique, de chimie, de zootechnie, et l'examen d'entrée suppose la connaissance de notions assez étendues de chimie, de physique, et d'algèbre.

Ce programme, et celui de l'examen d'entrée, ainsi que la durée des cours, en font une institution fort éloignée des Écoles de brasserie allemandes, qui ont cependant fait leurs preuves, et qui ont des cours d'une année au plus; beaucoup d'entre elles même, et non des moins réputées, n'ont que des cours de trois mois, et sans examen d'entrée, Berlin, par exemple.

Il paraît, *a priori*, assez inutile d'exiger d'un brasseur la connaissance des équations du deuxième degré en

CHAPITRE XIII

INSTALLATION D'UNE BRASSERIE. ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

Installation d'une brasserie. — Le principe qui doit présider à l'installation, c'est d'abord la séparation complète des divers organes ; c'est-à-dire que la malterie et le triage des grains, la salle de brassage, les bacs et le réfrigérant doivent être chacun dans des locaux isolés. On conçoit, en effet, d'après ce qui a été dit dans le cours de ce volume, que les poussières provenant du triage de l'orge auraient une action des plus nuisibles sur le moût, passant aux bacs et au réfrigérant, parce que les poussières contiennent un grand nombre de moisissures et de bactéries : de même, le voisinage de la salle de brassage et du réfrigérant entraînerait la proximité des drèches, et par conséquent aussi des chances d'infection.

Cette disposition en locaux séparés est indiquée par la figure 71, qui représente la brasserie Winckler à Lyon. La malterie, qui n'est pas comprise dans cette figure, se trouve installée, ainsi que les trieurs de grains, dans une aile du bâtiment principal. Les bacs sont ici supprimés et remplacés par une cuve refrigérante M, d'où le moût coule directement sur le réfrigérant ou Baudelot O, placé au-dessous, et à un autre étage.

