

Encyclopédie agricole

E. BOULLANGER

2, Rue du Lombard, 2

LILLE

MALTERIE

BRASSERIE



PARIS

J.-B. BAILLIÈRE et FILS

778 185 25/2

INVENTIONS NOUVELLES

Brevetées S. G. D. G.

CUVES de FERMENTATION SPÉCIALES :

I° FERMÉE, sous pression,
à piège à levures à volume
variable (Cuve-Tank)

II° FERMABLE, atmosphé-
rique à remplissage
automatique à piège à
levures à volume variable à
à sélectionneur de levures
d'ensemencement du
brassin suivant (Cuve-Tank).

RÉCUPÉRATION D'ACIDE CARBONIQUE

pour PETITES, MOYENNES et GRANDES Brasseries

S'adresser aux Inventeurs et Constructeurs :

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

22, Rue Gauthier-de-Châtillon, 22

TÉL. 15.94

LILLE (France)

BOULLANGER, Malterie-Brasserie I.

A

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

885
27 SEP. 194
VILLE DE LILLE
38694 / 102496

5870 599

**MATÉRIEL de BRASSERIE
& de LIMONADERIE**

APPAREILS MODERNES

pour

RINÇAGE

DOSAGE

TIRAGE

BOUCHAGE

ETIQUETAGE

INSTALLATIONS COMPLÈTES
pour petite et grande production

LAVEUSES Hydro-Injecteuses
DOSEURS et SATURATEURS automatiques
GROUPES automatiques complets

FABRICATION des Sirops à froid et à chaud
Gazéification des Vins
Installations de Sources

Sté A me J. GUYOT

au Capital de 4.000.000

4, 6, 8, rue Claude-Decaen - PARIS (XII^e)

Tél. Diderot 09.25-09.26

MATÉRIEL DE CAVE

Société Strasbourgeoise
de
CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

Anciens Etablissements KOLB

SOCIÉTÉ AU CAPITAL DE 4.000.000 DE FRANCS

LUNÉVILLE | **STRASBOURG** (PORT DU RHIN)
(Meurthe-et-Moselle) | (Bas-Rhin)
(CHAUFONTAINE) Fonderie de Lunéville

■ ■ ■

Pour Lettres :

SOCIÉTÉ STRASBOURGEISE, STRASBOURG (Port du Rhin)
SOCIÉTÉ STRASBOURGEISE, LUNÉVILLE

Adresses Télégraphiques :

CONSTRUCTIONS-LUNÉVILLE
CONSTRUCTIONS-STRASBOURG

Téléphones :

STRASBOURG N° 91 — LUNÉVILLE N° 38

■ ■ ■

SPÉCIALITÉS :

INSTALLATIONS DE BRASSERIES
ET MALTERIES
INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES

AGEN



TANKS VITRIFIÉS

Société des Cuves et Foudres en Acier Émaillé

AGEN (France)



Siège social et Usines à AGEN

Télégrammes : Foudrémail-AGEN

Téléphone : 2.46

Bureau à Paris, 2, rue de Vienne

Télégrammes : Foudrémail-PARIS

Téléphone : Laborde 03-79

Visites, études, plans, devis sans engagement.



Agent général pour la Belgique et le Luxembourg :

Ernest BUISSET

41, rue de l'Acétylène — BRUXELLES

DIEBOLD & C^{IE}

Ingénieurs-Constructeurs

NANCY



AUXERRE

TOUT
LE
MATÉRIEL
DE
BRASSERIE & MALTERIE



Les Successeurs de GALLET & C^{ie}
17, Rue de l'Argonne, 17 — PARIS (19^e) R. C. 71.087

GLUCOSES CRISTAL & MASSÉ

Hors concours - Exposition universelle Paris 1900

Nouveau Colorant 'UNIC'

SPÉCIAL POUR LA COLORATION DES BIÈRES
s'employant indifféremment à chaud ou à froid sans
aucun dépôt immédiat ou ultérieur

**TRÈS GRANDE PUISSANCE COLORANTE
UTILISÉE EN TOTALITÉ**

Goût très fin. — Produit garanti conforme à toutes
les prescriptions de la Loi sur les Fraudes.

SIMONETON

LE RAINCY

— (Seine-et-Oise) —

Téléphones : Nord 01-02 - 04-03 et 20 Raincy

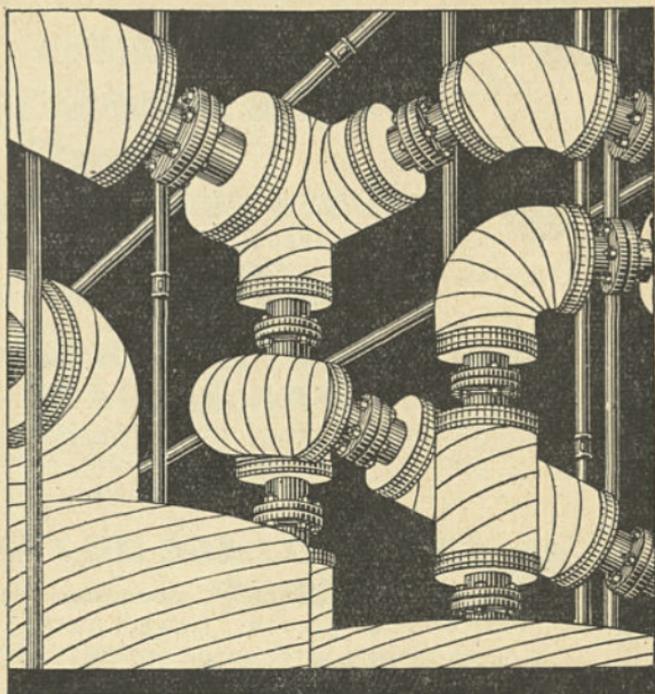
■■■■■

FILTRES

TISSUS A FILTRER



Matériel complet contre l'Incendie



CALORIFUGES CLAVELIER

Spécialistes des questions d'isolation

Maison Principale :

37, Rue des Cordelières — PARIS 13^e

TÉL. GOB. 92-30 à 92-33

Agences :

25, Rue de Strasbourg — NANCY (M. & M.)

118, Rue d'Anvers — TOURCOING (Nord)

TOUT CE QUI CONCERNE LE FROID EN BRASSERIE :

● **MACHINES FRIGORIFIQUES**
de toute puissance (Flooded & Surchauffe).
Installations pour Basse
et Haute modernisée.

● **CUVES DE FERMENTATION
ET TANKS DE GARDE** au
"Flexémail", émail incassable, résistant au
diamant, et à tous les acides, y compris
l'acide fluorhydrique.

● **APPAREILLAGE DE TANKS
ET FOUDES** : décanteur réglable,
soupape droite, lisse, nettoyable,
robinetterie à douceur réglable (breveté).

● **"FRIDUX" & SATURATEUR-
PESEUR AUTOMATIQUE**
brevetés, etc...

● **REGULATRICES ; FILTRES**

● **INSTALLATIONS COMPLÈ-
TES DE CANETTERIES**



Pub S G.

CHEZ
KENDALL

22, rue Gauthier de Châtillon, LILLE - Téléph. 15-94



ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE

Publiée par une réunion d'Ingénieurs-agronomes

SOUS LA DIRECTION DE G. WERY

MALTERIE
BRASSERIE

ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE

AMMANN. Meunerie et Boulangerie.	24 »	GUÉNAUX. Pisciculture.	24 »
ANBRÉ. Chimie végétale, 2 vol.	36 »	GUILLOCHON. Culture des fruits.	15 »
— Chimie du sol, 2 vol.	24 »	GUILIN. Analyses agricoles, 2 vol.	36 »
BALLU. Comptabilité à la ferme.	12 »	HETIER. Plantes industrielles.	24 »
BEAU et BOURGAIN. Industrie froma- gère, 2 vol.	24 »	— Pommes de terre et bette- raves.	18 »
BELLAIR. Parcs et Jardins.	18 »	HOMMEL. Apiculture.	24 »
BONNEFONT. Elevage du Cheval.	18 »	JOUZIER. Économie rurale.	24 »
BOULLANGER. Brasserie, 2 vol.	36 »	— Législation rurale, 2 vol.	30 »
— Distillerie, 2 vol.	36 »	KAYSER. Microbiologie agricole, 2 vol.	42 »
BRUNET. Matériel viticole.	18 »	KLEIN et SANSON. Physique agricole.	24 »
— Matériel vinicole.	18 »	LEROUX. Osiériculture.	18 »
— Bâtiments vinaires.	18 »	LESSE (DE). Chasse, Elevage, Piégeage.	24 »
BÜSSARD. Culture potagère et mara- chère.	24 »	MARLÉ. Culture des porte-graines.	24 »
— Arboriculture fruitière.	24 »	MARTIN. Laiterie.	18 »
— Le Livre de la fermière.	18 »	PACOTTET. Vinification.	24 »
CAGNY et GOUIN. Maladies du Bétail.	24 »	— Viticulture.	24 »
CAZIOT. Expertises rurales.	18 »	— Eaux-de-vie et vinaig- res.	24 »
CONVERT. Comptabilité agricole.	18 »	— Vins de Champagne et Vins mousseux.	24 »
COQUIDÉ. Amélioration des plantes cultivées et du bétail.	24 »	— Cultures de serres.	24 »
CORD. Géologie agricole.	18 »	PATRIX. Topographie, 2 vol.	48 »
COUPAN. Machines agricoles, 2 vol.	36 »	PÉTI. Électricité agricole.	24 »
DANGUY. Constructions agricoles, 2 vol.	36 »	PLUVINAGE. Industrie des Engrais 2 vol.	36 »
DELACROIX. Maladies des plantes cultivées. 2 vol.	48 »	PROVOST et ROLLEY. Génie rural.	18 »
DIENERT. Hydrologie agricole.	24 »	REGNARD et PORTIER. Hygiène de la ferme.	18 »
DIFFLOTH. Agriculture générale, 4 vol.	72 »	RISLER et WEBY. Irrigations et drai- nages, 2 vol.	36 »
— Zootechnie générale, 3 vol.	54 »	RIVIÈRE et LECOQ. Cultures du Midi, 2 vol.	36 »
— Races chevalines.	24 »	ROLLET. Conserves, 2 vol.	36 »
— Races bovines.	24 »	— Plantes à parfums.	18 »
— Moutons.	18 »	— Plantes médicinales.	24 »
— Chèvres, Porcs, Lapins.	18 »	SAILLARD. Sucrierie, 2 vol.	36 »
— Zootechnie coloniale, 2 vol.	36 »	SANSON. Préviation du temps.	18 »
DORNIC et CHOLLET. Lait, Beurre.	24 »	SCHRIEBAUX et NANOT. Botanique agri- cole.	18 »
FRON. Sylviculture, 2 vol.	36 »	SELTENSBERGER. Précis d'Agriculture.	24 »
— Exploitation des bois.	12 »	— Lectures agricoles.	24 »
— Plantes nuisibles.	18 »	— Dictionnaire d'Agri- culture, 2 vol.	40 »
GAROLA. Céréales, 2 vol.	30 »	VIEIL. Sériciculture.	18 »
— Engrais, 2 vol.	36 »	VILLATTE DES PRUGNES. La Pêche.	24 »
— Prairies et Plantes fourra- gères, 2 vol.	36 »	VOITELLIER. Aviculture, 2 vol.	24 »
GOUIN. Alimentation des animaux, 2 vol.	42 »	VOIGNER. Comment exploiter un domaine agricole 2 vol.	30 »
GUÉNAUX. Entomologie et parasito- logie agricoles.	24 »	— Exploitation de la terre en France, 2 vol.	48 »
— Ornithologie agricole.	18 »	WARCOLLIER. Pommier à cidre.	18 »
— Mammifères.	12 »		

Cartonnage : 6 fr. en sus par volume.

AJOUTER 10 % POUR FRAIS D'ENVOI

N° Bib = 386994 / - 102496

ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE
Publiée par une réunion d'Ingénieurs-agronomes.
SOUS LA DIRECTION DE G. WERY

MALTERIE BRASSERIE

I

PAR

Eugène BOULLANGER

INGÉNIEUR-AGRONOME
ANCIEN SOUS-DIRECTEUR DE L'INSITUT PASTEUR DE LILLE

Troisième édition entièrement refondue

Avec 58 figures intercalées dans le texte.



MUSÉE COMMERCIAL
et COLONIAL
2, Rue du Lombard, 2
LILLE

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

1934

Tous droits réservés.

DU MÊME AUTEUR

Distillerie agricole et industrielle, Alcools, eaux-de-vie de fruits et rhums. 3^e édition, 1923, 2 vol. in-16 de 865 pages avec 167 figures, brochés, 36; cartonnés, 48 fr.

PRÉFACE

La première édition de cet ouvrage formait un volume comprenant les principales notions de bactériologie générale et industrielle, l'étude des industries de la malterie et de la brasserie et la fabrication des hydromels.

Pour pouvoir donner aux questions de fabrication du malt et de la bière tout le développement utile, nous avons dû élargir sensiblement notre cadre primitif et consacrer deux volumes aux industries de la malterie et de la brasserie ; en outre, nous avons réduit les notions de bactériologie et de chimie biologique à l'étude des phénomènes qui intéressent tout particulièrement les brasseurs, tels que la fermentation alcoolique et la saccharification diastasique de l'amidon, que nous avons pu traiter ainsi beaucoup plus complètement que dans notre première édition. Pour les autres questions de microbiologie générale et industrielle, nos lecteurs pourront très utilement se reporter à l'excellent livre de M. Kayser sur la *Microbiologie agricole*, dans cette Encyclopédie.

Le premier volume du présent ouvrage, ainsi remanié, comprend d'abord l'étude de la malterie, puis celle de la brasserie, jusqu'à la phase de refroidissement du mûr. Le second volume est consacré à la fermentation de la bière, aux accidents de fabrication et au contrôle chimique et bactériologique. Un chapitre spécial sur les hydromels termine l'ouvrage.

Dans notre premier volume, après avoir donné quelques notions statistiques, commerciales et législatives sur l'industrie de la brasserie, nous étudions les matières premières : eau, orge, houblon, matières amylacées diverses, matières sucrées, produits accessoires. Nous suivons ensuite toutes les phases de la fabrication du malt : travail préparatoire des orges, trempé,

germination, touraillage ; nous complétons l'étude de la malterie, par l'exposé des procédés d'appréciation du malt.

Abordant alors l'industrie de la brasserie, nous étudions la phase très importante du brassage, avec ses diverses opérations : concassage, méthodes de brassage, soutirage et lavages. La saccharification diastasique de l'amidon, si intéressante pour le brasseur, est jointe à cette partie de l'ouvrage. Notre premier volume se termine par l'étude de la cuisson et du houblonnage.

Le deuxième volume comprend l'examen des autres phases de la fabrication de la bière. Après avoir exposé les méthodes de refroidissement du moût, nous abordons l'étude théorique de la fermentation alcoolique, qui est aussitôt suivie de l'étude pratique de la fermentation de la bière. Un chapitre spécial a été réservé à la fabrication des bières en bouteilles. Nous étudions ensuite les résidus de la brasserie, les accidents de fabrication, les altérations microbiennes des bières et enfin le contrôle chimique et bactériologique de la fabrication, avec les méthodes d'analyse des matières premières et des produits fabriqués.

L'ouvrage se termine par l'étude de la fabrication des hydromels.

Nous avons cherché, dans chacune des phases du travail industriel, à mettre en évidence les bases théoriques sur lesquelles elles reposent et à appliquer ensuite au travail pratique les conclusions fournies par l'étude scientifique. Pour chaque opération, un chapitre spécial a été consacré, en outre, au matériel.

Nous espérons que ce travail pourra rendre des services à la fois aux élèves qui désirent acquérir les connaissances théoriques et pratiques indispensables pour aborder l'étude de la brasserie et aux brasseurs praticiens, en leur permettant de comparer entre elles les diverses méthodes de fabrication, d'en connaître le mécanisme et d'en discuter les avantages. Nous espérons aussi que ce modeste ouvrage montrera les services que peuvent se rendre mutuellement la science et la pratique.

EUGÈNE BOULLANGER.

BRASSERIE MALTERIE



I. — NOTIONS STATISTIQUES, COMMERCIALES ET LÉGISLATIVES.

Historique. — La bière est connue depuis la plus haute antiquité. Elle paraît avoir été inventée par les Égyptiens, qui la préparaient d'abord avec du froment, puis avec de l'orge. L'usage de la bière passa de l'Égypte en Grèce, puis à Rome et en Gaule. Les Gaulois la désignaient sous le nom de *cere visia*, et elle paraissait être, d'après les auteurs latins de l'époque, la boisson favorite des peuples du Nord. Sous la domination romaine en Gaule, la fabrication de la *cervoise* était déjà importante ; elle le devint encore davantage lorsque Domitien, à la suite d'une disette, interdit de cultiver la vigne dans toute terre pouvant porter des céréales.

Les chartes royales des Mérovingiens montrent l'intérêt que nos rois portaient à la cervoise : elles sont remplies de réglemens sur sa fabrication et sur sa vente, surtout pour les métairies de la Couronne. Le premier document officiel réglementant d'une façon générale l'industrie de la cervoise date de saint Louis : il consacre le principe de la liberté du métier de brasseur, détermine les matières premières à employer, les lieux de vente, etc. La fabrication fut interdite de 1415 à 1482 par suite de la disette de céréales, mais, par la suite, elle s'est de nouveau développée, sous le régime des corporations, avec des réglementations variables suivant les époques. La révolution abolit les corporations ; la liberté de la profession redevint entière. De 1791 à 1804, la brasserie ne fut plus soumise à aucun droit fiscal. En 1804, l'Administration des droits réunis rétablit l'exercice, et les brasseurs durent de nouveau déclarer la contenance des chaudières, l'heure de la mise de feu, etc., suivant le régime établi par Louis XIV.

A part quelques crises passagères, l'industrie de la brasserie est restée pendant tout le moyen âge et jusqu'à nos jours en pleine prospérité. La grande loi organique de 1816 réglementa la profession, et c'est cette loi qui, remaniée, modifiée et compliquée, a régi la fabrication de la bière jusqu'en 1899, date à laquelle a été mise en vigueur la nouvelle législation qui subsiste encore aujourd'hui. Dans le cours du siècle dernier, les études scientifiques se sont multipliées et ont amené peu à peu dans l'industrie de la brasserie des perfectionnements importants. Les travaux de Pasteur sur les fermentations achevèrent d'élucider un grand nombre de faits qui restaient encore obscurs, et la brasserie est aujourd'hui une industrie dans laquelle collaborent activement la science et la pratique.

Propriétés de la bière. — La bière est une boisson qui possède de hautes propriétés nutritives, à cause des matières premières qui entrent dans sa fabrication. C'est la boisson alcoolique qui a la teneur minima en alcool, car sa richesse varie de 2° à 4°, soit en moyenne 3°. En outre, chaque litre de bière contient 50 à 100 grammes de matières sèches, renfermant 3 à 8 grammes de matières azotées, le reste étant constitué par des matières hydrocarbonées (sucres) et des matières minérales. Cette composition lui a valu le nom de « pain liquide ». La valeur alimentaire d'un litre de bière équivaut en hydrates de carbone à 150 grammes de pain et, en matières albuminoïdes, soit à 60 grammes de pain, soit à 120 grammes de lait, soit à 25 grammes de viande. Un litre de bière renferme en moyenne 0 gr. 35 d'acide phosphorique à l'état de phosphates. Si nous comparons cette composition à celle du vin, nous voyons que la bière contient deux ou trois fois plus d'extrait et de matières azotées, quatre à dix fois plus de sucre et deux à trois fois moins d'acidité et d'alcool que le vin. L'ébullition prolongée que subit la bière dans sa fabrication assure la destruction des microbes pathogènes : la bière est donc une boisson hygiénique et nutritive de premier ordre.

Par son faible titre alcoolique, ses principes amers et son acide carbonique, la bière exerce sur l'organisme une action

stimulante ; elle augmente, en outre, la digestibilité des aliments. Son alcool ne produit, même par une absorption de plus d'un litre de bière, ni abaissement de température, ni accélération du pouls, comme le ferait, à dose égale, l'alcool absorbé en nature. Les expériences d'Atwater ont d'ailleurs montré que l'alcool très dilué des boissons hygiéniques peut être entièrement assimilé comme aliment et remplacer un poids équivalent de sucre jusqu'à la dose maxima de 37 grammes par jour. Or la bière contient en moyenne 30 grammes d'alcool par litre : donc dans un litre et quart de bière consommé par jour l'alcool est utilisé comme aliment.

La lactation s'accommode tout spécialement de la bière. Il est compréhensible, en effet, que la perte quotidienne d'un litre au moins de liquide, absorbé par l'enfant, oblige la nourrice à boire davantage, et la bière, moins alcoolique que le vin, permet d'obtenir cet équilibre physiologique dans de bien meilleures conditions.