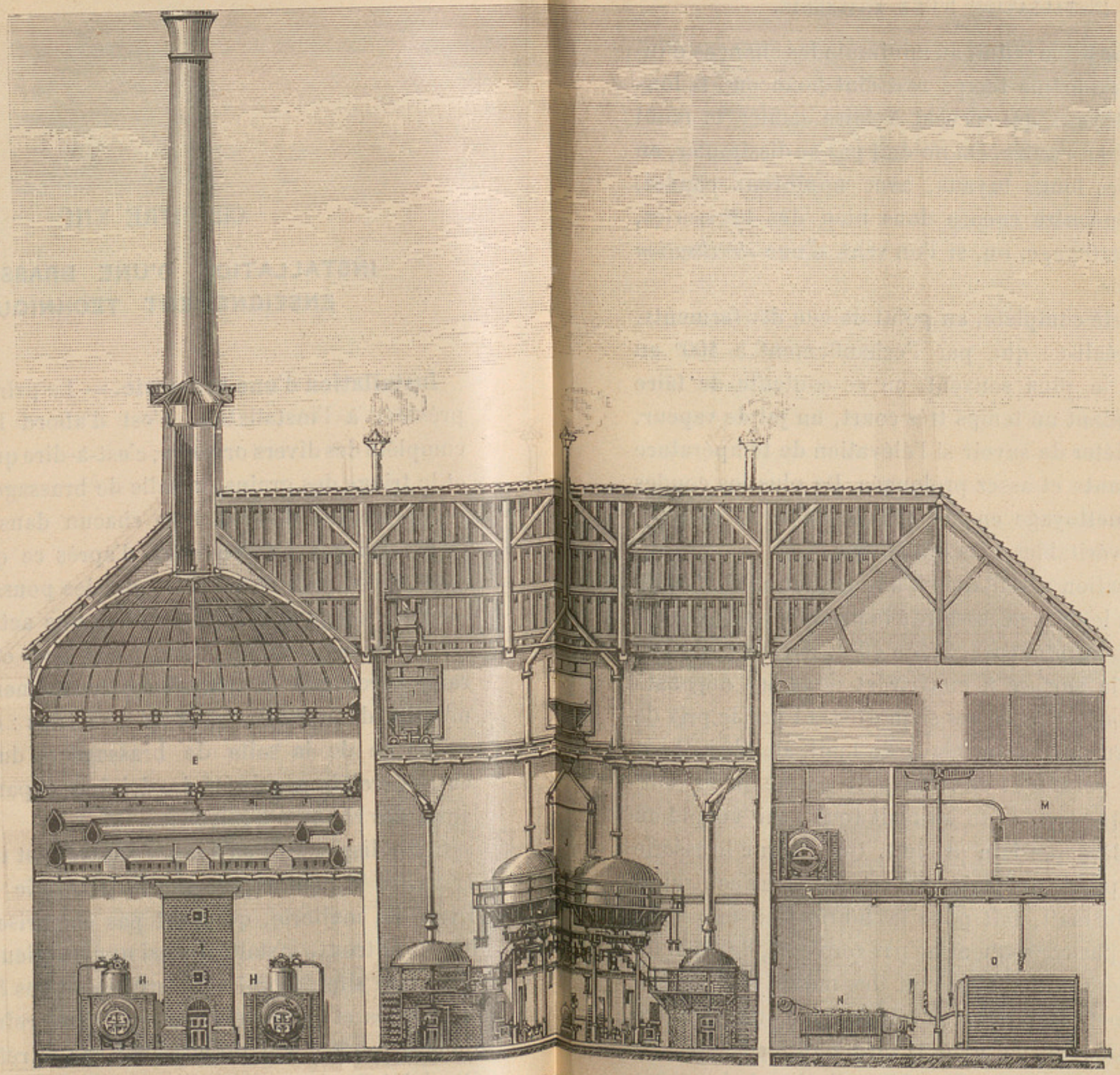


Fig. 71. — Vue de la brasserie Winckler, à Lyon (Buffaud et Robatel, constructeurs).

Cette disposition réduit au minimum les chances d'infection, et en même temps restreint beaucoup la longueur des tuyaux qui servent à faire couler le moût d'un appareil à l'autre. On ne doit pas se dissimuler, en effet, que les longs tuyaux, avec nombreux coudes, que l'on rencontre encore dans bien des brasseries, sont d'un nettoyage, ou, si l'on veut, d'une *stérilisation* assez difficile.

La propreté complète, au point de vue des ferments, ne serait réalisée que par l'échauffement à 100° au moins ; or, le plus souvent, on se contente de faire passer, pendant un temps très court, un jet de vapeur, sans s'inquiéter de savoir si l'élévation de température a été suffisante et assez prolongée. De plus les coudes sont d'un nettoyage encore plus malaisé et peuvent devenir de véritables nids d'infection.

L'organisation simultanée d'une malterie capable de fournir tout le malt nécessaire à la production, apparaît comme très avantageuse. Si, en effet, il y a augmentation dans la surface à couvrir et dans les dépenses d'installation, les dépenses s'amortissent par le prix de revient beaucoup moins élevé du malt. De plus, il est possible de germer et de tourailler comme on le veut, et de fabriquer par suite un malt tout à fait adapté au genre de bière que l'on produit. Quand une brasserie ne possède pas de malterie, elle est obligé, au contraire, d'acheter du malt, fait pour la fabrication moyenne, et qui peut par conséquent ne pas convenir, en donnant soit une bière trop sèche, soit des moûts trop dextrineux qui font dégénérer la levure. Ce dernier cas se présente assez souvent dans la fermentation haute.

La figure 72 représente une installation de brasserie

algèbre, pour acquérir des notions de bactériologie et de chimie pratique, et des connaissances techniques que l'on peut donner sans une formule chimique, bien loin que des équations algébriques présentent la moindre utilité.

L'École des industries agricoles de Douai peut être considérée comme une sorte d'École d'application; elle peut recevoir, en effet, des ingénieurs agronomes, et actuellement ses cours sont suivis par vingt agents des contributions indirectes.

L'École de brasserie de Nancy a adopté un système tout autre, et très analogue à celui des écoles allemandes; la suppression de tout examen d'entrée permet de recevoir des contremaîtres ou des brasseurs, à qui des années de pratique ont montré l'utilité des connaissances scientifiques, ou des jeunes gens qui n'ont que des très faibles notions de chimie ou de physique.

Nous reproduisons ici le programme des cours de l'École de brasserie de Nancy.

ÉCOLE DE BRASSERIE ANNEXÉE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY.

Programme des cours.

Le but de l'École est de donner les connaissances scientifiques nécessaires pour diriger une brasserie, soit comme directeur, soit comme chef de fabrication ou contremaître.

Les cours ont une durée de trois mois, deux séries ont lieu chaque année en commençant, l'une le 1er mars, l'autre le 3 novembre.

Aucun examen ou diplôme n'est demandé. A la fin de chaque période d'études, les élèves subissent un examen, comprenant une épreuve pratique et des interrogations; en cas de succès ils reçoivent un diplôme.

Le régime de l'École est l'externat.

La rétribution pour chaque période d'études est de 200 francs.

L'École possède une brasserie complète, une machine frigorifique, caves de garde, filtres, soutireuses, etc.; elle peut fabriquer des bières soit de fermentation haute, soit de fermentation basse.

Pendant les périodes d'études, les élèves exécutent des fabrications complètes qu'ils peuvent suivre jusqu'à la livraison de la bière; ils peuvent ainsi se rendre compte pratiquement de la conduite rationnelle du brassage et des fermentations, par les divers procécés en usage.

Chaque période d'études comprend :

I. Analyse de l'eau, orge, malt, moût, bière, houblon, poix, bisulfite, tannin, glucose, etc.

Essai des eaux de chaudière et leur épuration.

II. Emploi du microscope. Principales espèces de bactéries, moisissures et levures. Action des ferments de l'eau sur le moût et la bière. Contrôle de la pureté du levain. Isolement et essai des levures pures de fermentation haute et basse.

III. Cours techniques.

Influence des substances dissoutes dans l'eau sur la composition du moût. Filtres.

Orge. Caractères des diverses espèces.

Trempe de l'orge, aération; contrôle de la trempe.

Influence de la température et de la composition de l'eau.

Germination. Transformations qui se produisent.

Dissolution et action diastasique. Rôle de la température et de la ventilation. Mouillage complémentaire.

Maltage sur cave. Système Saladin. Tambour.

Quantités d'air nécessaires.

Fanage du malt vert.

Touraillage. Transformations qui s'y produisent.

Coloration et glaçage du malt.

Conservation du malt.

Fabrication du malt couleur.

Brasserie. — Produits de la saccharification. Influence de la température, de l'eau, de la germination et du touraillage du malt. Contrôle de la saccharification. Rendement.

Principales méthodes de brassage. Marche des températures.

Travail du riz et du maïs.

Cuisson et houblonnage. Transformations qui se produisent.

Cassure du moût. Rôle de l'eau. Coloration du moût.

Action du houblon.

Oxydation et refroidissement. Bacs, refrigérants, oxygénateurs.

Mode d'action de ces appareils. Leur conduite.

Fermentation. La levure. Aliments de la levure. — Influence de l'air, de la race, de la composition du moût.

Mise en levain. — Traitement du dépôt.

Atténuation et tranché.

Conservation de la bière. — Fermentation complémentaire.

Composition du moût. — Bière d'été et bière d'hiver.

Traitements des bières de fermentation haute et basse.

Copeaux, collage, filtration; soutirage par l'air ou l'acide carbonique.

Mise en bouteilles.

Maladies de la bière. — Description. — Moyens de les reconnaître et d'y remédier ou de les éviter.

Contrôle de la fabrication.

IV. Exercices de brassage. — Conduite des fermentations. — Filtration et mise en bouteilles.

En dehors de ces cours réguliers, l'École accepte, pour un séjour d'un mois, les brasseurs qui désirent seulement apprendre le maniement du microscope, son application au contrôle des levains, à la conservation et aux maladies de la bière.