Le tableau suivant résume la composition moyenne des bières courantes du Nord. d'après les résultats obtenus par le laboratoire municipal de Lille :

Densité à 15°	1 011,6
Densité originelle trouvée.	3°,8
Alcool p. 100 en volumes	3°,02
Extrait sec à 100°	43 ^{gr} ,28
Cendres.	1,34
Maltose.	11,33
Dextrines.	21,38
Matières azotées.	2,019
Acidité totale en acide lactique	1,364
Acide phosphorique.	0,361
Acide sulfureux.	0,017
Extrait primitif.	102,38

Les idées les plus fausses ont été répandues au sujet des falsifications dont la bière est l'objet. A la suite de documents publiés vers 1880 par le Laboratoire municipal de Paris, reproduisant d'ailleurs certaines pages de traités antérieurs de toxicologie, plusieurs livres et journaux ont répandu l'opinion que la bière est falsifiée avec de la strychnine, de l'acide picrique, du quassia amara, du colchique, de la coloquinte, du

buis, de la noix vomique, etc. *Ces produits n'existent jamais dans les bières* ; le laboratoire municipal de Lille, qui, depuis 1902, a analysé plusieurs milliers d'échantillons de bière, n'y a jamais rencontré aucune de ces substances. Les autres laboratoires de répression des fraudes ont fait les mêmes constatations, et il est bien établi aujourd'hui que les idées qui ont été longtemps répandues au sujet des falsifications de la bière ont eu pour cause unique la reproduction, sans aucun souci de vérification, des inexactitudes de certains traités de toxicologie.

La bière est au contraire la moins falsifiée de toutes les boissons hygiéniques ; on peut même dire qu'aujourd'hui elle ne l'est jamais. Ce fait découle nettement des résultats d'analyses publiés par les laboratoires chargés de la répression des fraudes

Production de la bière. — La production de la bière a beaucoup augmenté en France depuis 1896. A cette époque, elle était voisine de 9 millions d'hectolitres ; elle s'est élevée peu à peu ; en 1913, on pouvait l'évaluer à 16 millions d'hectolitres, en 1931, à 18 ou 19 millions d'hectolitres.

Le tableau suivant indique la production de la bière en France depuis 1908. Les chiffres de la première colonne indiquent les degrés-hectolitres imposés ; ceux de la deuxième colonne ont été calculés en supposant une densité moyenne de 4°.

Années.	Degrés-hectolitres imposés.	Production correspondant à une densité moyenne de 4° en hectolitres,
1908	58 935 036	14 733 759
1909	56 758 237	14 189 559
1910	61 195 082	15 298 770
1911	71 747 922	17 963 980
1912	63 280 432	15 820 113
1913	64 218 769	16 054 692
1914	45 088 000	11 272 000
1915	29 092 000	7 273 000
1916	38 428 000	9 607 000
1917	34 678 000	8 669 000
1918	22 311 823	5 577 700
1919	39 371 139	9 842 700
1920	34 644 012	8 661 000
1921	42 763 380	10 690 700

PRODUCTION DE LA BIÈRE

5

Années.	Degrés-hectolitres imposés.	Production correspondant à une densité moyenne de 4° en hectolitres.
1922	50 406 214	12 601 500
1923	60 642 328	15 160 500
1924	61 187 540	15 296 700
1925	59 063 138	14 765 700
1926	57 361 608	14 340 200
1927	57 741 946	14 428 000
1928	65 247 739	16 312 700
1929	70 220 000	17 555 000
1930	73 551 000	18 387 700
1931	74 288 000	18 572 000

Les chiffres des années 1914 à 1920 sont évidemment anormaux par suite de la guerre 1914-1918. Si on fait abstraction de ces chiffres, on voit que la production annuelle française atteint 17 à 19 millions d'hectolitres.

En 1913, le nombre des brasseries françaises était d'environ 2.800. Sur ce chiffre, près de 1.800, représentant à peu près les deux tiers de la production française, se sont trouvées dans la zone envahie en 1914-1918 et ont été détruites ou complètement démunies de leur matériel. La brasserie française a du fournir, depuis 1918, un effort considérable pour la reconstitution des usines disparues ; cette reconstitution est aujourd'hui complète et la production a regagné tout le terrain perdu.

Les départements du Nord et du Nord-Est de la France sont les plus gros producteurs, et représentent environ les deux tiers de la fabrication totale. Le tableau suivant indique, d'après le journal *Le Brasseur français*, la consommation en hectolitres de la bière évaluée à 3° dans les départements du Nord de la France.

	1912	1925	1926	1927
Aisne	656 042	362 367	387 417	232 034
Ardennes	631 264	297 798	264 464	285 322
Nord	9 221 361	6 030 655	6 148 131	5 788 346
Pas-de-Calais	3 094 911	1 739 030	1 639 042	1 363 300
Somme	394 546	230 300	230 047	193 493
Totaux	13 995 144	8 660 150	8 676 021	7 862 495

La France occupe le quatrième rang parmi les nations pro-

ductrices de bière après l'Allemagne, l'Angleterre et la Belgique. Viennent ensuite, par ordre d'importance, la Tchécoslovaquie, l'Autriche, l'Australie, la Russie, le Canada, la Suède, le Danemark, l'Argentine, la Suisse, les Pays-Bas, la Pologne, le Japon, le Brésil, l'Italie et la Roumanie. La production des autres pays est faible.

Production mondiale de la bière en 1913, 1920 et 1926.

Pays.	Production en milliers d'hectolitres.		
	1913	1920	1926
Allemagne	69 250	23 438	48 376
Angleterre	60 667	38 443	36 464
Belgique	16 000	9 691	17 263
France	16 054	8 661	14 340
Tchécoslovaquie.	—	6 223	9 174
Etats-Unis.	76 626	12 988	6 840
Autriche	24 757	3 049	5 442
Australie	3 500	2 934	3 675
Russie	10 666	—	2 500
Canada	2 353	1 675	2 383
Suède.	2 834	2 021	2 363
Danemark	2 465	2 662	2 258
Argentine.	1 000	1 651	2 200
Suisse.	2 920	1 743	2 035
Pays-Bas	1 780	1 400	1 970
Pologne.	—	800	1 660
Japon.	394	992	1 600
Brésil.	—	750	1 450
Italie	673	950	1 219
Roumanie	353	250	1 003
Yougoslavie	170	750	990
Mexique	—	730	704
Norvège	500	869	667
Hongrie	—	1 500	505
Chili	—	412	450
Indes britanniques	—	320	209
Autres pays.	2 213	2 440	3 759
Production totale.	295 028	126 944	171 400

La production mondiale de la bière a donc diminué de plus de 40 p. 100 en 1926 par rapport à 1913, mais cette diminution provient surtout de la suppression de la production des États-Unis.

Consommation de la bière. — En France, la bière n'est la boisson courante que dans la région du Nord ; dans les autres provinces, elle est surtout consommée comme boisson rafraîchissante en dehors des repas. Tandis qu'à Paris la consommation de bière par habitant et par an ne dépasse guère 15 litres, elle atteint 390 litres à Lille et oscille entre 250 et 350 litres dans beaucoup de villes du Nord. Malgré ces chiffres, la consommation par habitant, en France, est notablement plus faible que celle de beaucoup d'autres pays. On peut l'évaluer à 40 litres environ. Il est difficile de comparer cette consommation avec celle des autres pays, car en France le consommateur dispose de trois boissons hygiéniques : le vin, le cidre et la bière, tandis que dans certains pays comme en Belgique, en Allemagne ou en Angleterre le vin n'existe pas ou est l'exception.

Il est certain, cependant, que la consommation moyenne de la bière en France a augmenté depuis 1908 ; elle n'était à cette époque que de 36 litres environ par habitant, au lieu de 40.

Commerce de la bière. — On consomme en France une certaine quantité de bières étrangères, mais l'importation de la bière n'est pas aussi forte qu'on pourrait le croire ; elle n'atteint en effet que 35.000 hectolitres environ. Ce chiffre ne représente que la 500^e partie de la consommation. Il correspond à une valeur d'environ 5 millions de francs. Les importations proviennent surtout d'Allemagne, de la Grande-Bretagne et de la Tchécoslovaquie.

Les exportations de bière française ne représentent que 0,7 p. 100 de la production totale ; 70.000 hectolitres sont vendus dans les colonies et pays de protectorat et représentent 55 p. 100 des exportations et 0,4 p. 100 de la production totale ; 62.000 hectolitres sont vendus dans les autres pays et représentent 45 p. 100 des exportations et 0,3 p. 100 de la production totale. La valeur de ces exportations est de l'ordre de 25 millions de francs.

On voit, en somme, que le marché français absorbe la presque totalité de la production française et cette production seule. Les importations et les exportations n'apportent que des modifications peu sensibles.

Le tableau suivant résume les importations et exportations de bières, en quintaux métriques, dans les trois dernières années :

Années.	Importations.	Exportations.
1928	41 931	202 010
1929	53 753	212 050
1930	63 210	204 800

Législation. — Depuis 1899, le régime fiscal de la brasserie est basé sur une taxe au degré-hectolitre, c'est-à-dire par hectolitre de moût et par degré au densimètre légal au-dessus de la densité de l'eau à 15°. La taxe, qui était de 0 fr. 25 par degré-hectolitre, a été successivement portée, depuis 1917, à 2 francs par degré-hectolitre.

Les diverses obligations imposées au brasseur sont réunies dans la loi du 30 mai 1899, modifiée par la loi du 29 décembre 1900 et dans le décret d'administration publique du 30 mai 1899. Le décret du 28 juillet 1908 a réglementé la bière sous le rapport de l'application de la loi du 1^{er} août 1905 sur la répression des fraudes.

Nous indiquerons seulement les principaux articles de ces lois et décrets :

Loi du 30 mai 1899, modifiée par la loi du 29 décembre 1900.

L'article 6 fixe le droit à 0 fr. 25 par degré-hectolitre de moût, reconnu à 15° (1).

L'article 9 prescrit que, si le nombre total de degrés-hectolitres, applicable à l'ensemble des chaudières ou appareils à houblonner déclarés par le brasseur, dépasse le dixième de la quantité déclarée, l'excédent, dixième compris, est soumis : 1° au double droit fixé par l'article 6, s'il est compris entre 10 et 15 p. 100 de la quantité déclarée; 2° au décuple de ce droit au-dessus de 15 et jusqu'à 20 p. 100 inclusivement de la même quantité. Un excédent de plus de 20 p. 100 de la quantité déclarée suppose une déclaration frauduleuse; dans ce cas, la totalité des quantités reconnues est imposable au décuple droit.

L'article 10 dit qu'à l'exception des excédents de trempes qui font l'objet du décret prévu ci-dessous, toute quantité de moût

(1) Nous avons vu que ce droit a été porté par la suite à 2 francs par degré-hectolitre.

trouvée en dehors des chaudières à houblonner après l'heure déclarée pour la fin de la rentrée définitive des trempes dans ces chaudières est considérée comme ayant été frauduleusement soustraite à la prise en charge, et soumise au droit décuplé, sans préjudice de l'amende prévue à l'article 16.

L'article 12 prescrit la restitution du droit de fabrication sur les bières expédiées à l'étranger ou pour les colonies françaises.

Décret du 30 mai 1899.

Les articles 4 à 5 fixent les obligations du brasseur au sujet de la déclaration de son établissement et de ses vaisseaux de toute nature avec leur contenance.

L'article 6 prescrit que chaque chaudière doit être pourvue soit d'un bâton de jauge gradué, soit d'un tube de niveau en verre d'au moins 2 centimètres de diamètre intérieur et accessible sur toute sa longueur. Dans le cas d'usage d'un bâton de jauge, les chaudières doivent être munies intérieurement de deux anneaux métalliques rigides fixés à demeure, placés verticalement l'un au-dessus de l'autre et distants d'une longueur moins égale à la hauteur de la chaudière. Un troisième point fixe doit être disposé extérieurement sur la même ligne verticale, de manière à assurer le repérage exact du bâton de jauge.

D'après l'article 10 du décret, chaque fois qu'ils voudront se livrer à la fabrication de la bière, les brasseurs sont tenus de déclarer à la recette ruraliste : 1° les numéros des cuves-matières et vaisseaux assimilés ou autres appareils dans lesquels la saccharification doit être opérée, ainsi que l'heure du versement des matières premières dans ces vaisseaux ; 2° le numéro et la contenance de chacune des chaudières qu'ils veulent employer, ainsi que l'heure de la mise de feu sous chacune d'elles ou de l'introduction de la vapeur dans les serpentins de chauffe ; 3° le nombre de degrés-hectolitres qu'ils entendent produire, sans que le nombre puisse être inférieur à deux fois le volume total des chaudières et appareils à houblonner déclarés pour le brassin ; 4° l'heure du commencement et celle de la fin de la rentrée définitive de toutes les trempes dans les chaudières à cuire et à houblonner ; 5° l'heure du commencement et celle de la fin du déchargement de chacune des chaudières.

L'article 12 prescrit que les moûts produits sont sous le contrôle de la régie dès leur apparition. Aucune quantité de ces moûts ne peut être séparée de la fabrication en cours ; la reconnaissance du nombre de degrés-hectolitres est faite tant dans les chaudières ou appareils à houblonner que dans les bacs refroidissoirs. La période légale de reconnaissance commence immédiatement après la rentrée définitive du produit des trempes dans les chaudières à cuire ou à houblonner et finit dès que les chaudières et bacs sont vidés ; si la reconnaissance a lieu sur les bacs, elle ne peut être faite qu'autant

que la température des moûts n'est pas descendue au-dessous de 60°. Cette période doit avoir, au minimum, une durée de trois heures avant le commencement de déchargement des chaudières; toutefois ce temps peut être abaissé à un minimum d'une heure et demie sur justification de conditions spéciales de fabrication et de cuisson. Les appareils de saccharification doivent être vidés de leurs drèches au plus tard en même temps que les chaudières à cuire. Dans les brasseries où il n'est pas fait plus d'une fabrication en vingt-quatre heures, la période de reconnaissance de la densité des moûts doit être comprise entre huit heures du matin et huit heures du soir. Sauf des tolérances spéciales justifiées par des nécessités de travail bien démontrées, les chaudières de cuisson doivent dans ce cas être vidées à huit heures du soir au plus tard. Dans les brasseries qui fabriquent plusieurs brassins en une journée de vingt-quatre heures, la période de reconnaissance de la moitié des brassins au minimum doit être comprise entre huit heures du matin et huit heures du soir.

Les brasseurs ont la faculté de conserver de l'eau chaude après la jetée de la dernière trempe du brassin, et ils peuvent, après le déchargement des chaudières, soumettre au lavage les houblons infusés (décision de l'administration supérieure).

L'article 13 spécifie que, dans le cas où il est fait usage de plusieurs chaudières pour le même brassin, le minimum de degrés-hectolitres déclarés s'applique à l'ensemble des moûts introduits dans les chaudières. La période légale de reconnaissance ne commence que lorsque la totalité des métiers est rentrée dans les chaudières. Mais, qu'il soit fait emploi d'une ou plusieurs chaudières, le service peut, à partir du moment où commence la rentrée définitive des métiers, constater le nombre de degrés-hectolitres que représentent les métiers déjà rentrés. Toute diminution de plus de 2 p. 100 qui serait ultérieurement reconnue sur le nombre de degrés-hectolitres constatés dans la chaudière unique ou dans l'une des chaudières du brassin suppose une décharge partielle et donne lieu à la rédaction d'un procès-verbal.

Les articles 14 et 15 déterminent les conditions de constatation du volume et de la densité. Ils font connaître les corrections à faire subir à la densité des moûts quand cette prise de densité est faite à une température comprise entre 10° et 25°. La densité doit être augmentée de 0,01 à 16°, de 0,03 à 17°, de 0,05 à 18°, et ainsi de suite, en ajoutant 0,02 par degré de température jusqu'à 25°. Elle doit être diminuée de 0,01 à 14°, de 0,02 à 13°, de 0,04 à 11° et de 0,05 à 10°.

L'article 16 fixe les réductions de volume accordées pour tenir compte de la dilatation des moûts. Il est fait une déduction de 0,5 p. 100 pour les liquides vérifiés à une température comprise entre 31° et 40°, de 0,9 p. 100 entre 41° et 50°, de 1,3 p. 100 entre 51° et 60°, de 1,8 p. 100 entre 61° et 70°, de 2,4 p. 100 entre 71° et

80°. de 3,2 p. 100 entre 81° et 90°, de 4 p. 100 entre 91° et 100°, de 6 p. 100 au-dessus de 100°. Il n'est fait aucune déduction pour le volume occupé par le trouble et par le houblon.

*Décret du 28 juillet 1908 relatif à l'application de la loi
du 1^{er} août 1905 sur la répression des fraudes.*

ARTICLE PREMIER. — Il est interdit de détenir ou de transporter en vue de la vente ou de vendre sous la dénomination de *bière* un produit autre que la boisson obtenue par la fermentation alcoolique d'un moût fabriqué avec du houblon et du malt d'orge pur ou associé à un poids au plus égal de malt provenant d'autres céréales, de matières amylacées, de sucre interverti ou de glucose.

ART. 2. — Doit être désignée sous le nom de *petite bière* la bière provenant d'un moût dont la densité est inférieure à 2°.

ART. 3. — Ne constituent pas des manipulations et pratiques frauduleuses, aux termes de la loi du 1^{er} août 1905, les opérations ci-après énumérées, qui ont pour objet la fabrication régulière, ou la fabrication de la bière : 1° la clarification, soit en chaudière, soit pendant ou après la fermentation, à l'aide de substances dont l'emploi est déclaré licite par arrêtés pris de concert par les ministres de l'Intérieur et de l'Agriculture, sur l'avis du Conseil supérieur d'hygiène publique et de l'Académie de médecine; 2° la pasteurisation; 3° l'addition du tanin dans la mesure indispensable pour effectuer le collage; 4° la coloration au moyen du caramel ou d'extraits obtenus par torréfaction des céréales et substances dont l'emploi est autorisé, dans la fabrication de la bière, par l'article 4^{er} du présent décret; 5° le traitement par l'anhydride sulfureux pur provenant de la combustion du soufre ou par les bisulfites purs, à la double condition que la bière ne retienne pas plus de 50 milligrammes d'anhydride sulfureux, libre ou combiné, par litre (1), et que l'emploi des bisulfites soit limité à 5 grammes par hectolitre.

ART. 4. — Est interdite l'addition à la bière de tous antiseptiques autres que l'anhydride sulfureux, les bisulfites et ceux qui pourraient être ultérieurement autorisés dans les formes prévues au paragraphe 1^{er} de l'article 3 ci-dessus.

ART. 5. — Il est interdit de détenir en vue de la vente, de mettre en vente ou de vendre des produits désignés sous une appellation ou dans des termes de nature à faire croire que les boissons préparées à l'aide de ces produits peuvent être légalement mélangées à la bière ou même vendues séparément comme bière.

ART. 6. — Les produits présentés au public comme pouvant servir soit à la fabrication des moûts, soit aux manipulations e

(1) Cette quantité a été portée depuis à 100 milligrammes, avec une tolérance de 10 p. 100 en plus.

pratiques autorisées par l'article 3 du présent décret doivent être désignés sous une appellation faisant connaître expressément la nature et la composition de ces produits.

ART. 7. — Dans les établissements où s'exerce le commerce de détail des bières, il doit être apposé d'une manière apparente, sur les récipients, emballages, casiers ou fûts, une inscription indiquant la dénomination sous laquelle la bière est mise en vente. Cette inscription n'est pas obligatoire pour les bouteilles ou récipients dans lesquels la bière est emportée séance tenante par l'acheteur ou servie par le vendeur pour être consommée sur place. Les inscriptions doivent être rédigées sans abréviation et disposées de façon à ne pas dissimuler la dénomination du produit.

ART. 8. — L'emploi de toute indication ou signe susceptible de créer dans l'esprit de l'acheteur une confusion sur la nature ou sur le lieu de fabrication de la bière, lorsque d'après les conventions ou les usages, la désignation de ce lieu de fabrication devra être considérée comme la cause principale de la vente, est interdit en toutes circonstances et sous quelque forme que ce soit, notamment : 1° sur les récipients et emballages; 2° sur les étiquettes, capsules, bouchons, cachets ou tout autre appareil de fermeture; 3° dans les papiers de commerce, factures, catalogues, prospectus, prix courants, enseignes, affiches, tableaux réclame, annonces ou tout autre moyen de publicité.

II. — MATIÈRES PREMIÈRES

I. — EAU

L'eau est une matière première très importante pour la brasserie. On en utilise dans cette industrie des quantités considérables; en outre, la nature de l'eau a une grande influence sur les diverses opérations de la fabrication et sur le caractère de la bière.

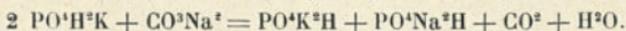
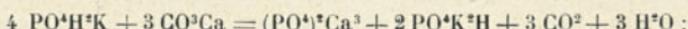
L'eau sert en brasserie à deux usages bien distincts, d'abord pour la fabrication proprement dite, c'est-à-dire pour la trempe, le brassage et le lavage des appareils, ensuite pour l'alimentation des générateurs, des réfrigérants, etc. Pour chacun de ces usages, l'eau devrait posséder certaines qualités; mais comme on dispose rarement, dans une même brasserie, de plusieurs eaux différentes, on doit chercher à réunir dans

une seule eau les principales qualités requises pour la totalité des opérations. Il est d'ailleurs souvent possible de corriger les défauts de certaines eaux par un traitement approprié.

Rôle de l'eau en fabrication. — La question de l'influence de l'eau sur la fabrication est encore loin d'être résolue, vu le nombre considérable de facteurs qui entrent en jeu. La théorie et la pratique s'accordent bien pour reconnaître que la composition de l'eau de brassage influe beaucoup sur la qualité de la bière, mais l'étude des réactions qui se produisent et qui déterminent cette influence est extrêmement complexe. Certains sels de l'eau ne subissent aucun changement pendant les opérations de la fabrication et peuvent agir plus ou moins par eux-mêmes ; beaucoup d'autres sels entrent en réaction entre eux, soit à l'ébullition, soit aux températures de travail pratique. Certaines eaux changent, par exemple, de composition quand on les fait bouillir, et il n'est pas rare d'en trouver qui deviennent alcalines par le chauffage. Les éléments minéraux du malt et notamment les phosphates entrent également en réaction avec certains sels de l'eau. Tous ces phénomènes peuvent entraîner des variations dans la réaction plus ou moins acide du milieu, et nous savons aujourd'hui combien les actions diastasiques de la saccharification et de la dissolution des matières azotées, pendant le brassage, sont sensibles à ces moindres variations. On voit donc combien cette question est complexe. Certains expérimentateurs ont fait intervenir, dans leurs études, ces importantes réactions secondaires des divers sels entre eux et avec les sels du malt ; d'autres, au contraire, les ont plus ou moins négligées, en opérant sur des solutions pures de substances minérales déterminées et en étudiant isolément l'influence de chacune de ces substances sur les diverses opérations de la fabrication. Des travaux si différents ne pouvaient évidemment conduire qu'à des constatations souvent contradictoires. En réalité, la question des eaux en fabrication ne peut être bien étudiée que par des essais pratiques. On peut cependant dégager, de tous les travaux publiés sur cette question, certaines généralités très importantes.

Action des carbonates. — Les principaux carbonates

qu'on peut rencontrer dans les eaux sont d'abord les carbonates et bicarbonates de soude ou de potasse, qui sont solubles, puis les carbonates de chaux et de magnésie, qui se trouvent à l'état de bicarbonates dissous grâce à la présence d'un excès d'acide carbonique. Le caractère commun de ces divers sels est leur réaction alcaline : dans leurs combinaisons avec les sels du moût et du malt pendant le brassage, ils agissent donc surtout en diminuant l'acidité. C'est ainsi qu'ils transforment les phosphates primaires, acides au tournesol, en phosphates secondaires ou tertiaires, alcalins à ce réactif. Les phosphates secondaires et tertiaires de potasse et de soude sont solubles et restent dans le moût; les phosphates secondaires et tertiaires de chaux sont insolubles et se séparent. Les réactions qui se passent sont les suivantes :



On voit déjà que les divers carbonates n'agissent pas de la même manière. Il faut sensiblement trois fois plus de carbonate de chaux que de carbonate de soude pour produire 2 molécules de phosphate secondaire alcalin. L'action des carbonates de soude et de potasse doit être par suite beaucoup plus accentuée que celle des carbonates de chaux et de magnésie, et c'est bien ce que l'expérience pratique confirme. Entre les carbonates de chaux et de magnésie, il y a aussi une différence sensible. Le carbonate de chaux, quand il n'est pas en très grand excès, donne aux dépens des phosphates du malt du phosphate tricalcique insoluble; le carbonate de magnésie ne forme pas de phosphate de magnésium tertiaire, il donne du phosphate secondaire, légèrement soluble dans l'eau. Dans ce dernier cas, la réduction d'acidité s'accompagne, par suite, du passage dans le moût de phosphate secondaire qui peut agir comme neutralisant. Le carbonate de magnésie doit donc être plus actif que le carbonate de chaux, et cette conclusion est également d'accord avec les observations de la pratique.

Quelles vont être les conséquences de la réduction d'acidité

causée par les carbonates ? Nous savons aujourd'hui, par les travaux de Fernbach et Wolff et de Maquenne et Roux, que la réaction du milieu a une influence considérable sur les phénomènes diastasiques du brassage, et nous y reviendrons en étudiant cette partie de la fabrication. Les carbonates, en agissant comme neutralisants, éloignent donc la réaction de la neutralité à l'orangé, que nous verrons être la plus favorable, pour la rapprocher de la neutralité à la phtaléine. Il en résulte un allongement de la durée de la saccharification, une diminution de la dissolution des matières azotées, une formation moindre de maltose et de corps amidés, une augmentation des dextrines et des peptones, un rendement plus faible, une multiplication plus abondante de la levure, un abaissement de l'atténuation. En outre, on observe des filtrations et des clarifications plus difficiles, des cassures médiocres en chaudière, des colorations plus foncées; la fabrication de bières pâles est rendue beaucoup moins aisée. Enfin, la stabilité est généralement diminuée. Ces actions peuvent se manifester plus ou moins suivant l'acidité première du malt, la dose et la nature des carbonates : elles peuvent être à peine appréciables avec des malts déjà très acides par eux-mêmes ou en présence de faibles quantités de carbonate de chaux ; elles peuvent être considérables avec les malts peu acides, qui ne sauraient supporter sans dangers une nouvelle réduction de l'acidité, ou en présence de carbonates de soude ou de potasse, particulièrement actifs. Les carbonates ont donc, à forte dose, une action plutôt défavorable sur le brassage et sur la stabilité des bières.

Les travaux de Seyffert ont montré qu'il en est tout autrement pour la trempe de l'orge. On a longtemps pensé que la nature de l'eau de trempe n'avait aucune influence, surtout à la suite des recherches d'A.-J. Brown, qui avait reconnu très justement que les sels de l'eau ne pénètrent pas dans l'intérieur du grain et que leur action est limitée aux enveloppes.

Mais beaucoup de grains n'ont pas leurs enveloppes intactes. En outre, Seyffert a signalé la présence, dans ces enveloppes, de tanins et de substances amères. Ces substances amères, presque insolubles à froid dans l'eau douce, donnent avec les

carbonates des combinaisons solubles. En utilisant pour la trempe une eau riche en carbonates, on extrait donc la plus grande partie de ces substances et on produit un malt sucré, aromatique, débarrassé de produits amers; on précipite en outre les tanins de l'enveloppe. Au contraire, une eau très pauvre en carbonates conduit toujours à la production de malts à saveur âcre, sauf avec les orges à enveloppes très fines.

Toutefois, les bicarbonates de potasse et de soude peuvent être nuisibles par la suite, en pénétrant dans les enveloppes des grains et en les rendant alcalines; les carbonates de chaux et de magnésie n'ont pas cette action défavorable.

Il résulte de ces travaux de Seyffert que la nature de l'eau de trempe exerce sur le caractère du malt une influence beaucoup plus accentuée qu'on ne le supposait jusqu'ici. Les eaux douces conviennent pour les malts peu sucrés et pâles du genre Pilsen; pour les malts du genre Munich, sucrés et colorés, l'emploi à la trempe d'une eau riche en bicarbonates de chaux et de magnésie et pauvre en sulfate de chaux est indispensable; enfin, pour les malts du type Dortmund, pâles et sucrés, il faut pour la trempe une eau ayant à la fois une teneur notable en carbonates, mais dont l'action colorante est atténuée par de fortes quantités de sulfate de chaux. Donc, en général, les eaux carbonatées calciques sont préférables pour la trempe, sauf s'il s'agit de fabriquer des malts Pilsen.

Il nous reste à examiner maintenant l'action particulière de ces divers carbonates.

Carbonates de soude et de potasse. — Ces sels sont beaucoup plus fréquents qu'on ne le croit dans les eaux. Certaines eaux de forage profonds, dans la région du Nord, en renferment parfois des quantités notables, à côté de doses élevées de chlorures. La forte alcalinité de ces sels les rend particulièrement nuisibles au brassage; leur action est déjà sensible à faible dose, et dès que leur proportion s'élève un peu, la saccharification devient très longue; les filtrations sont pénibles et donnent des liquides troubles et colorés; le rendement est diminué; le tranché en chaudière est faible et mauvais, de sorte que le moût est finalement plus riche en matières azotées, bien que la solubilisation de ces matières au brassage soit moins forte.

La sensibilité des bières au froid est beaucoup plus grande. Nous avons vu que ces carbonates sont également nuisibles à la trempe. Les eaux qui en renferment doivent donc être corrigées pour pouvoir être utilement employées à la fabrication ; nous étudierons plus loin cette correction.

Carbonate de magnésie. — Ce carbonate a une action analogue à celle des carbonates alcalins, mais moins accentuée, pour les raisons que nous avons indiquées. Au brassage, le sens général de cette action est toujours le même : retard dans la saccharification, diminution du rendement et de la formation de maltose, solubilisation plus faible des matières azotées, filtration et clarification plus difficiles, etc. Ces phénomènes peuvent être plus ou moins accentués suivant la dose de carbonate de magnésie et le degré d'acidité du malt.

Nous avons vu plus haut que la présence de carbonate de magnésie dans les eaux de trempe est favorable à la production des malts type Munich ou Dortmund.

Sous le rapport de la fermentation, Moufang a constaté que le carbonate de magnésie la favorise, augmente le brillant de la bière et la tenue de la mousse et rend la levure plus compacte.

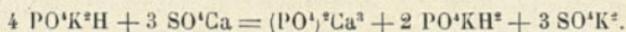
En général, la correction des eaux qui renferment du carbonate de magnésie est une mesure des plus utiles à cause de l'action assez énergique qu'exerce ce sel sur les opérations du brassage.

Carbonate de chaux. — Le carbonate de chaux est, comme nous l'avons vu, le moins actif des carbonates. Cependant, les eaux fortement calcaires gênent la saccharification, diminuent la proportion de maltose et la solubilisation des matières azotées, retardent la clarification et la rendent imparfaite ; la cassure en chaudière est souvent médiocre, et la stabilité est faible. L'importance de ces actions est variable avec l'acidité primitive des malts et la richesse des eaux en carbonate de chaux. En général, une correction appropriée pour les eaux assez calcaires améliore presque toujours le travail. La filtration devient plus rapide et le rendement plus élevé ; l'atténuation monte, la quantité de levure produite s'accroît beaucoup ; la clarification est meilleure, la stabilité est plus grande. Il ne

faut cependant rien exagérer, et nous ne pouvons nous ranger à l'avis de certains auteurs allemands qui considèrent la suppression totale du calcaire et des carbonates comme une panacée. La pratique nous apprend, en effet, que la fabrication est très difficile avec les eaux trop douces : on obtient des bières plates, sans mousse et très sensibles aux troubles de métaux. Bien des brasseries qui ont des eaux exemptes de calcaires sont amenées à y ajouter du sulfate de chaux pour les améliorer. Une dose de 10 à 12 grammes de calcaire par hectolitre n'exerce qu'une action favorable sur la saveur et la mousse de la bière ; la fermentation est meilleure qu'avec une eau exempte de calcaire ; la levure produite est plus ferme ; enfin, la sensibilité aux troubles est diminuée. Nous ne pouvons que partager entièrement l'avis de Petit, qui estime que la correction des eaux calcaires ne doit porter, en général, que sur la partie utilisée pour l'empâtage et n'éliminer qu'une fraction du carbonate de chaux, variable avec les conditions de travail et à déterminer par des essais pratiques.

A la trempé, le carbonate de chaux exerce, comme nous l'avons vu, une action très favorable à la production des malts sucrés et colorés, en formant avec les substances amères de l'enveloppe des combinaisons solubles.

Action des sulfates. — Les principaux sulfates qu'on rencontre dans les eaux sont les sulfates de chaux, de magnésie et de soude. Ce sont des sels neutres, qui interviennent au brassage d'une façon tout à fait différente de celle des carbonates. Ils augmentent, en effet, l'acidité, au lieu de la réduire, car ils réagissent avec les phosphates secondaires neutres pour les transformer en phosphates acides. Par exemple, on a, avec le gypse :



Le sulfate de magnésie agit de la même manière.

D'une façon générale, les sulfates exercent donc une influence favorable sur la saccharification, la filtration et la clarification. Il semble que l'augmentation de rendement qu'ils produisent ne soit qu'apparente : en effet, si on corrige les résultats de l'accroissement de densité dû à la présence de ces sels,

on trouve que les matières effectivement extraites du malt n'ont pas augmenté.

A la trempe, Moufang et Vitter ont constaté que les eaux chargées de sulfates fixent à l'état insoluble les substances amères de l'enveloppe. Les sulfates, quand ils ne sont pas accompagnés de carbonates alcalino-terreux, ne sont donc pas favorables à la production des malts sucrés, genre Munich.

Sulfate de chaux. — L'action de ce sel a donné lieu à de très nombreuses études, dont les résultats n'ont pas toujours été concordants. En général, on a constaté que les eaux gypseuses favorisent la dissolution des matières azotées, rendent la clarification plus facile, la bière plus brillante et moins sensible au froid, et empêchent l'action nuisible des carbonates sur la couleur. La production des bières pâles est donc beaucoup facilitée par la présence du gypse. L'action favorable sur le tranché en chaudière n'est pas admise par tous les auteurs ; il en est de même de l'augmentation de rendement qui semble être surtout apparente : l'extrait produit est le même, et l'accroissement de densité ne provient que de la dissolution du sulfate de chaux.

Sulfate de magnésie. — Ce sel se comporte sensiblement comme le gypse et peut donner lieu, à doses normales, aux mêmes réactions avec les sels du malt et aux mêmes influences en fabrication.

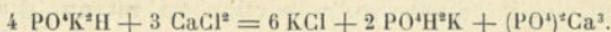
Sulfate de soude. — L'action de ce sel n'a guère été étudiée. On a signalé la saveur âpre et dure qu'il peut donner à la bière, à dose assez forte. Il semble que son influence, aux doses où on le trouve en général dans les eaux normales, ne soit pas très appréciable.

Action générale de la chaux à l'état de sel. — Il nous reste à envisager maintenant le rôle général de la chaux indépendamment de l'acide auquel elle est combinée à l'état de sels. La chaux contenue dans l'eau de brassage passe en partie dans le moût, tandis qu'une autre portion est retenue dans les drèches sous forme de phosphate de chaux ; une troisième portion passe sous la même forme dans le trouble qui se produit pendant la cuisson et le refroidissement. Il peut arriver ainsi qu'un moût obtenu avec des eaux riches en sels de chaux

renferme finalement moins de chaux que celui qu'on obtiendrait avec de l'eau distillée, qui dissout simplement les sels de chaux du malt. Les travaux de Hayduck et Schucking ont montré qu'il n'y a pas de relation régulière entre la teneur en chaux de l'eau de brassage et celle du moût : il y a bien une petite augmentation dans le moût à mesure que l'eau est plus riche en chaux, mais il n'y a aucune proportionnalité, et l'augmentation est insignifiante. Il n'y a pas non plus de relation régulière entre la teneur en chaux des moûts et celle de la levure produite. La marche de la fermentation et le caractère de la levure sont indépendants de la teneur absolue du moût et de la levure en chaux, mais dépendent de la nature des sels de chaux de l'eau de brassage. De toute façon, une certaine teneur de l'eau en chaux est indispensable pour obtenir une fermentation normale, et cette action favorable paraît être due surtout à l'action des sels de chaux sur les substances toxiques des céréales pour la levure : ces sels suppriment en effet complètement cette action toxique.

Action des chlorures. — Les chlorures sont parfois très abondants dans les eaux carbonatées sodiques que nous avons signalées plus haut. Les eaux plus superficielles en renferment ordinairement assez peu : la présence de chlorures à forte dose dans ces eaux est souvent la conséquence d'infiltrations de fumiers ou de matières fécales. Dans ce cas, on trouve ordinairement, à côté de ces chlorures, de l'ammoniaque, des nitrites et des matières organiques : ces eaux sont en même temps très chargées de microbes.

A faible dose, jusqu'à 100 milligrammes par litre, les chlorures ne sont pas nuisibles, et ils exercent même sur le moelleux de la bière une action favorable reconnue par tous les praticiens. Les chlorures de calcium et de magnésium peuvent réagir sur les phosphates secondaires du malt en les transformant en phosphates acides :



Si cette augmentation d'acidité n'est pas annihilée par les carbonates de l'eau, elle peut entraîner une saccharification plus rapide avec formation plus abondante de maltose, une

dissolution un peu plus forte des matières azotées, une légère augmentation de rendement : ces phénomènes ont été signalés par certains auteurs.

A dose élevée, les chlorures gênent nettement la fermentation et affaiblissent rapidement la levure. Les brasseries qui emploient les eaux profondes, fortement chlorurées, que nous avons signalées ont des fermentations difficiles et doivent sans cesse renouveler leurs levains.

Il y a lieu de signaler enfin, pour les chlorures, leur action très importante sur le carbonate de chaux à l'ébullition. Moufang a montré que les chlorures de sodium et de magnésium peuvent redissoudre à l'ébullition le carbonate de chaux précipité et donner des eaux alcalines. Petit, qui a étudié cette réaction, a constaté qu'en présence de chlorure de sodium la quantité de chaux précipitée du carbonate de chaux à l'ébullition diminue ; il se forme en même temps du carbonate de soude. Donc, en faisant bouillir, pour l'épurer, une eau calcaire qui contient en même temps du chlorure de sodium, on la rend alcaline, et on la détériore par suite sensiblement au point de vue de son emploi au brassage. Par contre, de petites doses de chlorure de sodium favorisent la précipitation du bicarbonate de magnésie à l'ébullition, pourvu que ce dernier sel ne soit pas en quantités trop faibles.

Action des sels de fer. — Les eaux riches en fer sont mauvaises pour la brasserie. A la trempée, les sels de fer communiquent aux orges une coloration brune ; ils donnent au malt un aspect grisâtre. A forte dose, ils occasionnent au brassage des teintes noirâtres du moût ; à la fermentation, ils affaiblissent la levure et conduisent à la production de bières vides et sans moelleux. L'épuration préalable des eaux ferrugineuses est donc indispensable.

Action des nitrates. — La présence de nitrates en petites quantités dans les eaux est normale et n'a pas d'inconvénients en fabrication. A dose faible, d'après les recherches de Mikowsky, ils favoriseraient même la saccharification. Sykes estime qu'aucune difficulté ne peut résulter de la présence de nitrates tant que leur proportion ne dépasse pas 144 milligrammes par litre. Briant a donné des chiffres sensiblement

plus faibles. En réalité, la proportion à laquelle les nitrates peuvent devenir nuisibles varie avec la nature plus ou moins calcaire des eaux, mais l'action nocive ne se manifeste bien que pour des doses de nitrates atteignant environ 100 milligrammes par litre. Quand la proportion de ces sels devient élevée, la fabrication peut-être rendue impossible : la levure s'affaiblit rapidement, sa multiplication diminue, l'atténuation baisse, il n'y a pas de fermentation secondaire, et la clarification est défectueuse.

Action des nitrites. — Les nitrites n'existent ordinairement dans les eaux qu'à l'état de traces : ils sont alors sans influence au brassage et disparaissent à l'ébullition. Quand leur dose devient appréciable, les eaux sont, en général, très contaminées de microbes et souillées d'infiltration de matières organiques en décomposition. Ils sont alors nettement nuisibles, en augmentant la coloration de la bière et en exerçant sur la levure une action toxique ; il faut surtout éviter l'emploi de ces eaux pour le lavage des foudres, de la masse filtrante, des fûts d'expédition et des bouteilles.

Action de l'ammoniaque. — Comme les nitrites, l'ammoniaque ne se trouve ordinairement dans les eaux qu'à l'état de traces. Elle est alors sans action nuisible. La présence de quantités sensibles d'ammoniaque indique souvent des infiltrations de matières organiques en voie de décomposition : l'eau est alors très contaminée et peut être dangereuse pour les opérations de lavage des appareils de fermentation et de débit. Cependant certaines eaux profondes renferment des doses faibles, mais appréciables, d'ammoniaque, sans être contaminées. Il est donc toujours utile de s'assurer si la teneur anormale en ammoniaque coïncide avec les autres caractères d'infiltrations de matières organiques, c'est-à-dire avec la présence de nitrites et de très nombreux microbes. Si ces derniers caractères sont négatifs, l'ammoniaque est sans action nuisible, même aux doses de 2 ou 3 milligrammes par litre qu'on trouve dans certaines eaux.

Matières organiques. — Les eaux profondes ne contiennent généralement que très peu de matières organiques. Les eaux superficielles en renferment ordinairement davantage : elles

sont exposées, en effet, à recevoir des infiltrations de résidus d'origine animale ou végétale. Les matières organiques, quand elles sont en quantités assez élevées, sont souvent accompagnées de nitrites et d'ammoniaque ; l'eau renferme, en outre, un très grand nombre de microbes. De telles eaux sont mauvaises pour la brasserie, et on peut dire qu'en général une bonne eau de brasserie ne doit pas contenir plus de 40 milligrammes de matières organiques par litre. La détermination de ces matières doit être toujours mise en regard avec les résultats fournis par l'analyse bactériologique de l'eau.

Microbes des eaux. — Toutes les eaux renferment des microbes. Les eaux superficielles, les eaux de fleuves et de rivières en contiennent généralement beaucoup. Les eaux qui traversent le sol se débarrassent plus ou moins de leurs microbes, qui se fixent sur les particules terreuses. Si le sol était un filtre parfait, les eaux profondes qui parcourent un chemin souterrain assez grand seraient à peu près stériles. Mais, dans la pratique, il en est rarement ainsi, à cause des fissures qui existent dans certains terrains et dans lesquelles l'eau s'engouffre sans pouvoir se purifier. En outre, des infiltrations superficielles de matières en décomposition viennent souvent apporter des microbes dans ces eaux à leur point d'émergence, qu'il s'agisse de sources, de puits ou de forages.

La flore microbienne des eaux n'est importante en brasserie que pour les opérations de la fabrication qui suivent la cuisson : lavage des réfrigérants, des appareils et ustensiles de fermentation, de filtration, de transvasements, de mise en fûts et en bouteilles, traitement des levains, rinçage de la futaille et des canettes. Pour les opérations antérieures à la cuisson, les microbes de l'eau s'ajoutent simplement à ceux qu'apportent déjà les orges, les malts et en général toutes les matières premières, et ils sont détruits lors de l'ébullition du moût.