Le laboratoire de l'École se charge de toutes les analyses concernant la brasserie, eau, malt, orge, bières, du contrôle et de la fourniture des levures pures de fermentation haute et basse. Le tarif du laboratoire, la manière d'envoyer les échantillons, et les conditions d'abonnement sont envoyés sur demande.

BIBLIOTHÈQUE NATIONALE

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION..... V

CHAPITRE I. — **Notions générales**..... 1

Substances existant dans le moût..... 4

I. MATIÈRES ORGANIQUES NON AZOTÉES, 4. — II. MATIÈRES ORGANIQUES AZOTÉES, 7. — III. MATIÈRES MINÉRALES..... 10

Action de la diastase sur l'amidon..... 12

SACCHARIFICATION, 12. — PRODUITS NORMAUX DE LA SACCHARIFICATION..... 13

Maltodextrines, 13. — Isomaltose et sucres analogues, 14. — Rôle des maltodextrines et de l'isomaltose dans la fermentation complémentaire, 15. — Influence de la température sur les produits de la saccharification..... 16

PRODUITS ANORMAUX DE LA SACCHARIFICATION..... 17

Ferments et fermentations..... 17

Origine de ces ferments, 19. — Stérilisation, 20. — — Propriétés générales des ferments, 21. — Mode de reproduction et de développement..... 22

DESCRIPTION DES FERMENTS LES PLUS IMPORTANTS..... 24

Bactéries, 24. — Ferment acétique, 25. — Ferment butyrique, 25. — Ferment lactique, 26. — Ferment de la bière filante, 27. — Sarcines, 27. — Moisissures, 27. — Penicilium glaucum, 28. — Mucors, 28. — Aspergillus niger, 30. — Ferments alcooliques. 32

CHAPITRE II. — **Orge. — Maïs. — Riz. — Sucres**..... 47

I. ORGE..... 47

Principales espèces, 47. — Composition de l'orge, 50. — Caractères d'une bonne orge..... 51

II. MAIS.....

Maltage du maïs, 52. — Travail mécanique, 53. — Maïs pelliculé, 53. — Maïs dextriné.....

III. Riz, 55. — Glucose, 56. — Sucre de betteraves, 59. — Mélasses, 60. — Autres produits..... 61

Chapitre III. — **Maltage**..... 62

Travail préliminaire de l'orge..... 62

Triage, 62. — Nettoyage de l'orge, 63. — Trempe, 64. — Aération pendant la trempe, 66. — Modifications de l'orge par la trempe, 67. — Changement d'eau, 68. — Emploi de la chaux, 69. — Durée de trempe, 69. — Influence de la composition et de la température de l'eau, 69. — Contrôle de la trempe. — Caractères de l'orge trempée, 70. — Emploi de l'acide sulfureux à la trempe. — Procédé Kukla, 71. — Observations sur la trempe de l'orge, 71. — Mouillage complémentaire, 72. — Orge fraîche..... 73

Germination..... 74

Constitution du grain d'orge, 74. — Conditions de la germination, 76. — Mécanisme de la germination, 76. — Transformations pendant la germination, 79. — Influence de température, 79. — Perte d'eau, 80. — Développement de la diastase, 81. — Chaleur dégagée pendant la germination..... 81

Méthodes de maltage..... 82

Germoirs, 82. — Maltage mécanique ou pneumatique, 84. — Quantités d'air injectées, 94. — Mouillage complémentaire, 94. — Maturation du malt, 95. — Comparaison des malts fabriqués au germoir et aux systèmes pneumatiques, 97. — Travail des malts Munich au germoir, 98. — Travail des malts genre Vienne, 99. — Travail des malts genre Pilsen, 100. — Influences nuisibles à la germination, 100. — Rendement de l'orge en malt..... 100

Fanage du malt vert, 101. — Touraillage..... 103

Différence de température entre le malt et l'air chaud, 107. — Coloration du malt, 108. — Retournement du malt, 109. — Transformation pendant le touraillage, 110. — Touraillage du malt, genre Munich, 111, — Touraillage du malt genre Pilsen, 113. — Dégermeuse, 114. — Conservation du malt, 114. — Analyse du malt, 116. — Comparaison entre l'orge et le malt correspondant, 117. — Malt couleur, 117. Touraillons ou germes de malt..... 118

CHAPITRE IV. — **Eau**..... 120

Matières existant dans l'eau..... 120

Matières organiques, 120. — Matières minérales, 121.