Le nombre total de microbes contenus dans un centimètre cube d'eau n'a pas beaucoup d'intérêt pour le brasseur. Les organismes capables de se développer dans le moût de bière sont plus intéressants à connaître, mais ils n'ont généralement pas le temps de s'y développer dans le court intervalle qui

s'écoule entre la cuisson et la fermentation ; en outre, beaucoup d'entre eux ne résistent pas à la concurrence vitale de la levure. Le nombre de ces microbes ne présente donc pas beaucoup d'importance, à moins qu'il ne soit très grand.

Il en est tout autrement pour les microbes susceptibles de résister à la fermentation et de se développer dans la bière. Ces organismes peuvent, en effet, amener des accidents de fabrication dans les bières. On peut rechercher leur présence par ensemencement de l'eau dans la bière pasteurisée et additionnée ou non d'eau de levure ou de moût en fermentation. Cet essai présente une grande valeur pratique et permet d'apprécier bactériologiquement l'eau au seul point de vue qui intéresse le brasseur, celui de l'action des microbes qu'elle contient sur la bière fabriquée. Il est évident qu'une bonne eau de brasserie ne doit contenir que très peu de ces microbes, mais en réalité les infections causées par les organismes apportés par les eaux sont très rares dans la pratique, à moins de contamination de ces eaux par des résidus de fabrication.

La nature et la puissance de multiplication des microbes de l'eau doivent être également envisagées. La présence de levures est d'un fâcheux pronostic, car elle indique des infiltrations d'eaux résiduelles de la brasserie, et ces eaux sont souvent chargées de microbes dangereux pour les bières. La présence de sarcines, qui occasionnent parfois de graves accidents de fabrication, rend également l'eau suspecte au point de vue bactériologique. La puissance de multiplication des microbes dans le moût est un caractère d'assez grande valeur, car Will a montré que les bactéries qui se développent très vite dans le moût, par exemple, en moins de deux jours, se développent également en présence de la levure, tandis que celles qui ne se multiplient que lentement sont ordinairement étouffées dans la fermentation.

Dans tous les cas, l'analyse bactériologique des eaux ne peut donner de renseignements utiles que si elle est pratiquée assez fréquemment pour éliminer l'influence perturbatrice des variations des microbes suivant les conditions météorologiques. Il importe également de faire les prélèvements d'échantillons d'eaux avec toutes les précautions voulues, pour éviter

l'introduction des germes extérieurs et la multiplication de microbes présents. L'emploi de bouteilles stériles est donc indispensable, et, si le transport doit être de quelque durée, il faut recourir à l'expédition dans la glace.

Correction des eaux destinées à la fabrication. —

Les eaux qui renferment de fortes proportions de nitrites, de nitrates, de chlorures ou de matières organiques ne sont pas susceptibles d'être efficacement corrigées.

Les eaux qui renferment des carbonates de soude ou de potasse sont immédiatement améliorées par l'addition d'une quantité d'acide sulfurique calculée de manière à neutraliser l'alcalinité de ces carbonates. Le traitement par le chlorure de calcium, conseillé par certains auteurs, facilite beaucoup l'emploi de ces eaux pour le brassage : il se forme, en effet, aux dépens des carbonates alcalins, du chlorure de sodium ou de potassium et du carbonate de chaux qui se précipite. Mais cette méthode ne supprime pas complètement les carbonates de soude et de potasse ; elle entraîne, en outre, la formation de quantités sensibles de chlorures, qui nuisent à la fermentation. Le traitement par le gypse amène également une forte amélioration de ces eaux : il se forme, en effet, du sulfate de soude ou de potasse, et il se précipite du carbonate de chaux ; mais cette correction est, comme la précédente, toujours incomplète. La meilleure méthode de traitement des eaux carbonatées sodiques est donc la saturation par l'acide sulfurique, en quantité calculée. On peut avec avantage ajouter en même temps un peu de sulfate de chaux. La quantité d'acide sulfurique nécessaire doit être diluée au préalable dans vingt fois son poids d'eau, dans un baquet en bois. On l'incorpore ensuite à l'eau froide, dans la bûche. Cette correction doit porter non seulement sur l'eau d'empâtage, mais également sur l'eau destinée aux lavages des drêches.

Le traitement des eaux qui renferment de fortes quantités de carbonates de chaux ou de magnésie est très recommandable. Il n'est cependant utile que lorsque la quantité de calcaire dépasse 12 grammes par hectolitre. La correction peut être réalisée soit par l'ébullition, soit par l'addition d'acide sulfurique.

L'ébullition entraîne la précipitation de la plus grande partie du calcaire. Petit a montré qu'après une heure d'ébullition il reste dans l'eau une quantité de chaux dissoute à peu près indépendante de la concentration initiale et voisine de 17 milligrammes par litre. La précipitation du carbonate de magnésie est beaucoup plus difficile, surtout quand les eaux en renferment de faibles quantités : elle est fortement augmentée par la présence, sur les parois des bûches, de dépôts de carbonate de magnésie qui servent d'amorce. D'une façon générale, on peut dire que l'ébullition n'est pas en brasserie une méthode avantageuse pour la correction des eaux. Elle est coûteuse, elle n'élimine qu'imparfaitement le carbonate de magnésie ; enfin elle rend les eaux alcalines, surtout quand elles renferment du carbonate de magnésie ou des chlorures : l'effet défavorable des carbonates ne disparaît donc pas, puisqu'il est remplacé en partie par celui des bases.

Le traitement par l'acide sulfurique est bien préférable et ce mode de correction s'est beaucoup répandu en fabrication dans ces dernières années, par suite de sa simplicité et des grosses améliorations qu'il amène souvent dans le travail. La correction ne doit porter que sur l'eau destinée à l'empâtage, et elle ne doit éliminer qu'une partie du calcaire ; elle est le plus souvent inutile pour les eaux de lavages, et nous en avons exposé plus haut les raisons. La dose d'acide sulfurique à ajouter varie ainsi de 20 à 80 p. 100 de la quantité, déterminée par l'analyse, qui correspondrait à la saturation complète des carbonates. L'effet utile maximum est, en effet, variable avec la nature des eaux, l'acidité des malts et les conditions de travail, et le degré de correction ne peut être déterminé utilement que par des essais pratiques avec des doses progressives d'acide sulfurique. Une correction trop faible peut n'entraîner aucune amélioration ; une saturation trop complète peut conduire à des bières de goût dur et d'atténuation anormale.

L'addition d'acide peut se faire dans la bûche à eau froide, après avoir eu soin de le diluer au préalable dans un bac en bois, avec au moins vingt fois son poids d'eau. Cette méthode donne lieu parfois à des attaques du métal des bûches, quand le mélange est imparfait ; en outre, la correction porte ainsi

sur toutes les eaux, au lieu de porter seulement sur les eaux d'empâtage. Pour ces raisons, il vaut mieux faire la correction au brassage même, en versant dans la masse empâtée la quantité voulue d'acide sulfurique dilué.

Les eaux ferrugineuses peuvent être beaucoup améliorées en les aérant fortement par passage sur des lits de gros graviers. Le fer, qui se trouve surtout à l'état de carbonate ferreux, se précipite sous forme d'oxyde, qu'on sépare ensuite par filtration sur sable.

Si les eaux sont mauvaises au point de vue bactériologique la première mesure à prendre est de chercher à supprimer les infiltrations et les causes de pollution des forages. Pour l'élimination des microbes, on peut avoir recours à diverses méthodes.

La filtration sur sable fin convient pour les eaux troubles ; mais elle est insuffisante pour assurer la pureté bactériologique des eaux. L'ébullition est une méthode efficace, mais trop coûteuse pour être pratique. Les seuls procédés de traitement réellement applicables à la brasserie sont la stérilisation par les rayons ultra-violetts, par l'ozone, ou par la verduisation à l'hypochlorite (procédé Bunau-Varilla). Les rayons ultra-violetts, obtenus par des lampes en quartz à vapeurs de mercure, assurent une stérilisation parfaite de l'eau, à condition que celle-ci soit tout à fait limpide. Les rayons sont, en effet, immédiatement arrêtés par les liquides troubles, ou même légèrement louches, et la stérilisation ne se fait plus. Le traitement par l'ozone, qui est aujourd'hui appliqué en grand à la stérilisation des eaux potables destinées à l'alimentation des villes, est particulièrement avantageux en brasserie, et il en existe en France plusieurs installations. L'agencement est simple lorsque la brasserie possède déjà le courant d'un secteur électrique : il suffit alors d'un transformateur, d'un ozonateur, d'une tour de stérilisation, d'une pompe et de quelques bacs. L'eau circule de haut en bas dans la tour de stérilisation, au large contact de l'air ozonisé qui circule de bas en haut ; elle s'écoule stérile au bas de la tour. On peut, avec ce dispositif, préparer chaque jour, en deux ou trois heures, la quantité d'eau stérile nécessaire pour les lavages, avec une très

faible dépense de force, et ce procédé est très recommandable pour les grandes usines qui utilisent des eaux dont la pureté bactériologique laisse à désirer.

Enfin la verdunisation consiste en un traitement de l'eau par des doses extrêmement minimes d'hypochlorite, qui assurent pratiquement la stérilisation.

Emploi de l'eau pour l'alimentation des appareils. — Pour l'alimentation des réfrigérants, l'eau doit être fraîche et à une température aussi constante que possible. Pour les générateurs, la composition chimique est à considérer, car certains éléments, tels que le bicarbonate de soude et les chlorure de sodium, attaquent les tôles ; d'autres, tels que les carbonates de chaux et de magnésie et le sulfate de chaux, provoquent des incrustations. Les meilleures eaux, pour l'alimentation des générateurs, sont donc les plus pauvres en sels ; mais un traitement approprié peut faire disparaître les inconvénients des eaux riches en gypse ou en carbonates.

Correction des eaux destinées aux générateurs. — Si les eaux sont simplement riches en carbonates de chaux ou de magnésie, on peut utiliser le traitement à la chaux : cette base sature l'acide carbonique libre et précipite les bicarbonates solubles à l'état de carbonates insolubles : la quantité de chaux à ajouter se détermine par l'analyse chimique. Si les eaux contiennent en même temps du sulfate de chaux, il faut adjoindre à la chaux du carbonate de soude en quantité suffisante pour précipiter tout le sulfate de chaux à l'état de carbonate de chaux par double décomposition. Une simple décantation permet d'obtenir l'eau épurée.

Certaines usines ont utilisé le passage des eaux sur les filtres de permutite. La permutite est un zéolithe artificiel, au contact duquel les sels de chaux sont décomposés et transformés en sels de soude. Après un certain temps d'usage, la permutite est régénérée par un traitement chimique approprié et peut servir de nouveau. Cette méthode donne une très bonne élimination des sels de chaux, mais fournit des eaux très alcalines, riches en sulfate et en carbonate de soude, ce qui constitue un grave inconvénient.

Pour diminuer les corrosions, on a proposé de mettre des

plaques de zinc dans les eaux capables d'attaquer le fer. On a préconisé aussi l'emploi, pour la construction des tôles, de fer renfermant 0,2 p. 100 de cuivre. On a essayé également de disposer quelques plaques de tôle et de faire passer d'une manière à peu près continue un courant électrique très faible en prenant comme pôle négatif la chaudière et comme pôle positif les plaques : celles-ci se dissolvent peu à peu, mais l'appareil reste intact, et il ne se produit pas d'incrustations.

Quand on ne fait pas d'installation d'épuration, on introduit souvent dans le générateur même de la lessive de soude et du carbonate de soude. Il faut alors faire des purges fréquentes pour éliminer le carbonate de chaux précipité. On utilise aussi des désincrustants, qui sont ordinairement à base de soude caustique, de carbonate de soude, de phosphate de soude ou d'un mélange de ces substances. Il convient d'être très prudent dans l'emploi de ces produits, qui sont souvent vendus bien au-dessus de leur valeur réelle.

II. — ORGE

Production et commerce. — La France produit en moyenne 10 millions de quintaux d'orge par an; mais cette orge ne présente pas toujours les qualités recherchées par le brasseur. Il faut à la brasserie des orges à grains réguliers, à peau fine, riches en amidon, pauvres en matières azotées et germant d'une façon uniforme. Beaucoup d'orges récoltées en France ne remplissent pas ces conditions et sont utilisées comme orges fourragères. L'industrie de la brasserie ne consomme d'ailleurs qu'environ 2.000.000 à 2.500.000 quintaux d'orge par an, c'est-à-dire une quantité très inférieure à la production totale française.

Les principales régions qui produisent les orges de brasserie dans notre pays sont : 1° les régions du Nord-Ouest et de l'Ouest, avec les départements de la Mayenne, de la Sarthe, de la Manche, gros producteurs, et les départements de l'Orne et du Finistère; certains centres livrent, dans ces régions, de très bonnes orges de brasserie; 2° les régions du Centre, comprenant le Centre-Ouest avec les excellentes orges de Beauce

(Eure-et-Loir), le Centre-Est avec les qualités très appréciées de Champagne (Marne, Aube), le Centre (Maine-et-Loire, Indre, Côte-d'Or), qui fournit également de bonnes orges, notamment dans l'Indre et le Saumurois, et enfin le Centre-Sud (Allier, Puy-de-Dôme, Haute-Loire), qui produit des orges très justement réputées ; 3^o la région du Nord, comprenant les départements du Nord, du Pas-de-Calais et de la Somme, qui cultive surtout des escourgeons.

L'Algérie consacre environ 1.300.000 hectares à la culture de l'orge, dans les régions d'Oran, d'Orléansville, de Miliana, de Sétif, de Batna et de Bordj-bou-Arréridj. En Tunisie, la superficie cultivée en orge dépasse 500.000 hectares. Chaque année ces deux pays exportent en France plus d'un million de quintaux. Ces orges sont généralement sèches et de bonne conservation : elles arrivent en France au moment où les grains des autres régions ne sont pas encore récoltés et permettent ainsi de commencer plus tôt la campagne de malterie.

Le Maroc cultive également des orges, qu'il exporte surtout en France, en Allemagne et en Angleterre.

Comme provenances étrangères utilisées en brasserie, on peut citer les orges du Danube, de Moldavie, de Posnanie, les orges de Hollande, les orges de Turquie et, notamment, de Smyrne, les orges des Indes, etc.

Les importations d'orges étrangères sont d'ailleurs très faibles. Elles ont été en 1928 de 556.203 quintaux, mais ce chiffre comprend les importations d'Algérie et du Maroc, qui ont atteint, en 1928, 386.367 quintaux pour l'Algérie et 158.089 quintaux pour le Maroc. Il reste donc une importation d'orges étrangères de 11.747 quintaux, ce qui est insignifiant.

Les exportations d'orges ont été en 1928 de 437.817 quintaux, dont plus de la moitié sur la Belgique.

Caractères botaniques et variétés. — L'orge appartient à la famille des Graminées et à la tribu des Hordées, chez lesquelles les fleurs sont disposées en épis : chaque épi est formé d'un axe qui présente des dents alternes. Le genre *Hordeum*, auquel se rattache l'orge, est caractérisé par la présence, sur chaque dent de ce rachis, de trois épillets simples à une seule fleur (fig. 1). Dans les espèces employées en brasserie, les glumelles qui enveloppent le grain lui sont adhérentes, et le grain est dit vêtu. Dans certaines

variétés, les fleurs des trois épillets sont fertiles : il se forme alors trois grains de chaque côté de l'axe, et leur superposition verticale donne naissance à six rangées de grains le long de l'épi : l'orge est dite à six rangs. Dans cette catégorie, on désigne sous le nom d'*Hordeum hexastichum* les formes qui offrent six rangées de grains équivalentes, la section transversale de l'épi ayant la forme d'une étoile régulière à six pointes. On donne, au contraire, le nom d'*Hor-*



Fig. 1. — Épillets d'orge.

deum tetrastichum ou *Hordeum vulgare* aux orges à six rangs de grains non équivalents : deux d'entre eux, opposés, sont représentés par des grains superposés et imbriqués les uns sur les autres ; les quatre autres renferment des grains qui, tordus sur eux-mêmes, chevauchent et s'entre-croisent comme les portions arquées d'une corde tressée, et, grâce à cette disposition, les rangées latérales de grains se combinent deux à deux pour donner l'apparence d'une seule rangée. L'épi ne présente donc que quatre rangs visibles, et il a une forme carrée au lieu d'une forme hexagonale. Aussi appelle-t-on souvent cette espèce, par une erreur d'observation consacrée par l'habitude, *orge à quatre rangs* ou *orge carrée*.

Dans d'autres variétés, l'ovaire et même parfois les étamines et l'ovaire des épillets latéraux avortent; l'épillet médian est seul fertile. Il se forme alors seulement deux rangées de grains : ce sont les orges à deux rangs (*Hordeum distichum*).

Les orges à six rangs de la variété *hexastichum* ne sont pas employées par la brasserie française. Elles sont utilisées surtout en Amérique. Leurs grains sont petits, souvent irréguliers.

Les orges à six rangs à épis carrés, ou orges à quatre rangs vêtues (*Hordeum tetrastichum pallidum*), sont très répandues sous le nom vulgaire d'*escourgeons*. Elles sont utilisées en brasserie, surtout pour la fabrication des bières du Nord. Les principales variétés sont : l'*escourgeon d'hiver*, cultivé surtout en Beauce et dans le Nord, très hâtif et à grand rendement ; l'*escourgeon de mars*, que se sème au printemps, et dont l'épi est plus allongé. Les orges d'Algérie et de Tunisie appartiennent à ce groupe des escourgeons. Les grains des escourgeons ne sont jamais bien réguliers; ceux des rangées latérales sont plus petits que ceux des rangées centrales. En outre, le sillon médian des grains latéraux est arqué, de sorte que ces grains n'ont plus de plan de symétrie, et les échantillons d'escourgeons ont ainsi environ les deux tiers de leurs grains à sillon médian arqué.

Les orges à deux rangs sont les plus estimées des brasseurs. Ce sont des orges de printemps, dont les principales espèces sont les suivantes : l'orge à deux rangs à épis arqués (*Hordeum distichum nutans*) et l'orge à deux rangs à épis dressés (*Hordeum distichum erectum*). Les orges Hanna et Chevalier sont les plus connues parmi les premières. L'orge Chevalier donne un grain régulier, bien arrondi, de très bonne qualité, mais elle est un peu tardive. L'orge Hanna, introduite en France par Schribaux, est aussi une excellente variété, plus précoce que l'orge Chevalier et moins sujette à l'échaudage. Nous verrons plus loin que la Société d'encouragement pour la culture des orges de brasserie a isolé, en outre, d'excellentes variétés pures dans ce groupe des orges à épis arqués. Les orges à épis dressés sont moins répandues : elles résistent parfaitement à la verse et donnent de forts rendements dans les terrains argileux où prospèrent les escourgeons. Dans ce groupe, on peut mentionner les orges d'Italie, *Goldthorpe*, *Primus*, etc.

Le grain de toutes ces orges à deux rangs est divisé en deux parties symétriques par le sillon médian. Chez les orges arquées, la base d'attache est coupée obliquement par rapport au plan de symétrie et se termine en biseau; chez les orges dressées, la base d'attache est coupée perpendiculairement au plan de symétrie et est munie d'un bourrelet.

Amélioration des orges de brasserie. — Pendant longtemps les variétés d'orges de brasserie cultivées en France ont été non pas des espèces botaniques définies, mais des mélanges, en proportions variables, d'espèces élémentaires de valeur très différente.

Ces conditions n'étaient pas favorables à la production d'orges régulières, à cause des variations dans le développement et dans le degré de maturité de ces diverses espèces suivant les conditions culturales et météorologiques. Pour éviter ces irrégularités, il était nécessaire de recourir à des orges pures, constituées par une seule espèce botanique bien définie.

Le problème avait été abordé dès 1890 en Suède à l'Institut de Svalof. Depuis cette époque, les laboratoires de cet Institut ont réalisé dans ce pays la séparation des diverses espèces élémentaires qui constituent les orges indigènes suédoises, en se basant sur leurs caractères botaniques et, en particulier, sur l'aspect des nervures dorsales des grains et des poils de l'axe de l'épillet. On a pu diviser des variétés en quatre espèces élémentaires désignées par les lettres grecques α , β , γ , δ .

Nervures dorsales.	Axe d'épillet couvert de poils.	Espèce.
—	—	—
Sans épines.	Longs, lisses et brillants.	α
Avec épines.	—	β
Sans épines.	Courts, ramifiés et cotonneux.	γ
Avec épines.	—	δ

Les espèces ainsi isolées ont fourni des types plus réguliers, plus uniformes que les variétés anciennes : mais ces types ne différaient pas suffisamment des variétés dont elles dérivait pour l'emporter dans la concurrence sur le marché. Nilsson, directeur de l'Institut de Svalof, a eu alors recours à la méthode de culture pedigree, comprenant la culture séparée des descendants d'une plante unique choisie parmi toutes les autres à cause de ses caractères à une époque quelconque de la croissance (germination, floraison, maturation). Le choix des variétés à propager se fait parmi ces diverses lignées ; ces variétés sont soumises à une série de cultures d'observation, pendant une ou plusieurs années, et on ne conserve que celles qui présentent une parfaite homogénéité. Après un nouveau contrôle, elles sont alors multipliées par ensemencement sur des parcelles plus étendues, et leurs semences sont livrées à la grande culture. Le laboratoire de Svalof a ainsi propagé et mis en vente une dizaine de variétés pures, parmi lesquelles *Prinzess*, *Hannchen*, *Chevalier II de Svalof*, *Primus* et *Svanhals* ont été depuis expérimentées en France.

Les excellents résultats obtenus en Suède par cette méthode de sélection ont engagé la France à entrer dans la même voie, en 1901, par la formation de la Société d'encouragement pour la culture des orges de brasserie. Le programme pratique de cette Société a été de comparer d'abord en grande culture nos orges indigènes avec les orges pures importées de Suède et de réaliser en même temps, par les procédés en usage à Svalof, la sélection, dans nos orges françaises, de lignées pedigree homogènes comparables à

celles des orges suédoises. Depuis 1903, grâce aux efforts réunis de M. Ad. Kreiss, président, de M. Petit, conseiller technique, et de M. Blaringhem, botaniste de la Société, des résultats considérables ont été obtenus.

M. Blaringhem a d'abord entrepris, dans les échantillons d'orges récoltées dans les diverses régions de production (Champagne, Allier, Indre, etc.), l'isolement, par les méthodes de Svalof, de certaines espèces botaniques pures. En suivant ces lots pendant plusieurs années, il a constaté par l'étude des épis que les sortes ainsi obtenues n'étaient pas encore suffisamment homogènes. Il s'est donc résolu à entreprendre le long et délicat travail de préparation de sortes pures pedigree, issues d'une plante unique. Sur 224 lots obtenus ainsi en 1905 en culture pedigree, 45 seulement ont été jugés dignes d'être cultivés en 1906 pour le contrôle, et 18 seulement en 1907. En 1908, de nouvelles lignées ont été entreprises avec des orges provenant d'Auvergne, de Beauce, de Sarthe, du Saumurois, etc. Dans chacune des cultures suivantes, on a soumis à une étude rigoureuse ces diverses lignées pedigree, en prenant comme critérium de la régularité de végétation la compacité des épis, comme critérium du rendement le nombre de grains par épi, combiné au tallage, comme critérium de la qualité la taille des grains jointe à des caractères d'aspect, et la finesse de la pellicule. Les sortes pures qui ont subi avec succès pendant plusieurs années les épreuves de cette sélection ont alors été soumises aux industriels malteurs, qui ont fait, parmi ces sortes le choix de celles qui devaient être propagées.

En dehors de l'isolement direct des sortes pedigree dans les échantillons indigènes, le perfectionnement des orges a été également obtenu par la recherche de types en mutation, dont le polymorphisme répond aux besoins d'une sélection intense. Des hybridations appropriées, faites avec des lignées dont l'hérédité est incomplète, ont permis de provoquer les variations nécessaires à un choix convenable. L'étude théorique de la mutation, de la disposition ou de l'association des caractères mutés dans les hybrides, est donc également une méthode excellente de perfectionnement des orges.

La multiplication de ces races de choix se fait aujourd'hui de manière à obtenir les quantités nécessaires à l'ensemencement d'une assez grande étendue dans chaque centre de production. Cette préparation de semences pures pedigree est aujourd'hui régulièrement organisée pour certaines régions françaises et notamment pour l'Indre, la Haute-Loire, la Champagne, l'Allier, etc. Les collections de la Société comprennent aujourd'hui de nombreuses lignées distinctes, choisies parmi les meilleures de nos pedigree. Cette réserve permet de faire face aux demandes de semences pour les centres de culture les plus variés. Parmi les variétés pedigree indigènes déjà répandues en France, et qui ont subi victorieuse-

ment les épreuves répétées en grande culture, on peut citer l'orge *Comtesse du Maine* (0-117) pour la Mayenne et la Marne, l'orge *Sarah* (0-156) pour le Maine-et-Loire et l'Aube, l'orge *Joanna* (A-105) pour la Marne, l'orge *Chevalier français III* pour les environs d'Issoire.

A côté de ce travail relatif aux orges indigènes françaises, la Société d'encouragement a répandu en France un certain nombre d'orges pures de Svalof, pour les expérimenter sur notre sol. Après plusieurs années d'essais, la variété *Prinzess* a été adoptée par la région de l'Indre, où elle est cultivée aujourd'hui en grandes quantités et où elle est très appréciée des malteurs. La variété *Hannchen de Svalof* est cultivée en grand dans la région de Vitry-le-François; la variété *Bohemia de Nolc* s'est parfaitement acclimatée dans la région de Saint-Phal.

En Tunisie, M. Bœuf a entrepris pour les escourgeons indigènes les études que fait pour les orges françaises la Société d'encouragement. La station expérimentale de Tunis a pu ainsi, dès 1913, distribuer des lots de diverses races sélectionnées pour les expérimenter en grande culture. Au Maroc, des études du même ordre ont été poursuivies dans ces dernières années et ont permis d'améliorer beaucoup les variétés d'orge cultivées dans ce pays.

Les brasseurs et les agronomes ont compris l'importance considérable de tous ces travaux, et il est certain que le problème de l'amélioration des orges de brasserie est aujourd'hui en partie résolu, au grand avantage de l'industrie et de l'agriculture. La régularité des grains et la qualité dans la composition chimique présentent, en effet, une importance très considérable pour la brasserie, au point de vue de la germination et du rendement des orges et sous le rapport de la stabilité des bières. Les nombreuses analyses faites par M. Petit sur les échantillons de ces races pedigree ont montré les grands avantages qu'elles présentent pour le brasseur, vu leur richesse en extrait et leur faible teneur en matières azotées. Elles possèdent, en outre, les qualités qui sont indispensables au cultivateur : haut rendement en grain et en paille, maturation précoce et résistance à la verse.

Composition de l'orge. — L'orge contient de l'eau, de l'amidon et un certain nombre d'autres hydrates de carbone, de la cellulose, des matières grasses, des matières azotées et des matières minérales. La composition de l'orge est très variable suivant l'espèce, la nature du sol, le mode de culture, les engrais ajoutés, les conditions climatiques lors de la maturation, etc. Le tableau de la page 36 donne la composition de quelques orges de brasserie et les limites entre lesquelles varient les divers éléments pour 100 d'orge.

Ce tableau montre que l'humidité normale de l'orge est d'environ 14 p. 100. Ce chiffre peut atteindre 20 à 21 p. 100 dans certaines années très humides et descendre à 9 à 10 p. 100 dans les années sèches.

	EAU	AMIDON et sucres.	EXTRAIT	MATIÈRES azotées.	CELLULOSE	MATIÈRES grasses.	MATIÈRES minérales.	AUTEURS
Orge de Champagne	11,58	61,55	»	8,71	»	»	2,71	Crolbois et Warecollier.
— Chevalier	14,70	62,51	»	9,91	8,90	1,07	2,40	Lindet et Herbet.
— du Puy	14,40	60,50	»	8,98	»	»	»	Malleries franco-suissees.
— — — — —	11,82	61,10	»	9,59	»	»	»	»
— d'Issoudun	14,34	60,50	»	8,86	»	»	»	»
— — — — —	11,76	60,80	»	9,64	»	»	»	»
— de Beauce	11,18	61,20	»	9,88	»	»	»	»
— de Sarthe	11,36	62,20	»	9,62	»	»	»	»
— Joanna	14,24	»	67,23	7,87	»	»	»	Petit.
— Hannehen	11,58	»	63,82	9,83	»	»	»	»
— Prinzess	14,24	»	68,16	7,48	»	»	»	»
— Comtesse du Maine	13,92	»	68,78	7,82	»	»	»	»
Proportion { maximum	20,88	74,70	»	18,27	10,80	3,21	»	Dietrich et König.
{ moyenne	13,78	63,51	»	11,11	4,80	2,12	»	»
{ minimum	8,34	36,10	»	6,19	2,21	1,02	»	»

L'amidon varie dans d'assez grandes proportions. La richesse moyenne des orges françaises est voisine de 61 p. 100, mais elle peut s'abaisser au-dessous de ce chiffre lorsque les conditions de culture et de récolte ne sont pas favorables. L'emploi des engrais potassiques augmente la richesse du grain en amidon (Mørcker, Remy, Boullanger et Massol); il en est de même de l'acide phosphorique. Les engrais azotés à forte dose diminuent au contraire l'amidon du grain.

A côté de l'amidon, l'orge renferme un certain nombre d'autres hydrates de carbone, notamment du saccharose (Brown et Morris, Kjeldahl, Petit, Lindet), du raffinose (O'Sullivan), du dextrose et du lévulose (Lindet). La présence du maltose et de la dextrine n'est pas certaine.

O'Sullivan a extrait, en outre, trois gommés lévogyres qui, par hydrolyse, donnent du dextrose; Lintner et Dull ont signalé la galactoxylane qui donne par hydrolyse un mélange de galactose et de xylose. Wroblewski considère au contraire la gomme de l'orge comme une arabane, donnant par hydrolyse de l'arabinose. Les recherches de Lindet ont montré qu'il existe dans l'orge deux gommés, l'une lévogyre, qui donne par hydrolyse un mélange d'arabinose et de xylose, l'autre dextrogyre, qui possède les caractères de la galactane de Muntz. Il résulte de tous ces travaux qu'on peut extraire de l'orge, par l'eau froide, une gomme lévogyre; mais les valeurs très diverses trouvées pour les propriétés optiques de cette gomme montrent que les divers expérimentateurs ont eu en mains des produits variables avec les conditions d'expérience. H. T. Brown, en étudiant l'hydrolyse des amyloïdes de l'orge par l'acide oxalique a trouvé environ 60 p. 100 de dextrose et 40 p. 100 de pentoses (arabinose et xylose), mais pas de galactose ni de mannose. Il a démontré, en outre, que l'amyloïde gauche de l'orge est bien une arabane, analogue à celle de Wroblewski.

Les enveloppes de l'orge renferment surtout de la cellulose (environ 20 p. 100), des cendres (environ 10 p. 100), des pentosanes (environ 20 p. 100) et d'autres polyoses complexes, hexosanes, galactanes, etc. (environ 20 p. 100). Seyffert a montré qu'elles contiennent également du tanin et des substances amères.

Les matières azotées sont, avec l'amidon, les éléments constitutifs les plus importants de l'orge, qui servent à l'appréciation de sa valeur. La richesse de l'orge en matières azotées totales descend rarement au-dessous de 8 p. 100 et s'élève exceptionnellement au-dessus de 13 p. 100. La teneur moyenne est de 10 environ.

Le rendement à l'hectare et la teneur en azote sont en rapport étroit avec les conditions climatiques qui règnent entre la floraison et la maturation. Jalowetz a montré, en outre, que la teneur en azote est variable avec le grossissement du grain.

D'après Osborne, les matières azotées de l'orge peuvent être rapportées aux quatre classes suivantes : la *leucosine*, soluble dans l'eau;

l'édestine, appartenant à la classe des globulines, insoluble dans l'eau, mais soluble dans le sel marin à 10 p. 100; *l'ordéine*, insoluble dans l'eau et le sel marin, mais soluble dans l'alcool à 75 p. 100; les *protéides insolubles*, ne se dissolvant dans aucun des réactifs indiqués ci-dessus. D'après Prior, l'orge contiendrait 1,39 à 2,79 p. 100 de leucosine; 0,74 à 1,79 p. 100 d'édestine; 1,13 à 6,1 p. 100 d'ordéine; 4,47 à 8,62 de protéides insolubles.

L'orge ne renferme pas d'azote sous forme d'albumoses ou de protéoses, mais il y a environ 6 p. 100 de l'azote total à l'état de combinaisons amidées ou aminées. D'après Moufang, certaines orges renfermeraient des quantités appréciables d'azote ammoniacal; d'autres auteurs estiment que ces quantités sont insignifiantes.

Si on examine les proportions d'azote soluble et insoluble, on constate que l'azote soluble représente, suivant les orges, de 12 à 40 p. 100 de l'azote total. L'azote soluble coagulable varie de même de 10 à 50 p. 100 de l'azote soluble total. Ces variations dépendent de la nature de l'orge et des conditions de climat et de culture. On a constaté que les engrais potassiques réduisent les matières azotées de l'orge (Mœrcker, Haase, Remy); il en est de même de l'acide phosphorique et de l'azote à faibles doses dans les terres pauvres, où l'emploi de ces engrais donne de fortes augmentations de rendement; la diminution de matières azotées porte alors surtout sur l'azote soluble non coagulable (Boullanger et Massol). Les engrais azotés à fortes doses augmentent la richesse en azote du grain, mais cette augmentation porte surtout sur l'azote insoluble (Boullanger et Massol).

L'orge est pauvre en matières grasses; leur proportion dépasse rarement 2 p. 100.

Les matières minérales de l'orge sont constituées en majeure partie par de la silice, de l'acide phosphorique, des sels de soude, de potasse, de chaux et de fer. La forme sous laquelle se trouve l'acide phosphorique dans les grains a été peu étudiée: on a pu établir seulement la présence de quelques combinaisons organiques, telles que l'acide glycéro-phosphorique et l'acide anhydro-oxyméthylène-diphosphorique ou phytine. D'après Windisch et Vogelsang, l'acide phosphorique serait surtout combiné dans l'orge à des groupements organiques complexes et non à l'état de phosphates minéraux: mais cette opinion n'est pas admise par d'autres expérimentateurs, qui considèrent comme probable la présence de phosphates dans l'orge, à côté de ces combinaisons organiques. Quoi qu'il en soit, ces corps sont très importants à cause du rôle qu'ils jouent dans les opérations du brassage, des réactions qu'ils donnent avec des sels de l'eau et de leur utilisation par la levure pour son alimentation.

Les circonstances atmosphériques ne semblent avoir aucune influence sur la teneur de l'orge en cendres et en matières grasses.

qui reste à peu près constante et n'est pas modifiée sensiblement par les engrais.

L'orge renferme enfin certaines diastases. Krauch, puis Lintner et Kjeldahl ont signalé la présence dans l'orge de la diastase saccharifiante de l'amidon. Kjeldahl a montré que le grain d'orge renferme une diastase qui transforme rapidement en sucre l'amidon dissous, mais qui n'agit que très lentement sur l'amidon non liquéfié. Plus tard Lintner a établi que le pouvoir saccharifiant du grain d'orge est presque aussi grand que celui du malt, mais que son pouvoir liquéfiant est très faible. Bungener et Fries, Evans, Takamine, Fernbach et Wolff sont arrivés à des conclusions analogues: au contraire, Baker, Jalowetz ont constaté que l'extrait d'orge possède un pouvoir liquéfiant sensible.

Brown et Morris ont considéré la diastase présente dans l'orge, ou *diastase de translocation*, comme différente de celle qui prend naissance pendant la germination du grain, ou *diastase de sécrétion*. La diastase de translocation dissout graduellement les grains d'amidon sans les corroder; son action liquéfiant sur l'empois d'amidon est faible, mais elle transforme rapidement l'amidon soluble en sucre; sa température optima est à 45°-50°, et elle est beaucoup plus active à basse température que la diastase de sécrétion. Cette dernière corrode et creuse irrégulièrement les grains d'amidon; elle liquéfie très rapidement l'empois; sa température optima est à 50°-55°, et on peut la chauffer à 70° sans la détruire. Lintner et Eckhardt sont arrivés aux mêmes conclusions. Au contraire, ces différences n'ont pas été observées par Chraszcz, qui trouve que la diastase de l'orge non germée a également des propriétés liquéfiantes, qu'on ne peut séparer de ses propriétés saccharifiantes; cet auteur considère les deux diastases de sécrétion et de translocation comme identiques. En résumé, il résulte de tous ces travaux que l'orge renferme une diastase capable de saccharifier l'amidon liquéfié, mais que le pouvoir liquéfiant des extraits d'orge vis-à-vis de l'empois d'amidon est assez faible.

L'activité de l'amylase de l'orge au repos est fortement augmentée quand on soumet au préalable l'orge finement moulue à une macération de quelques heures dans l'eau à 35°. Il en est de même quand on ajoute à la macération des diastases protéolytiques et en particulier de la papaïne. Ces faits semblent tenir à ce que l'amylase de l'orge est en grande partie associée aux matières azotées, avec lesquelles elle forme un corps insoluble, qui se dissout sous l'action des diastases protéolytiques en mettant l'amylase en liberté. Il se produit, en outre, des modifications dans la réaction du milieu, qui le rendent plus favorable à l'action diastasique.

Signalons enfin que l'orge renferme, comme beaucoup d'autres céréales, une substance toxique pour les levures. L'action toxique de cette substance varie avec les espèces d'orges; elle paraît plus

abondante dans l'amande que dans l'enveloppe. La substance toxique appartient au groupe des matières azotées : elle est insoluble dans l'alcool et l'éther, soluble dans l'eau, dans la glycérine. Elle n'est que partiellement détruite à 100°. Son action toxique est supprimée par le carbonate de chaux et les sels de baryte. Elle se manifeste surtout sur la levure de bière basse.

Appréciation de la valeur de l'orge de brasserie. — Les principaux caractères qui servent à apprécier la valeur d'une orge en brasserie sont : l'uniformité, le pouvoir germinatif, l'aspect intérieur du grain, la pureté, la couleur, la forme, l'odeur, le poids et la composition chimique. Beaucoup de praticiens se contentent de l'examen des caractères extérieurs ; mais ces constatations sont insuffisantes et doivent être complétées par l'étude des autres caractères du grain, qui fournissent des renseignements très précieux sur la valeur de l'orge.

Uniformité. — Une bonne orge de brasserie doit avoir des grains de dimensions bien uniformes : c'est là un caractère important, car, au moment de la trempe, l'eau pénètre dans les grains plus ou moins vite suivant leur grosseur, et, si cette grosseur est variable, il en résulte des irrégularités dans le degré d'humidité et, par suite, dans la germination. Un essai de triage sur des tamis à mailles variables permet d'apprécier l'orge à ce point de vue ; en outre, cet essai est précieux quand on veut déterminer si une livraison est conforme à l'échantillon et si on n'y a pas mélangé une petite proportion d'orges légères. On se sert souvent, pour cette opération, du trieur de Steinecker, formé de trois tamis superposés à mailles de 2^{mm},8, 2^{mm},5 et 2^{mm},2. L'orge à examiner est placée sur le tamis supérieur, et tout l'appareil est maintenu en agitation pendant cinq minutes, au moyen d'un dispositif mécanique tournant à 180 tours à la minute.

Une bonne orge de brasserie doit renfermer peu de matières qui traversent les trois tamis, et les orges les meilleures sont celles qui laissent la proportion centésimale de grains la plus élevée sur deux tamis consécutifs, de telle sorte qu'il y ait 90 à 100 p. 100 de grains sur les tamis I et II ou sur les tamis II et III.

Pouvoir germinatif. — On désigne sous le nom de pouvoir germinatif le nombre de grains susceptibles de germer, rapporté à 100 grains. Il existe beaucoup de dispositifs pour cette détermination. On peut faire tremper les grains dans l'eau et les abandonner, après trempage, entre deux feuilles de papier buvard mouillé. On peut également utiliser des germoirs d'essais, tels que celui de Schœnjahn (fig. 2). Cet appareil se compose d'un plaque de porcelaine percée de 100 trous, dans lesquels on loge les grains, et placée dans un vase en verre contenant de l'eau. Une rondelle de feutre, imbibée d'eau, maintient l'humidité sur le grain.

La meilleure méthode consiste à utiliser un entonnoir en verre, dont le tuyau d'écoulement est obturé par une tige de verre, pour éviter que les grains n'y descendent. L'entonnoir est fermé à la partie inférieure par un caoutchouc muni d'une pince. On y place 500 ou 1 000 grains à examiner, et on les immerge dans l'eau pendant trois heures. On laisse alors écouler l'eau, et pour éviter la dessiccation, on couvre l'entonnoir avec un couvercle de verre, dans lequel on place une double couche de papier buvard, qu'on maintient humide. Au bout de dix à douze heures, on place de nouveau l'orge pendant deux ou trois heures dans l'eau, qu'on laisse ensuite écouler, et on abandonne à la germination. Pour les orges fraîchement récoltées, qui n'ont pas encore subi leur maturation, il est bon de faire un deuxième essai avec une durée de trempage plus courte (une ou deux heures). Au bout de quarante-huit heures, on peut séparer déjà les grains germés, afin de déterminer l'énergie germinative en quarante-huit heures. Les grains non germés sont replacés dans l'entonnoir et, deux jours après, on compte de nouveau les grains germés dans cette période. On obtient ainsi le nombre de grains qui germent en quatre jours. Il est inutile de prolonger plus longtemps l'essai, car

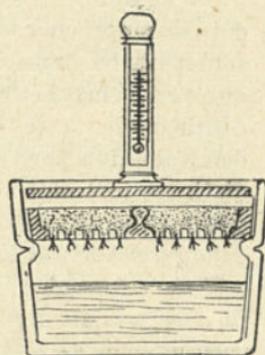


Fig. 2. — Germoir de Schœnjahn.

pratiquement les grains qui ne germent qu'en cinq ou dix jours ne sont pas susceptibles de donner du malt, puisqu'ils ne peuvent atteindre la longueur de la plumule et la désagrégation voulues dans le laps de temps très court qui leur reste.

Le nombre des grains qui germent ainsi en quatre jours doit se rapprocher le plus possible de 100 p. 100 : les limites sont pour les orges indigènes, 8 p. 100 de grains non germés après cent vingt heures, et pour les orges non récoltées en France continentale, 5 p. 100. On peut compléter utilement cette détermination par l'examen des grains restants, à la loupe : on distingue fort bien ceux dont l'embryon est mort et incapable par suite de germer, même après quatre jours, et les grains déjà germés avant la récolte.