Êtres microscopiques..... 130

Traitement des eaux défectueuses..... 133

Filtration, 133. — Traitements chimiques des eaux pour l'épuration organique, 136. — Eaux contenant du fer ou des nitrites, 138. — Eaux contenant des carbonates alcalins, 138. — Eaux calcaires, 138. — Eaux contenant d'autres sels de chaux ou de magnésie..... 140

CHAPITRE V. — **Houblon et succédanés. — Produits accessoires**..... 141

Lupuline, 142. — Matières azotées du houblon, 143. — Diastase du houblon, 143. — Qualité du houblon, 144. — Conservation du houblon, 145. — Houblon normal..... 146

Sucédanés du houblon..... 147

Produits accessoires..... 148

Poix, 148. — Clarifiants, 150. — Copeaux, 152. — Antiseptiques, 152. — Désincrustants pour chaudières, 155. — Épurateurs pour eaux résiduelles.... 156

CHAPITRE VI. — **Brassage**..... 158

Moulin à malt, 158. — Cuve matière, 160. — Chaudières, 163. — Chaudières à trempes, 166. — Cuve à filtrer, 166. — Hydrateurs, 167. — Appareils accessoires, 169. — Machine à piquer la drèche, 170. — Disposition des appareils à brasser, 171. — Chauffage des chaudières..... 173

Méthodes de brassage..... 173

Infusion 174. — Décoction, 174. — Contrôle de saccharification..... 175

Circonstances qui influent sur la composition du moût.. 176

Matières minérales de l'eau, 176. — Germination du malt, 176. — Touraillage du malt, 178. — Température de saccharification, 179. — Influence comparée du touraillage et du brassage. 179. — Pouvoir diastasique des moûts..... 180

Transformation des matières azotées pendant le brassage..... 181

Mécanisme du brassage par infusion..... 182

Principales méthodes d'infusion, 185. — Travail des grains crus par infusion..... 187

Procédés par décoction..... 189

Mécanisme de la méthode, 189. — Macérateur, 190. — Calcul des quantités de moût nécessaires à chaque trempe, 199. — Mise en perce. — Lavage des drèches, 202. — Limite du lavage, 203. — Dépense de combustible et de vapeur, 204. — Diverses méthodes de brassage, 206. — Travail du riz et du maïs, 209

Drèches..... 212

Quantités de drèches, 213. — Emploi pour l'alimentation des animaux, 215. — Drèches séchées, 218. — Prix de revient..... 219

Chapitre VII. — **Cuisson et houblonnage**..... 222

But de la cuisson et du houblonnage..... 224

Concentration du moût, 224. — Stérilisation du moût, 225. — Coagulation des matières azotées, 226. — Clarification et coloration du moût, 229. — Dissolution des principes du houblon, 230. — Durée de cuisson, 231. — Addition des houblons, 232. — Doses de houblon, 233. — Houblons épuisés..... 234

Chapitre VIII. — **Refroidissement. — Oxygénation**.... 235

Oxygénation, 236. — Oxydation, 236. — Bacs, 237. — Refrigérant, 239. — Dangers d'infection, 241. — Installation avec air filtré..... 241

Marche de l'oxydation et de l'aération..... 242

Substances oxydées, 244. — Oxydation à froid ou à chaud, 245. — Bacs Velten et Carlsberg. — Réfrigérants clos, 246. — Autres appareils, 248. — Appareils de la Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, 248. — Appareil Leugering, 249. — Appareil Kyll et Bohm, 250. — Appareil Hanford-Stanford, 251. — Centrifuges, 251. — Cuve d'aération, 251. — Précautions contre l'infection, 252. — Action des appareils à injection d'air, 253. — Quantités

d'air à injecter, 254. — Consommation de glace pour la réfrigération, 257. — Filtration de l'air..... 258