Dans cet essai de germination, il importe de ne pas perdre de vue un fait important. Les orges fraîchement récoltées, surtout dans les années froides et humides, ont un pouvoir germinatif très inférieur à celui qu'elles ont dans la pratique, après quelque temps de maturation. L'essai de germination ne donne donc des résultats exacts que s'il est fait sur l'orge reposée, et l'époque à partir de laquelle il peut s'effectuer utilement varie non seulement avec les provenances, mais aussi avec les conditions climatériques des diverses années. En général, il faut attendre au moins le 15 septembre pour les Sarthe-Mayenne; les autres types doivent être examinés encore plus tard.

On peut cependant se dégager dans une certaine mesure de ces influences en séchant au préalable l'orge à examiner pendant six heures à 30° et en la trempant ensuite pendant une heure dans l'eau de chaux saturée, avant de commencer l'essai de germination.

Aspect intérieur du grain. — L'état de l'amande s'observe en coupant un certain nombre de grains : la section peut être vitreuse, demi-vitreuse, ou farineuse, On préfère en brasserie les orges à section farineuse, mais la cassure vitreuse n'est pas toujours un signe de pauvreté en amidon, de richesse en matières azotées, et, par suite, de mauvaise qualité de l'orge. L'état vitreux peut venir d'une grande sécheresse du temps

pendant la maturation de l'orge : dans ce cas, les grains vitreux deviennent farineux quand on les examine après trempage de vingt-quatre heures dans l'eau à 15° et dessiccation. Les orges qui présentent ce caractère peuvent fournir dans la pratique d'excellents résultats. Dans d'autres cas, l'aspect vitreux provient d'une richesse exagérée ces grains en matières azotées, et l'expérience pratique montre que ces grains conservent leur état vitreux après trempage de vingt-quatre heures et dessiccation. Dans la pratique, leur désagrégation est difficile, et le malt qu'ils donnent est de qualité défectueuse.

Pour ces raisons, on a renoncé à la détermination de l'état vitreux primitif de l'amande, qui ne pouvait conduire à aucune conclusion précise sur la valeur de l'orge. On l'a remplacée, dans certains laboratoires, par la détermination des grains à état vitreux permanent, après trempage de vingt-quatre heures dans l'eau à 15° et dessiccation.

Le sectionnement des grains peut se faire mécaniquement au moyen d'un *farinatome*. Il en existe de nombreux modèles. Ceux de Grobecker, de Pohl, de Heinsdorf, coupent le grain transversalement. Le farinatome de Grobecker (fig. 3) se compose d'un couteau circulaire placé entre deux plaques métalliques perforées de cinquante trous. Les grains sont placés debout dans les trous, le couteau étant tourné sur le côté; quand l'appareil est chargé, on ramène entre les deux plaques le couteau qui coupe transversalement tous les grains. On peut examiner ainsi cinquante sections à la fois, et on détermine le pourcentage de grains à état vitreux permanent. Dans la farinatome de Kickelhayn, la section du grain se fait dans le sens longitudinal, ce qui permet de voir en même temps l'état de l'embryon, de déterminer les grains germés avant récolte, etc.

Ces appareils ne sont pas indispensables, et quand on pos-

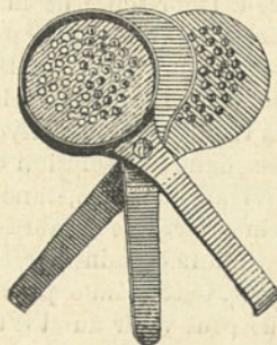


Fig. 3. — Farinatome de Grobecker.

sède de l'habitude, la dent est le meilleur farinatome pour apprécier la consistance exacte de l'endosperme.

Pureté. — La pureté des orges est très variable suivant les provenances. Certaines orges exotiques renferment beaucoup de déchets ; les orges indigènes sont plus pures. La meilleure orge est évidemment celle qui renferme le moins de graines étrangères, de débris, de pierres, et d'autres impuretés. Le rendement en malt est d'autant plus faible que l'orge est plus impure et perd davantage au nettoyage. Les limites acceptables sont de 2 à 3 p. 100 de déchets pour les orges indigènes non triées, de 6 à 7 p. 100 pour les escourgeons d'Afrique et les orges exotiques. La présence dans l'orge de plus de 5 p. 100 de grains d'escourgeons ou de grains ayant l'aspect de l'escourgeon suffit à la rendre refusable ; toutefois, ces grains ne sont pas comptés dans les déchets.

Couleur. — La couleur doit être jaune clair, brillante et surtout bien uniforme, sans piqûres noires ou bleues qui indiquent la présence de moisissures. Il faut se méfier des orges à bout noir, dont le pouvoir germinatif est souvent défectueux. Les orges mouillées ont une coloration plus foncée, qui est due à la richesse plus grande des enveloppes en composés tanniques, qui s'oxydent ensuite au contact de l'air. Trempées dans une solution de sulfate ferreux, ces orges mouillées deviennent noires, tandis que les orges saines prennent une teinte vert sale ou verte.

Parfois certaines orges présentent une couleur franchement verte. Cette teinte peut tenir à un défaut de maturité ; mais elle peut venir aussi d'une coloration bleue de l'amande, vue à travers l'enveloppe jaune et localisée autour de la partie amylicée de l'endosperme. L'expérience a montré que ces dernières orges peuvent donner du malt de bonne qualité. Toutefois, le brasseur doit toujours préférer les orges jaunâtres, de couleur bien uniforme.

Forme. — Les grains doivent être bien formés, réguliers et ventrus. Il y a une relation étroite entre la forme du grain et la teneur en enveloppes : plus un grain est plein, ventru, et lourd, moins il renferme d'enveloppes. Ces dernières doivent être fines et intactes. On doit rencontrer le moins possible de

grains cassés, qui pourrissent sur le germe. Les machines à battre exercent souvent sous ce rapport une influence détériorante sur les grains et sur les enveloppes de l'orge, et les producteurs d'orge de brasserie doivent surveiller à la réduire au minimum.

La proportion d'enveloppes peut être déterminée par la méthode de Luff. On place 50 grains, après les avoir pesés, dans un flacon avec 10 centimètres cubes d'ammoniaque à 5 p. 100. Le flacon, bien bouché, est introduit pendant une heure dans un bain-marie à 80°. On recueille alors les grains, on sépare facilement les enveloppes, on les sèche à 105° et on les pèse. On détermine ainsi le pourcentage en poids des enveloppes pour 100 grammes de grains : ce chiffre est augmenté d'un douzième pour tenir compte de la perte de matières de l'enveloppe pendant le chauffage du grain dans l'eau ammoniacale ; on le rapporte enfin à 100 d'orge sèche.

Odeur. — L'odeur de l'orge doit être saine. Une odeur de moisi indique une orge altérée par l'humidité et chargée de spores de moisissures qui donnent ultérieurement des accidents à la germination.

Poids. — Le poids de l'orge peut se rapporter soit à 1.000 grains, soit à l'hectolitre. Il existe des appareils à alvéoles qui permettent de séparer 1.000 grains qu'il suffit de peser ; mais ces appareils opèrent une sélection, et la meilleure méthode consiste à peser 200 grammes de grains et à les compter ensuite pour rapporter le poids à 1.000 grains. Le poids moyen de 1.000 grains secs est de 35 à 40 grammes ; il atteint parfois 50 grammes chez les orges très grosses et descend au-dessous de 30 grammes chez les petites orges.

Le poids de l'hectolitre s'évalue directement, ou au moyen de l'appareil de Brauer (fig. 4). Cet appareil se compose d'une

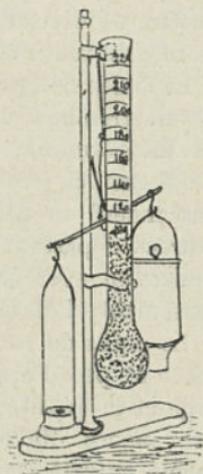


Fig. 4. — Appareil Brauer.

balance portant d'un côté un entonnoir fermé par un tampon et de l'autre la tare de l'entonnoir et un poids de 150 grammes. On pèse 150 grammes d'orge dans l'entonnoir, que l'on place ensuite au-dessus d'un vase gradué à long col. On enlève rapidement le tampon qui ferme l'entonnoir, et les grains tombent dans le vase. Il suffit alors de lire le niveau auquel s'arrête le grain dans le tube gradué; chaque division représentant $1^{\text{cc}},5$, si la lecture donne par exemple 156, on en déduit que $156 \times 1,5 = 234$ centimètres cubes de grain pèsent 150 grammes.

Le poids de l'hectolitre est, en kilogrammes $\frac{0,150 \times 100}{0,156 \times 1,5} = \frac{10.000}{156} = 64^{\text{kg}},1$. Il suffit donc, pour obtenir le poids de l'hectolitre, de diviser le chiffre 10.000 par le chiffre trouvé à la lecture du tube gradué.

Le poids de l'hectolitre d'orge varie ordinairement de 60 à 72 kilogrammes. L'orge est légère quand elle pèse moins de 64 kilogrammes, normale de 64 à 66 kilogrammes, lourde au-dessus de 66 kilogrammes. Certaines orges très légères descendent au-dessous de 60 kilogrammes; d'autres très lourdes dépassent 72 kilogrammes. Mais ce poids varie non seulement avec la densité réelle de l'orge, mais aussi avec le tassement, l'état des enveloppes, etc.

Le poids de 1.000 grains et le poids de l'hectolitre ne permettent pas d'apprécier d'une façon précise la valeur d'une orge et la qualité du grain. Petit a montré que des orges de provenance différente ou de même rayon peuvent avoir le même extrait, avec des poids de 1.000 grains variant de 10 grammes, et que l'extrait du malt donné par 100 kilogrammes d'orge n'a pas de relation avec le poids de 1000 grains de cette orge. La détermination du poids de 1 000 grains ne fournit donc aucun élément d'appréciation économique pour les orges françaises, mais elle peut-être utile pour l'évaluation du rendement en malt, de la perte à la germination, etc.

Le poids de l'hectolitre est également une base d'appréciation incertaine, surtout si on n'indique pas en regard le résultat du triage. On a l'habitude de préférer les orges lourdes, et on admet souvent qu'une bonne orge doit peser au moins

65 kilogrammes à l'hectolitre. En réalité, beaucoup de facteurs interviennent ici, et une orge lourde peut parfaitement être inférieure à une autre orge plus légère.

Appréciation de la composition chimique de l'orge.

— L'analyse chimique fournit enfin au brasseur des renseignements importants sur la qualité de l'orge. Les principaux éléments à envisager sont l'humidité, l'amidon ou mieux l'extrait et les matières azotées.

L'humidité est variable avec les années, et le brasseur peut exiger seulement qu'elle ne soit pas supérieure à la teneur moyenne de l'année. Une orge qui renferme 16 p. 100 d'eau et plus, dans une année sèche où les orges ont une humidité normale de 12 à 14 p. 100, doit être considérée comme défectueuse. Elle est au contraire parfaitement acceptable dans les années très humides, où la teneur en eau oscille entre 18 et 20 p. 100. D'une façon générale, les orges les plus sèches sont les meilleures, car les orges trop humides se conservent mal ; en outre, l'eau représente un poids sans aucune valeur pour l'industriel, qui achète toujours l'orge au quintal. Mais il est impossible d'adopter ici des règles fixes, l'humidité des grains pouvant varier beaucoup, d'une année à l'autre, suivant les conditions climatiques qui ont accompagné la maturation et la récolte.

L'amidon est l'élément le plus important de l'orge. Une bonne orge de brasserie doit être aussi riche que possible en amidon, car c'est lui qui fournit la majeure partie de l'extrait. Malheureusement le dosage de l'amidon est très peu précis, à cause des autres hydrates de carbone qui l'accompagnent. Il vaut bien mieux lui substituer la détermination de l'extrait obtenu sous l'action de la diastase, qui comporte beaucoup moins de causes d'erreur. On a reconnu d'ailleurs qu'il n'existe aucune relation sûre entre le chiffre trouvé pour l'amidon et l'extrait du malt à produire. Au contraire, l'extrait de l'orge sèche coïncide à peu près, en année normale, avec celui du malt.

Les bases d'appréciation d'une orge au point de vue de sa teneur en extrait varient surtout avec sa provenance. Pour les très bonnes orges indigènes, le chiffre de l'extrait, rapporté

à l'orge sèche, atteint 78 à 80 p. 100 ; il descend au-dessous de 70 p. 100 dans les qualités inférieures. Pour les escourgeons d'Afrique, les chiffres sont sensiblement plus faibles, et une teneur en extrait de 70 à 72 p. 100, rapportée au grain sec, peut être considérée comme bonne.

L'examen de la richesse de l'orge en matières azotées est particulièrement important. On préfère avec raison les orges pauvres en matières azotées, car les grains trop azotés donnent des bières de stabilité médiocre ; en outre, la désagrégation lors de la germination est difficile, et le rendement du malt en extrait est plus faible. Il ne faut cependant rien exagérer : les matières azotées sont indispensables au bon fonctionnement vital de la levure, et on a observé parfois des fermentations défectueuses avec des orges très pauvres en azote.

La teneur convenable de l'orge sèche en matières azotées totales est de 9 à 10,5 p. 100. Il y a lieu également de tenir compte ici de la provenance des grains. Les orges indigènes sont normalement moins riches en matières azotées que les grains d'Afrique, qui sont eux-mêmes moins riches que les orges de Russie, ordinairement très azotées.

Les orges qui conduisent aux rendements les plus élevés sont les orges pauvres en azote, lorsqu'en même temps les grains sont lourds et ventrus. Cependant des orges pauvres en matières azotées peuvent fournir des malts à rendement relativement faible lorsque les grains sont maigres, quand le poids de 1.000 grains est faible et quand le triage laisse à désirer. Les orges riches en azote donnent souvent une perte au maltage plus élevée, par suite de l'augmentation de la gazéification des hydrates de carbone par la respiration du germe et du transport plus actif de substance vers les radicales.

Certains auteurs ont envisagé non seulement la teneur de l'orge en matières azotées totales, mais également sa teneur en matières azotées solubles, séparées elles-mêmes en matières coagulables et en matières non coagulables par la chaleur. Kukla a constaté, pour les orges de Moravie, que les qualités supérieures ne renferment pas plus de 1,6 p. 100 de matières azotées solubles totales, et 0,8 à 1 p. 100 de matières azotées

solubles et incoagulables par la chaleur. Ces chiffres ne semblent pas applicables à nos orges françaises. D'ailleurs, nous ne savons pas bien les modifications et les variations que peuvent subir ultérieurement ces matières solubles, dans les opérations du maltage. Il semble préférable, pour les orges, de ne pas compliquer le problème, et de se contenter de la détermination de la teneur en matières azotées totales.

III. — HOUBLON

Production et commerce. — La moyenne de la production française de houblon dans la période décennale de 1921 à 1930 a été de 41.000 quintaux par an. Mais la production annuelle est assez irrégulière : elle a été, en effet, de 22.349 quintaux en 1923, de 29.338 quintaux en 1930, de 50.225 quintaux en 1927, et de 62.383 quintaux en 1929.

La consommation de la brasserie française peut-être évaluée à environ 40.000 quintaux, et comme la brasserie achète, chaque année à l'étranger, certaines qualités de houblons qui lui sont nécessaires, nous sommes donc nettement exportateurs pour une partie de notre production.

Il existe en France trois principales régions houblonnières : 1° La région de la Lorraine et de l'Alsace, très importante, qui consacre de grandes étendues à la culture du houblon (environ 200 à 300 hectares en Meurthe-et-Moselle et 2.000 à 3.000 hectares en Alsace) et qui fournit des houblons très appréciés, dont certaines qualités peuvent rivaliser avec celles des provenances les plus réputées ; 2° la région de Bourgogne (Côte-d'Or) qui cultive environ 600 hectares et fournit également de très bons produits ; 3° la région du Nord qui cultive environ 450 hectares et produit des houblons ordinaires. Les autres départements (Haute-Marne, Haute-Saône, Saône-et-Loire) n'ont qu'une production très faible.

Les autres pays producteurs de houblon sont la Tchécoslovaquie, l'Allemagne, l'Angleterre, les États-Unis, la Yougoslavie, la Russie, la Belgique, l'Australie et le Canada. La production de la Tchécoslovaquie est d'environ 250.000 quintaux, pour une surface cultivée de 16.000 à 17.000 hectares

ce pays livre notamment les houblons fins de Saaz et d'Auscha. La production allemande est en moyenne de 225.000 quintaux, pour une surface cultivée de 13.000 à 15.000 hectares ; les principales régions houblonnières allemandes sont la Bavière, qui produit notamment les variétés fines de Spalt et de Hallertau ; le Wurtemberg avec les houblons de Tettngang, de Rottembourg ; le Grand-Duché de Bade, etc. L'Angleterre cultive 8.000 à 9.000 hectares de houblons et produit 250.000 à 400.000 quintaux ; sa région houblonnière principale est le Comté de Kent. Les États-Unis ont une production et une surface cultivée voisines de celles de l'Angleterre ; le houblon y est surtout cultivé en Californie et en Orégon. La Yougoslavie a produit en 1927 et 1928 environ 125.000 quintaux de houblon par an, mais sa production est tombée en 1929 à 83.000 quintaux et en 1930 à 41.000 quintaux, par suite de la réduction des surfaces cultivées. La Belgique cultive le houblon surtout dans les régions de Poperinghe et d'Alost ; la production belge était jusqu'en 1929 d'environ 40.000 à 50.000 quintaux ; elle est tombée à 16.000 quintaux en 1930 ; elle est surtout constituée par des houblons ordinaires. La Russie produit de 25.000 à 60.000 quintaux pour une superficie cultivée de 2.000 à 3.000 hectares. Enfin l'Australie fournit 20.000 à 25.000 quintaux, et le Canada 10.000 à 15.000 quintaux.

PAYS	1927		1928		1929		1930	
	Sur-faces.	Produc-tion.	Sur-faces.	Produc-tion.	Sur-faces.	Produc-tion.	Sur-faces.	Produc-tion.
Tchécoslova- quie	16 358	226.000	16.509	197.000	17.264	250 000	15.660	280.000
Allemagne ..	15 507	205 000	15.273	223 000	15 224	297.000	13.074	225.000
Angleterre ..	9.309	287 000	9 633	265.000	9.706	400.000	8.092	260 000
Etats-Unis, ..	9 955	278 000	10.562	290 000	10.076	300 000	7.891	220 000
Yougoslavie	13 200	125.000	12 000	134 000	10 000	83.000	2 580	41 000
France.....	4 770	50 225	4 644	41 154	4.243	62 383	3 297	29 338
Belgique	1 480	56 000	1 470	43 000	1.235	40 000	765	16.000
Russie	3 000	60 000	5 265	40 000	5 000	30 000	2.000	25 000
Australie....	700	18 000	700	18.000	1 000	28.000	700	20 000
Canada	420	13.000	425	9 000	471	15.000	384	11.000

Le tableau ci-dessus indique la production du houblon et les

surfaces cultivées dans les différents pays en 1927, 1928, 1929 et 1930. Les surfaces sont données en hectares et les productions en quintaux de 50 kilogrammes.

On voit que la production dans les divers pays varie beaucoup avec les années, car la culture du houblon dépend très étroitement des conditions météorologiques des saisons.

Jusqu'en 1913, la France importait chaque année 20.000 à 25.000 quintaux de houblon, venant surtout d'Allemagne et de Belgique, Elle en importe encore environ 20.000 quintaux par an, venant principalement (environ pour 60 p. 100) de Tchécoslovaquie.

L'exportation était très faible avant 1914 et se maintenait entre 1.000 et 3.000 quintaux. Depuis, grâce à la réintégration

Importations (en quintaux métriques).

Provenance.	1926	1927	1928	1929	1930
Angleterre . . .	114	1 173	1 111	5	59
Allemagne . . .	710	5 982	3 368	4 660	4 553
Belgique	8 058	5 892	4 888	1 252	1 242
Tchéco-Slova- quie.	2 359	5 173	6 027	11 617	12 364
Yougo-Slavie . .	1 120	2 719	3 094	2 457	1 678
Etats-Unis. . . .	5 306	2 542	259	84	3
Autres pays. . .	164	1 046	933	796	589
Totaux	17 831	24 527	19 680	20 871	20 488

Exportations (en quintaux métriques).

Destinations.	1926	1927	1928	1929	1930
Angleterre . . .	»	108	98	»	»
Allemagne . . .	21 460	11 004	7 519	5 332	3 488
Belgique	4 461	12 569	8 087	8 664	7 034
Suisse.	608	55	236	4	2
Tchéco-Slova- quie.	483	364	»	89	»
République-Ar- gentine.	669	1 121	2	308	537
Algérie	97	150	153	126	220
Autres pays. . .	159	464	289	1 147	828
Totaux	27 937	25 775	16 384	15 670	12 109

de l'Alsace et de ses 2.500 hectares de cultures houblonnières, nous sommes devenus exportateurs. Cette exportation se fait surtout en Allemagne et en Belgique.

Le tableau page 51 résume le mouvement des importations et des exportations de houblons en 1926, 1927, 1928, 1929 et 1930.

L'exportation pourrait être sensiblement améliorée, notamment en Danemark, en Suède, dans les Pays-Bas, qui importent annuellement environ 5.000 quintaux ; le Japon, le Brésil l'Italie, la Norvège offrent également des débouchés. Il faut pour cela que la culture améliore ses produits, que la cueillette et le séchage, notamment, soient effectués avec le plus grand soin. Un houblon mal cueilli, renfermant des tiges et des feuilles, se présente mal et est délaissé par les acheteurs ; un houblon insuffisamment séché est d'une conservation défectueuse ; il perd aussi ses meilleurs principes quand il est séché trop vite ou à une température trop élevée. Il faut, en outre, détruire les plants mâles, qui viennent féconder les cônes et donner naissance à des graines, qui diminuent la richesse en lupuline et la qualité. Les efforts entrepris dans cette voie ne peuvent que conduire à des résultats excellents pour l'agriculture et l'industrie françaises.

Caractères botaniques et variétés. — Le houblon (*Humulus lupulus*) est une plante de la famille des Urticées : elle est grimpante et sa floraison est dioïque. On utilise en brasserie les cônes des plantes femelles. Les fleurs femelles sont disposées en cônes (fig. 5), et chacun de ces cônes est formé de bractées ou folioles disposées autour d'un axe central. Chaque bractée porte à la base une multitude de poils glanduleux en forme de coupe, qui sécrètent une résine brillante, d'une couleur jaune d'or, à laquelle on donne le nom de *lupuline*. C'est elle qui contient la majeure partie des principes actifs utiles en brasserie. La longueur des cônes varie de 2 à 4 centimètres.

Les plantes femelles sont seules cultivées dans les houblonnières, car la fécondation des cônes par les plantes mâles est une cause de dépréciation du houblon. Les principes utiles diminuent chez les houblons fécondés ; les parties ligneuses augmentent et communiquent à la bière un arrière-goût âcre et désagréable. Aussi procède-t-on, dans la plupart des régions houblonnières, à la destruction totale des plants mâles et des houblons sauvages ; des arrêtés officiels prescrivent même cette description dans beau-

coup de contrées, mais ils ne sont malheureusement pas appliqués dans toutes les régions, notamment dans le Nord, et la qualité des houblons s'en ressent. Certaines régions, comme la région de Kent en Angleterre, conservent quelques pieds mâles, car il semble que la maturation des variétés « Goldings », cultivées en Angleterre, ne se fait complètement que si elles ont été



Fig. 5. — Houblon.

A, pied femelle; B. cône fructifère.

fécondées. Les planteurs allemands reconnaissent au contraire la nécessité absolue d'éliminer tous les pieds mâles. Il en est de même en Bourgogne.

Les variétés de houblon les plus connues sont : 1° en Bohême, la *tige rouge tardive de Saaz*, qui produit des cônes ovoïdes, de grosseur moyenne, terminés en pointe et très bien fermés; l'axe est mince à spires régulières; les bractées sont fines et soyeuses; la *tige rouge d'Auscha*, très voisine de la précédente, la *tige verte de Dauba*, à cônes ronds, plus gros, moins fermés, à axes épais et

à spires souvent irrégulières; 2° en Bavière, la *tige rouge de Spalt*, provenant de replants de Saaz, à cônes plus petits, bien formés, à axe fin portant des spires régulières et serrées; 3° en Belgique, la *tige blanche de Poperinghe*, cultivée surtout en Flandre occidentale, avec la *tige rouge indigène*: le houblon blanc de Buvrines, et enfin la *clochette verte*, la *clochette blanche*, le *carnau* dans la région d'Alost; 4° en Angleterre, les *Golding*, cultivés surtout dans le comté de Kent; 5° en France, la *tige blanche de Poperinghe* (Nord), les *types Strisselspalter et Sämling n° 1*, etc.

Composition du houblon. — L'élément essentiel du houblon est la lupuline, qui contient la majeure partie des principes aromatiques recherchés par le brasseur. Les cônes de houblon en contiennent de 6 à 16 p. 100. La répartition des divers éléments des cônes est la suivante, d'après Haberlandt :

Lupuline	7,92 à 15,70
Bractées	69,79 à 78,36
Tiges	8,50 à 17,54
Graines	0,02 à 7,80

Ces chiffres ne sont pas applicables à tous les houblons. La lupuline peut descendre au-dessous de 7 p. 100 dans certains houblons inférieurs; par contre, les graines peuvent atteindre 15 p. 100 dans ces houblons.

Les houblons ordinaires belges ou du Nord de la France renferment en moyenne 7 p. 100 de lupuline, 65 p. 100 de bractées, 8 p. 100 de tiges, 14 p. 100 d'axes, 5 à 15 p. 100 de graines.

Les principaux éléments constitutifs du cône de houblon sont : l'huile essentielle, les résines, les acides amers, le tanin, les matières azotées et les matières cellulosiques.

L'huile essentielle se trouve surtout dans la lupuline; elle est volatile et on peut l'extraire en faisant passer un courant de vapeur d'eau sur du houblon. Elle est composée d'un certain nombre de corps, parmi lesquels l'humulène, qui est un sesquiterpène, prédomine de beaucoup. Le houblon contient de 0,2 à 0,8 p. 100 d'huile essentielle. Chapmann lui a trouvé une densité de 0,8662 à 0,8802 et un pouvoir rotatoire de + 40° à + 58°. Elle est très peu soluble dans l'eau, mais elle l'est cependant assez pour lui communiquer une odeur caractéristique. On a cru qu'elle s'oxydait à l'air en donnant de l'acide valérianique. Ce fait est inexact; d'ailleurs Bungener a montré que l'acide valérianique provient des acides amers du houblon. On lui a attribué aussi, à tort, des propriétés antiseptiques: Chapmann, Bockorny ont démontré qu'elle ne possède pas de pouvoir antiseptique; celui que possède le houblon doit être rattaché aux résines (Hayduck). L'ébullition élimine 90 p. 100 de l'huile essentielle par distillation; le reste se transforme en une résine aromatique.

D'après Hayduck, les résines du houblon sont au nombre de trois;

cet auteur les désigne par les lettres α , β et γ . Les résines α et β sont des résines molles, faiblement solubles dans l'eau, très solubles dans l'alcool et dans l'éther; elles se différencient par ce fait que la résine α est précipitée par l'acétate de cuivre et l'acétate de plomb, tandis que la résine β ne l'est pas. Elles ont une saveur amère et se transforment par ébullition prolongée en résines dures. Cette transformation se produit lentement au contact de l'air, surtout si l'huile essentielle a disparu (Briant et Meacham). L'huile essentielle protège donc les résines molles contre l'altération. Enfin Briant et Meacham, Hayduck, ont montré que ces résines molles ont des propriétés nettement antiseptiques. La résine γ est une résine dure, insipide et dénuée de pouvoir antiseptique. La proportion de résines totales contenues dans le houblon est environ de 18 p. 100, qui se répartissent ainsi :

Résine α	5 p. 100
— β	8 —
— γ	5 —

Les résines molles donnent à la bière de l'amertume, et leur pouvoir antiseptique facilite sa conservation. Il semble bien que les résines du houblon soient beaucoup plus complexes que ne le laissent prévoir les travaux ci-dessus, et ces dénominations de résines α , β et γ sont certainement insuffisantes.

Les résines α et β , placées dans des conditions convenables, laissent déposer des substances cristallisées qui, d'après Hayduck, auraient existé primitivement dans le houblon et se seraient transformées en résines. On a désigné ces corps cristallisés sous le nom d'acides amers α et β . L'acide amer α a été isolé par Lerner et par Lintner et Bungener. Cet acide se dédouble en acide valérianique et en un produit qui est un véritable acide, l'*humuline* $C^{20}H^{24}O^4$. L'acide α , auquel on a donné aussi le nom d'*humulone*, aurait pour formule $C^{20}H^{22}O^3$ (Lintner et Schnell). L'acide β , étudié par Lintner et Bungener, cristallise en prismes, fond à 92° et se résinifie à l'air. On l'appelle aussi acide lupulinique : il répond à la formule $C^{20}H^{26}O^4$. Ces acides communiquent de l'amertume à la bière; Bungener a constaté, en outre, pour l'acide β des propriétés antiseptiques.

Le tanin se trouve surtout dans les folioles. Etti l'a signalé le premier, ainsi qu'un autre corps très voisin, le phlobaphène, qui paraît être un produit de déshydratation du tanin. Le tanin du houblon est presque insoluble dans l'alcool absolu, insoluble dans l'éther. Il est fixé par la peau, d'après Hayduck; chauffé à sec à 140° , ou évaporé au bain-marie, il se transforme en phlobaphène. Le rôle du tanin dans la bière est très discuté; certains auteurs lui ont attribué la propriété de précipiter des matières azotées lors de la cuisson du moût. Mais Hayduck a constaté que le tanin du houblon donne avec les matières albuminoïdes de l'orge un pré-

cipité à froid, qui se dissout à l'ébullition et réapparaît par le refroidissement. Seul le phlobaphène donne un précipité insoluble. Hayduck en conclut que le rôle du tanin, comme précipitant des matières azotées, est très faible. Héron est arrivé à des conclusions analogues. D'après ce dernier auteur, le tanin ne jouerait un rôle qu'au moment du collage en fermentation haute. On constate effectivement que les bières qui refusent de prendre la colle sont, en général, très pauvres en tanin. par suite de l'emploi d'un houblon défectueux. Hayduck a montré, en outre, que le tanin intervient dans la coloration de la bière, qui est d'autant plus faible qu'il est plus abondant.

La teneur du houblon en tanin est assez variable. Voici quelques chiffres à ce sujet :

Houblon.	Tanin p. 100.	Auteurs.
Saaz	3,64	Hayduck.
Spalt	2,91	—
Wolnzach	1,91	—
Alsace	3,34	Rémy.
Spalt	4,93	Barth.
Auscha	4,27	—
Houblon de Bourgogne	3 à 4	—
— du nord	2 à 2	—

Le chiffre paraît varier entre 1,5 et 6 p. 100. Héron a montré que le tanin disparaît rapidement du houblon par le vieillissement.

Le houblon contient de 12 à 24 p. 100 de matières azotées. Les chiffres normaux varient de 12 à 19 p. 100 pour les matières azotées totales, de 2,5 à 5,5 p. 100 pour les matières azotées solubles. Ces matières sont donc en partie solubles dans l'eau et incoagulables par la chaleur, et elles viennent remplacer, lors de la cuisson du moût, celles qui ont été éliminées par l'ébullition. Ces matières jouent un rôle important dans l'alimentation de la levure (Behrens).

On a enfin signalé dans le houblon la présence de l'acide malique (Payen), de l'acide citrique (Etti), de l'acide succinique (Lintner). Griessmayer, Greshof ont, en outre, extrait du houblon un alcaloïde ; mais ce résultat n'a pas été confirmé par les recherches de Hantke et Kremer. Ces savants ont cependant isolé un alcaloïde des graines de houblon. Le houblon contient aussi de la cellulose et des sucres réducteurs. Brown et Morris ont enfin démontré la présence de l'amylase dans le houblon.

En résumé, la composition du houblon est la suivante :

Eau	5 à 18
Huile essentielle	0,2 à 0,8
Résines	10 à 22

Tanin	1 à 6
Matières azotées	12 à 24
— cellulosiques	45 à 70
— minérales	5 à 15

Appréciation de la valeur du houblon. — Le seul moyen d'apprécier un houblon est de le soumettre à un examen physique et organoleptique ; l'analyse chimique ne peut donner aucun renseignement précis. L'appréciation dépend donc essentiellement de la pratique et de la compétence de l'expert, et les brasseurs doivent s'exercer à cette estimation, pour pouvoir juger eux-mêmes les marchandises qui leur sont soumises.

Les principaux caractères sur lesquels on doit se baser sont : le degré de siccité, l'arome, la proportion et l'état de la lupuline, la couleur, l'odeur, la cueillette et le triage, la forme et l'état des cônes, leur uniformité, la finesse du rachis et l'écartement moyen des bractées, la proportion de graines.

Degré de siccité. — Un bon houblon doit être sec : l'humidité augmente inutilement le poids et altère les éléments. On reconnaît l'état de siccité à trois caractères : 1° la sensation au toucher : si le houblon n'a pas été comprimé, on doit pouvoir y faire pénétrer aisément la main et percevoir une légère sensation de fraîcheur, non humide ; 2° l'élasticité : une poignée de houblon comprimée dans la main doit faire ressort sans adhérer ; les houblons humides restent en boule ; 3° l'état des axes des cônes : ils doivent être durs, secs et cassants si la siccité est bonne ; ils sont mous, élastiques et difficiles à casser dans le cas contraire.

Le houblon ne doit cependant pas être trop sec, car les cloches s'effeuillent alors très rapidement, et il y a des pertes de lupuline par rupture des bractées au moindre contact. Ce défaut tient presque toujours à un touraillage trop brusque ou trop fort, et il peut faire perdre au houblon beaucoup de ses produits aromatiques.

Arome. — L'arome est un caractère d'appréciation très important, car il est caractéristique pour les diverses variétés et les diverses provenances. C'est un excellent critérium pour la distinction des houblons, à condition que l'examinateur soit expérimenté.

La finesse de l'arome varie beaucoup avec les houblons. Les variétés réputées ont un arome très fin et très délicat ; les variétés ordinaires sont très inférieures sous ce rapport. L'odorat permet seul l'appréciation de cette qualité de l'arome : quand on n'a pas beaucoup la pratique de cette opération, on la facilite en enfermant pendant quelques jours, dans une boîte bien fermée, un échantillon assez fort de houblon, modérément pressé, qu'on conserve au froid. L'arome se développe et on l'apprécie fort bien immédiatement à l'ouverture de la boîte. Beckenhaupt a également conseillé dans ce but l'emploi d'appareils dits examinateurs d'aromes constitués par une série de tubes accolés dans lesquels on introduit la même quantité de houblon effeuillé. En sentant successivement les échantillons ainsi disposés, on les compare entre eux et on peut les rapprocher d'un type connu dont on prépare également un échantillon dans un des tubes.

Il y a lieu d'envisager non seulement la finesse de l'arome, mais également son intensité. On renifle fortement quelques cônes préalablement frottés les uns contre les autres pour écraser la lupuline : l'odeur qui se dégage est plus ou moins pénétrante et on dit que l'arome est plus ou moins fort.

Proportion et état de la lupuline. — L'abondance, la couleur, la pureté et la viscosité de la lupuline sont également des caractères très importants d'appréciation. On déchire une série de cônes dans le sens de la longueur pour mettre à nu l'intérieur de la cloche en la séparant en deux parties égales. On examine alors les grains de lupuline : plus il y en a, plus la lupuline est abondante, et meilleur est le houblon. Cette lupuline doit être jaune citron, brillante, transparente ; elle est rouge brun, opaque et ridée dans les houblons surannés. Au milieu des grains de lupuline, on recherche les vestiges de maladie, et notamment du miellat et du noir. Il n'est pas rare d'y découvrir des fragments de cadavres de pucerons, qui fournissent des indices de l'attaque. Enfin, en passant le pouce sur l'intérieur d'un cône ouvert, la lupuline d'un houblon frais s'écrase en donnant un toucher gras et visqueux : le houblon suranné ou étuvé a une lupuline sèche, sans viscosité

Couleur. — La couleur à préférer est la teinte vert jaunâtre, qui indique que la maturité est atteinte. Une couleur tout à fait verte indique un houblon cueilli trop tôt ; une nuance brune et rouge est l'indice d'un mauvais traitement ou d'une maturité dans des conditions climatiques défavorables. Un houblon mal séché est terne et gris ; un houblon séché dans de bonnes conditions, à basse température, est brillant et de coloration normale. Une teinte pâle, décolorée ou jaune, résulte presque toujours d'un soufrage trop intense. Quand un houblon présente ce caractère, il faut porter toute son attention sur l'état de la lupuline, car on soufre quelquefois de vieux houblons pour leur enlever leur nuance foncée. Mais, dans ce cas, la lupuline reste rouge, opaque, ratatinée, au lieu d'être jaune-citron et transparente.

Les cônes tachetés de rouge indiquent souvent des houblons qui ont subi les effets de la grêle ou de vents violents. Ce n'est pas un défaut bien grave. Mais les taches blanches, duveteuses, sont l'indice de développement de moisissures ; les taches noires proviennent de la fumagine ou maladie du noir. Ce sont alors des caractères défavorables.

Odeur. — On recherche les odeurs étrangères en sentant à la surface une poignée de cônes étendue dans les deux mains. On peut ainsi reconnaître l'odeur de moisi provenant d'un touraillage incomplet ou d'une conservation défectueuse en milieu humide, l'odeur de fumée provenant des combustibles qu'on brûle dans la touraille, l'odeur de bois résultant d'un touraillage avec des bois verts ou humides, l'odeur de brûlé occasionnée par un chauffage trop vif. Les vieux houblons ont une odeur caractéristique de fromage avancé.

Cueillette et triage. — On examine d'abord la longueur et la grosseur des tiges. Les tiges ou queues constituent un poids inutile, et les bons houblons doivent en renfermer peu. Cependant, la cueillette ne doit pas être faite trop courte, car elle expose à des déperditions de lupuline par l'effeuillement des cônes. Pour les houblons ordinaires de la Belgique et du nord de la France, la longueur des tiges doit être de 15 millimètres en moyenne et ne pas dépasser 30 millimètres. Ces dimensions sont sensiblement plus réduites dans les houblons fins.

La séparation des cloches donne la mesure du soin apporté dans le cueillette du houblon : la cueillette cloche par cloche est la meilleure.

Il y a lieu, enfin, de rechercher les feuilles ou parties de feuilles adhérentes aux tiges : il doit y en avoir le moins possible. On doit être également très sévère pour la présence de corps étrangers : sable, particules terreuses, pailles, qui constituent un poids de matières sans valeur.

Forme et état des cônes. — On recherche, généralement, les petits cônes, qui rappellent certaines variétés fines. En réalité, ce caractère ne présente quelque valeur que pour l'appréciation de certains houblons de Bavière ou de Bohême, et il est préférable de rechercher la grosseur caractéristique pour chaque variété. La présence de nombreuses cloches à très grand développement peut être considérée, en général, comme un indice défavorable à la qualité. La forme des cônes est d'ailleurs parfois assez variable pour une même provenance, et il ne faut pas accorder à ce caractère une importance trop grande : en particulier, une inégalité assez notable dans les formes ne doit pas faire conclure à un mélange de variétés.

L'intégrité des cônes a beaucoup plus d'importance. Certains houblons, trop secs, sont très effeuillés, ce qui occasionne des déperditions de lupuline et rend plus difficile l'examen du produit. La présence de quantités notables de cônes effeuillés est donc un caractère très défavorable. Il ne faut cependant pas croire que, lorsque l'effeuillé représente 20 à 25 p. 100 du houblon examiné, il y ait forcément mélange avec du houblon suranné, comme l'admettent certains experts. Les causes d'effeuillage accidentel sont tellement nombreuses, au cours des manipulations que subit le houblon, surtout quand il a été récolté très sec, que cette conclusion est beaucoup trop absolue.

Uniformité des cônes. — Il faut rechercher autant que possible l'uniformité dans le développement, car les cônes mal venus, atrophiés ou hypertrophiés, sont généralement pauvres en lupuline et de qualité inférieure.

Finesse du rachis et écartement moyen des bractées. — En général, les houblons dont le rachis régulier

et uniforme est peu développé sont des houblons de qualité supérieure; en outre, les points d'insertion des bractées sur le rachis sont très rapprochés dans les variétés fines. Remy et Beckenhaupt ont conseillé de recourir à la détermination de l'écartement moyen des points d'attache des bractées pour reconnaître la finesse d'un houblon. Il suffirait, d'après ces auteurs, de compter le nombre de bractées d'un certain nombre de cônes, de mesurer la longueur de ces cônes et de diviser la longueur totale par le nombre total des bractées. Voici les chiffres que donnent pour diverses espèces Remy et Beckenhaupt :

	Moyen. mm.	Maximum. mm.	Minimum. mm.
<i>Espèces fines :</i>			
Sääz.	1,41	1,88	1,16
Hallertau	1,46	1,81	1,25
Spalt	1,64	1,90	1,22
Moyenne	1,52	1,99	1,25
<i>Espèces locales :</i>			
Lorraine.	1,7	2,33	1,14
Belge	1,83	2,50	1,62
Sauvage.	2,22	2,30	1,71
Moyenne	1,79	2,29	1,46
Différence †	0,27	0,30	0,21

Le simple examen de ce tableau montre combien il y a lieu d'être prudent dans l'usage de cette méthode d'appréciation. L'écartement n'est pas le même pour tous les cônes d'une même variété; on trouve des cônes fins et des cônes grossiers dans chaque espèce. Dès lors, il devient impossible de se baser sur ce caractère pour affirmer, par exemple, qu'il y a eu mélange de variétés. En réalité, cette méthode ne peut donner de résultats que lorsqu'on a à distinguer des houblons fins, tels que ceux de Spalt ou de Hallertau, de houblons communs comme ceux de Belgique ou du nord de la France. Gautier et Guérin ont montré que, pour les qualités intermédiaires, l'écartement des bractées est représenté, pour des houblons de même valeur, par des chiffres très différents. Contrairement à ce que pensent Remy et Beckenhaupt, leur méthode est donc

tout à fait insuffisante pour déterminer la provenance, et elle manque totalement de précision pour apprécier s'il y a eu mélange de variétés.

Proportion de graines. — Il existe entre les divers houblons de très grandes différences dans la proportion de graines qu'ils renferment. En général, les variétés fines ont peu de graines, les houblons grossiers en renferment beaucoup. Les graines constituent un poids mort, sans aucune valeur, mais on ne peut raisonnablement demander qu'une teneur en graines qui corresponde à la qualité du houblon et au prix qu'on le paie. Dans les houblons d'Alost, la teneur moyenne en graines est de 5 à 7 p. 100; elle atteint de 9 à 15 p. 100 dans les houblons de Poperinghe et du nord de la France. Plus cette teneur est réduite, meilleure est la qualité. Les espèces très fines n'ont ordinairement que 0,5 p. 100 de graines au maximum, mais il n'en est pas toujours ainsi, et on peut rencontrer des houblons de qualité fine et de prix élevés qui renferment jusqu'à 3 à 4 p. 100 de graines.