CHAPITRE IX. — **Fermentation alcoolique**..... 262

CONDITIONS DU DÉVELOPPEMENT DE LA LEVURE..... 263

Oxygène, 263. — Matières sucrées, 264. — Matières azotées, 265. — Matières minérales..... 267

ACTION DE LA CHALEUR ET DES ANTISEPTIQUES SUR LA LEVURE. 268

Chaleur, 263. — Antiseptiques..... 269

PRODUITS DE LA FERMENTATION..... 272

MÉCANISME DE LA FERMENTATION..... 274

RACES DE LEVURE..... 276

Levures pures, 279. — Levures mixtes, 289. — Mise en levain, 290. — Traitement de la levure, 292. — Refroidissement des moûts en fermentation..... 293

Fermentation haute..... 296

Composition du moût..... 297

CIRCONSTANCES QUI INFLUENT SUR L'ATTÉNUATION..... 298

1° Race de levure, 298. — 2° Composition du moût, 299. — 3° Aération, 299. — 4° Température, 299. — Caves de fermentation, 299. — Fermentation en cuve, 301. — Lavage de la levure, 303. — Fermentation en tonneaux..... 304

FERMENTATION COMPLÉMENTAIRE ET CONSERVATION..... 306

Traitement de la bière avant livraison, 308. — Clarification, 308. — Accumulation d'acide carbonique... 313

Fermentation basse..... 313

Phases de la fermentation basse, 315. — Kraüsen, 316. — Cassure, 317. — Fermentation bulleuse ou yeux de crapaud..... 317

CIRCONSTANCES QUI MODIFIENT L'ATTÉNUATION..... 318

La race de levure, 320. — 2° Composition du moût, 320. — 3° Température, 321. — 4° Aération, 322. — 5° Causes diverses, 322. — Rendement en levure, 322. — Conduite de la fermentation, 322. — Traitement de la levure, 324. — Levure pressée, 325. — Caves de fermentation..... 326

FERMENTATION COMPLÉMENTAIRE. — CONSERVATION..... 328

Condition de la fermentation complémentaire, 332. —

Principe des machines frigoriques, 336. — Procédé Pfaudler pour la fermentation principale et complémentaire..... 339

Traitement de la bière avant livraison..... 341

Filtres à bière, 342. — Mise en fûts, 347. — Bière en bouteilles, 349. — Conservation de la bière en bouteilles ou en fûts. — Pasteurisation. — Antiseptiques..... 351

Chapitre X. — **Maladies de la bière. — Accidents de fabrication**..... 355

Maladies d'ordre chimique..... 355

Trouble d'empois ou d'érythrodextrine, 355. — Trouble de résine, 361. — Autres accidents d'origine chimique..... 362

Accidents dus a des ferments..... 364

Levures de culture, 365. — Refermentation, 365. — Levures sauvages, 371. — Bactéries, 373. — Infection après conservation, 378. — Préservation, 379. — Mycodermes, 380. — Moisissures et torulas..... 380

Chapitre XI. — **Contrôle de la fabrication**..... 381

Brassage, 385. — Fermentations et traitements avant livraison, 387. — 5° Contrôle microscopique. — Levain et conservation, 390. — Levain, 391. — Bière au soutirage, 391. — Conservation de la bière..... 392

Chapitre XII. — **Valeur alimentaire de la bière. — Consommation**..... 395

Chapitre XIII. — **Installation d'une brasserie. Enseignement technique**..... 401

Installation d'une brasserie, 401. — Enseignement technique..... 408

École de brasserie annexée à la Faculté des sciences de Nancy..... 411

Programme des cours..... 411

BIBLIOTECA CENTRALE UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

BIBLIOTHEQUE NATIONALE DE FRANCE
3 7502 01377922 0