Composition chimique. — Comme nous l'avons dit plus haut, la composition chimique extrêmement compliquée du houblon n'a pas permis jusqu'ici à l'analyse d'entrer dans la pratique courante pour l'appréciation de la qualité. Ni la teneur en tanin, ni la proportion de résines ne peuvent donner une idée précise de la valeur d'un houblon. Seul le dosage de l'humidité peut être utile, mais un bon praticien n'a pas besoin de recourir à cette détermination pour juger l'état de siccité d'un houblon aussi bien que les résultats d'une analyse lui permettraient de le faire. Mofang a recommandé récemment le dosage de l'extrait par infusion dans l'eau : les variétés les plus estimées sont celles qui donnent le plus d'extrait. Comme le dit très justement Petit, cette méthode a la même valeur que celle qui consisterait à apprécier un cru de grand vin de Bourgogne en y dosant l'extrait sec. Adrian J. Brown, Ward et Clubb ont proposé de mesurer les propriétés antiseptiques du houblon en étudiant l'action des doses croissantes d'extrait type de ce houblon sur le développement d'une bactérie particulière du groupe des ferments lactiques. Il y a là une idée dont l'application pratique pourrait être intéressante, car il est bien établi aujourd'hui que les résultats fournis par l'analyse chimique sous le rapport de la teneur du houblon en résines molles ne donnent aucun renseignement précis sur ses propriétés antiseptiques.

L'analyse chimique ne peut avoir quelque valeur pratique que

pour la comparaison d'une livraison à un échantillon remis au moment de l'achat. Si pour les deux lots la composition est semblable, si l'écartement moyen des bractées présente, en outre, la même valeur et la même répartition, il y a probabilité d'identité entre l'échantillon et le produit livré.

Conservation du houblon. — Le houblon s'altère assez rapidement à l'air. Aussitôt après la récolte, il renferme en moyenne 70 à 75 p. 100 d'eau : cette humidité le rend très altérable et cause très vite l'échauffement des cônes et une grande diminution de qualité. Il est donc nécessaire de sécher le houblon aussitôt que possible.

Cette opération du séchage n'est pas toujours conduite avec tout le soin désirable. Elle se fait parfois, chez le petit producteur, à l'air libre, dans des greniers bien aérés ; mais le plus souvent elle s'effectue dans des tourailles. Or, il est indispensable, dans ce cas, d'évacuer l'air humide et de faire passer sur le houblon un actif courant d'air, pour avoir une dessiccation régulière ; il faut, aussi, dans les tourailles à feu direct, employer un combustible tel que le coke, qui ne communique pas au houblon une odeur de fumée ; il faut, enfin, veiller à ne pas dépasser une certaine température : la chaleur diminue, en effet, la proportion d'huile essentielle et transforme les résines molles, utiles, en résines dures. On doit donc commencer le séchage à 25° et élever progressivement la température jusqu'à 35°-40°, sans aller au delà. Toutes ces précautions ne sont pas toujours observées dans certaines régions houblonnières, notamment dans le Nord et en Belgique ; les tourailles sont souvent construites d'une façon défectueuse, et il en résulte des diminutions très sensibles dans la qualité des produits.

En Bohême, le séchage du houblon se fait à la touraille à air chaud, à une température maxima de 32°-35°. Dans la région de Spalt, il se fait dans les greniers des toitures des maisons, sur des claies suspendues aux plafonds, en couches très minces et sous ventilation énergique : l'opération dure dix à trente jours suivant l'humidité plus ou moins grande du temps. Ce séchage naturel donne d'excellents produits, mais il est très coûteux et très difficile.

Une touraille à houblon se compose en principe, dans la région du Nord, d'une bâtisse portant en bas un foyer, à hauteur du grenier un plateau sur lequel on étale le houblon, et terminé par une cheminée. On a perfectionné beaucoup, dans ces dernières années, ces tourailles en employant comme plateaux des toiles roulantes en crins de cheval, ce qui évite l'effeuillement des cônes, en substituant le chauffage par l'air chaud au chauffage à feu direct, et en adoptant plusieurs plateaux superposés pour mieux régler le séchage. L'opération dure une douzaine d'heures, et le houblon séché ne contient plus que 8 à 10 p. 100 d'eau.

Le houblon séché est encore assez altérable, et il subit pendant sa conservation des transformations qui en diminuent la valeur. Ces transformations peuvent être d'ordre biologique et provenir du développement de bactéries et de moisissures quand le houblon est insuffisamment séché. Elles sont aussi d'ordre chimique et portent sur l'huile essentielle, les résines et le tanin. Au contact de l'air, l'huile essentielle se transforme en une masse vitreuse dure et perd son odeur agréable; le tanin disparaît; les acides amers se transforment en résines; les résines molles passent à l'état de résines dures. Les propriétés aromatiques du houblon disparaissent ainsi avec le temps.

Les meilleurs moyens d'éviter ces causes d'altération sont le séchage, déjà étudié, la conservation au froid sec, et la réduction de la présence de l'oxygène. Le séchage peut-être fait par l'air chaud, ou, comme le recommande Humbser, par l'air froid et sec. Par ce dernier procédé, on refroidit et dessèche de l'air à -12° , on le réchauffe à -2° , et on le fait passer sur le houblon placé dans une touraille. On obtient ainsi une dessiccation rapide sans aucune altération.

Briant et Meacham ont montré que le meilleur procédé de conservation du houblon est l'air froid et sec d'un local refroidi par une machine à glace, ainsi que l'indiquent les chiffres suivant dus à Briant :

	Résines molles.	Résines dures.	Résines totales.
Houblon primitif.	44,75	3,16	44,91
— conservé 7 mois à 22-24°.	8,82	5,94	44,76
— — 13-18°.	9,21	5,15	44,36
— — 2-4°.	10,67	4,20	44,87
— au-dessous de 0°.	11,40	3,57	44,67

L'influence conservatrice du froid est manifeste, et il est préférable de se tenir au-dessous de 0° par réfrigération au moyen d'une machine à glace. Le houblon ainsi conservé ne subit aucune altération pendant un ou deux ans, ce qui suffit pour la pratique. Il existe ainsi en Angleterre de nombreux magasins froids pour la conservation du houblon.

Ce mode de conservation est facile à réaliser en fermentation basse ou dans les brasseries de fermentation haute qui possèdent une machine à glace. Il suffit de réserver, pour la conservation du houblon, un local bien sec et refroidi par la machine. Dans les autres cas, le seul procédé pratique est la conservation au frigorifère commun appartenant soit à un négociant en houblons, soit à un groupe de brasseurs. Il semble que le houblon s'altère assez rapidement à sa sortie du frigorifère ; il faut donc ne l'enlever qu'au fur et à mesure des besoins.

Pour réduire le contact avec l'oxygène, on emballe le houblon dans des sacs de forte toile, qu'on comprime très fortement à la presse. On utilise aussi des cylindres de tôle où le houblon est comprimé à plusieurs atmosphères au moyen d'une presse hydraulique. On a essayé la conservation dans le vide ou les gaz inertes, mais cette méthode ne paraît pas très pratique, et ses résultats sont discutés.

Une pratique très répandue est le soufrage du houblon. Cette opération consiste à brûler du soufre dans la touraille, ordinairement au moment du séchage. Elle est avantageuse au point de vue de la conservation du houblon, et elle rend la couleur plus claire et plus uniforme. Par contre, le soufrage a pour l'acheteur l'inconvénient de masquer souvent des défauts de couleur et de qualité.

IV. — MATIÈRES AMYLACÉES DIVERSES

Nous avons vu que l'emploi des succédanés du malt, sous forme d'amidon, de matières amylacées ou sucrées, est autorisé, dans la fabrication de la bière, par le décret de Revel du 28 juillet 1908, à condition que la proportion de ces substances ne dépasse pas 50 p. 100 du versement total. Cette autorisation est parfaitement justifiée : l'utilisation des matières amylacées et sucrées, pour remplacer une partie du malt, ne présente aucun inconvénient d'ordre hygiénique. L'amidon, quelle que soit sa provenance, donne toujours naissance par saccharification diastasique, aux mêmes produits, maltose et dextrines. En outre, l'emploi des grains crus a de grands avantages au point de vue économique et au point de vue de la stabilité et du caractère des bières. Nous savons aujourd'hui que le manque de conservation des bières tient fréquemment à leur richesse trop grande en matières azotées apportées par le malt. La substitution d'une certaine quantité de substances amylacées à une même quantité de malt réduit donc les matières azotées et rend les bières moins altérables. On obtient, en outre, plus aisément les bières brillantes, insensibles au froid, que demande le consommateur. Enfin, l'emploi de certains grains, tels que le riz, donne à la bière un caractère spécial : coloration plus pâle, goût plus fin et plus délicat.

Les principales matières amylacées employées en brasserie sont le riz et le maïs.

Riz. — D'après König, la composition moyenne du riz est la suivante. :

	Non décortiqué.	Décortiqué.
Eau.	9,55	13,51
Matières azotées.	5,87	7,85
— grasses.	1,84	0,63
Hydrates de carbone sacchari-		
fiables	75,85	76,75
Cellulose	5,80	0,63
Cendres.	4,09	1,04

On voit que le riz est un grain très riche en amidon, pauvre en matières azotées, en matières grasses et en cendres. Il est

donc particulièrement avantageux sous le rapport du rendement.

On ne l'emploie jamais entier en brasserie : on utilise des brisures, des semoules, des farines ou des pellicules.

Les brisures sont les plus économiques, et il est plus facile d'en apprécier la qualité qu'à l'état de farines. Mais la cuisson sous pression, lors du brassage, est nécessaire pour les utiliser complètement. Au contraire, les semoules et les farines peuvent être empesées sans cuisson sous pression, par simple ébullition en chaudière; elles sont préférables pour les Lraseries qui ne disposent pas d'un cuiseur. Enfin, les pellicules sont préparées en cuisant de la farine de riz, en laminant ensuite l'empois obtenu et en le faisant sécher par passage entre des cylindres. Quand ces produits sont bien fabriqués, leur amidon est parfaitement empesé, et on peut les employer en cuve matière, avec le malt, sans cuisson préalable. En effet, le rendement est alors très voisin de celui qu'on obtient en les soumettant à la cuisson. Mais il en est tout autrement quand ces pellicules renferment encore des parties dures d'amidon non empesé; il peut y avoir alors un écart de 10 p. 100 entre le rendement des pellicules soumises à la cuisson en chaudière et celui des pellicules employées en cuve matière sans cuisson préalable.

Le rendement en extrait des brisures et farines de riz atteint 78 à 80 p. 100. Les pellicules donnent souvent 82-83 p. 100.

Le riz donne aux bières de la finesse, et il convient surtout pour les bières à forte densité qui ont déjà suffisamment de moelleux. Quand la dose de riz dépasse 20 p. 100, on observe fréquemment une action déprimante sur la levure, qui dégénère vite : l'atténuation s'abaisse, les fermentations deviennent plus lentes, et il faut changer fréquemment de levain. On a rattaché cette action à la pauvreté du riz en matières azotées, mais cette interprétation ne semble pas exacte. L'action déprimante du riz sur la levure est d'ailleurs très variable suivant les brasseries et, en général, elle a été exagérée. Elle tient souvent à un travail imparfait du grain, qui aboutit à une liquéfaction incomplète des éléments amylicés les plus résistants; la présence de fines matières azotées et celluloses

intervient aussi. Ces substances amylacées ou azotées, à l'état plus ou moins colloïdal, se fixent sur les cellules de levures et gênent leur action. On comprend ainsi que la dégénérescence puisse être d'intensité variable suivant l'état physique de l'amidon du riz, de ses matières azotées et suivant les conditions plus ou moins favorables du travail pratique.

Les difficultés de filtration qu'on observe en cuve avec les fortes proportions de riz sont sous la dépendance des mêmes causes.

Maïs. — La composition du maïs, d'après Dietrich et König, est la suivante :

	Maximum.	Minimum.	Moyenne.
Eau	22,4	8,09	13,88
Cendres	4,00	0,62	3,23
Matières azotées	15,42	5,82	10,05
— cellulosiques	8,50	0,99	4,59
— saccharifiables	72,69	59,03	66,78
— grasses	9,16	1,54	4,76

On voit que le maïs est moins riche en amidon que le riz, mais plus riche que l'orge. Il contient plus de matières azotées que le riz, mais surtout beaucoup plus de matières grasses.

L'utilisation du maïs en brasserie exige certaines précautions spéciales, à cause de la grande quantité d'huile qu'il contient : cette huile donnerait à la bière une odeur très désagréable, et il importe de l'éliminer en grande partie. On peut, à cet effet, concasser grossièrement le grain, de manière à détacher le germe et l'écorce qui contiennent la majeure partie de l'huile du grain, puis jeter le produit du concassage dans l'eau : les germes et les écorces surnagent par suite de leur faible densité, et on les enlève. Cette méthode est très économique, mais imparfaite. Ordinairement, la brasserie achète le maïs sous forme de semoules débarrassées du germe et de l'enveloppe et connues sous le nom de *grits*. Elles contiennent encore une certaine proportion d'huile, qui peut varier de 0,5 à 3,5 p. 100. Leur composition moyenne est la suivante :

Eau	10	à	14,5 p.	100
Matières azotées	7	à	13	—
— grasses	0,5	à	3,5	—
Extrait	66	à	80	—

Voici, d'après Van Laer, les compositions comparées d'un maïs américain et de ses sous-produits :

	Matières					
	Eau.	Cellulose.	azotées.	grasses.	Cendres.	Amidon.
Maïs entier. . .	15,5	2,5	40,5	4 8	1,5	65,7
Farine de maïs. .	13,5	2,0	9,0	2,7	1,0	71,8
Grits.	12,6	0,7	8,0	0,8	0,7	77,2
Grits purifiés (farines) . . .	10,2	0,03	0,24	0,05	0,18	89,3
Pellicules. . .	11,8	0,6	7,8	0,6	0,5	78,7
Farines en pellicules.	8,0	0,01	0,20	0,02	0,17	91,6

On admet souvent que, dans de bons grits, la proportion d'huile ne doit pas dépasser 1 p. 100. Cette opinion est peut-être un peu trop absolue: la limite à admettre dépend beaucoup aussi de la proportion de maïs qu'on incorpore au brassage. L'emploi de 15 p. 100 de grits à 2 p. 100 d'huile n'introduit pas plus de matières grasses que l'emploi de 30 p. 100 de grits à 1 p. 100 d'huile. En général, on peut dire, cependant, que les produits les mieux déshuilés sont les meilleurs pour la brasserie, et il est prudent de n'utiliser que des grits dont la teneur en matières grasses ne dépasse pas 2 p. 100.

Le maïs est également employé à l'état de pellicules, dont le rendement est de 80-81 p. 100 d'extrait. Toutes les remarques que nous avons faites au sujet de la solubilité des pellicules de riz avec ou sans cuisson sont aussi applicables au maïs.

Le maïs donne aux bières moins de finesse et de moelleux que le riz. Il convient mal pour les bières de conserve, qui perdent rapidement leur bouche. Son amidon est moins dur que celui du riz, il est plus facile à liquéfier; aussi l'action déprimante du maïs sur la fermentation est-elle beaucoup moins accentuée que celle du riz. Les difficultés de filtration en cuve, à haute dose, sont également moindres.

Matières amylacées diverses. — Quelques autres matières amylacées peuvent être employées pour la fabrication de la bière, en particulier le manioc.

Le manioc est une plante de la famille des Euphorbiacées, qui pousse abondamment dans les pays tropicaux. Ses rhizomes ren-

ferment 30 à 40 p. 100 d'amidon à l'état frais. Desséchés, ils contiennent en moyenne 14 p. 100 d'eau, 1 à 2 p. 100 de matières azotées, 75 à 80 p. 100 d'hydrates de carbone (amidon et sucres), 1,5 à 2 p. 100 de cendres, 2 p. 100 de cellulose. Les hydrates de carbone sont constitués presque exclusivement d'amidon : les farines de manioc, qui ont été pendant quelque temps très bon marché, étaient donc très avantageuses au point de vue du prix et du rendement, et certains brasseurs les ont employées avec de bons résultats. Cependant, comme toutes les autres matières amylacées, le manioc exerce sur la levure une action assez défavorable. Le travail de ce produit est facilité quand on neutralise une partie de son alcalinité par 150 à 200 grammes d'acide phosphorique par 100 kilogrammes de manioc, à la trempe de décoction. La cuisson se fait par simple ébullition en chaudière.

V. — MATIÈRES SUCRÉES

Les principaux sucres employés en brasserie sont les glucoses, le sucre cristallisé et le sucre interverti.

Glucoses. — La brasserie utilise chaque année 4.000 à 5.000 tonnes de glucoses.

Les glucoses du commerce sont obtenus par saccharification de l'amidon au moyen des acides (surtout par l'acide oxalique); leur composition chimique est très variable. On les trouve soit sous la forme de glucoses massés, soit sous la forme de « sirops cristal », ou « sirops de fécule ». D'après la loi, les glucoses massés ne doivent pas avoir une acidité supérieure à 0 gr. 5 d'acide sulfurique pour 100 grammes; ils ne doivent pas contenir plus de 25 p. 100 d'eau, de 15 p. 100 de dextrines et de 1,5 p. 100 de matières minérales. Ces produits sont d'ailleurs généralement neutres, riches en dextrose et pauvres en dextrines. Les sirops cristal doivent avoir une acidité maxima de 0 gr. 2 d'acide sulfurique pour 100 grammes et ne pas renfermer plus de 25 p. 100 d'eau, de 45 p. 100 de dextrines et de 1 p. 100 de matières minérales. Ces sirops sont riches en dextrines, plus pauvres en glucose que les produits massés.

Le rendement légal des glucoses est fixé à 29 degrés-hectolitres, mais ils fournissent en réalité un rendement qui varie de 25 à 32 degrés-hectolitres.

Les glucoses fabriqués avec de l'acide sulfurique impur sont parfois arsenicaux, et la direction de la répression des fraudes a décidé d'interdire la vente et l'emploi des glucoses contenant plus de 4 milligrammes d'arsenic par kilogramme. En réalité, les glucoses renfermant de l'arsenic sont de plus en plus rares, par suite de l'emploi de l'acide oxalique dans l'hydrolyse de l'amidon, et, quand ils en renferment, les quantités en sont si faibles qu'elles ne peuvent avoir aucune influence toxique sur l'organisme. La dose toxique de l'arsenic est, en effet, d'environ 40 milligrammes et un glucose qui renfermerait même 10 milligrammes d'arsenic par kilogramme n'introduirait, à raison de 2 kilogrammes de glucose par hecto, que deux dixièmes de milligramme d'arsenic par litre de bière, ce qui est insignifiant et ne peut avoir aucun effet toxique.

Sucre cristallisé. — L'emploi du sucre cristallisé en brasserie a sensiblement augmenté depuis 1906.

Il est certain que l'augmentation de cet emploi du sucre en brasserie serait beaucoup plus considérable si les décrets qui régissent la dénaturation du sucre et son emploi en brasserie n'entraînaient pas des formalités si gênantes pour les brasseurs.

Le rendement légal des sucres de toutes natures est fixé à 38 degrés-hectolitres par 100 kilogrammes.

Le sucre est un succédané très sain et très précieux qui présente de grands avantages.

Il réduit l'azote du moût, ce qui facilite la stabilité de la bière; il n'apporte aucun élément minéral nuisible. Il donne aux bières de la mousse, sans donner lieu à une formation de cellules de levure, et permet d'atténuer très fortement sans avoir des bières plates. Les expériences de Petit ont montré que le sucre cristallisé, ajouté en chaudière, s'invertit complètement au cours de la fermentation principale. Les bières provenant de moûts additionnés de sucre cristallisé donnent une atténuation plus forte, une fermentation secondaire plus énergique et plus prolongée; elles sont plus mousseuses et plus pétillantes. On peut se servir aussi du sucre cristallisé après la fermentation principale, pour donner de la mousse à la bière.

Légalement, les sucres blancs cristallisés doivent renfermer

plus de 98 p. 100 et moins de 99,5 p. 100 de saccharose. Les sucres de bas titrage ou sucres roux doivent en renfermer plus de 85 p. 100 et moins de 98 p. 100.

Sucre interverti. — Beaucoup de praticiens préfèrent le sucre interverti au sucre cristallisé. D'après les services de la répression des fraudes, le sucre interverti ne doit pas renfermer plus de 20 p. 100 de sucre non interverti, de 25 p. 100 d'eau et de 0,5 p. 100 de matières minérales. Son acidité maxima ne doit pas dépasser 0 gr. 35 d'acide sulfurique pour 100 grammes. Le sucre interverti peut être employé en chaudière ou à la fermentation; utilisé en chaudière, il donne des bières qui se clarifient bien et rapidement; leur maturation est plus précoce, leur atténuation plus forte. D'après Moreau, on ne doit pas dépasser une dose de 15 à 16 p. 100 du poids du malt: les doses supérieures gênent la fermentation et nuisent à la qualité de la bière. L'emploi du sucre interverti après la fermentation principale est très recommandable, surtout pour les bières qui doivent être débitées très jeunes. La majeure partie des levures de brasserie fait fermenter lentement le lévulose, de sorte que la bière reste inoffensive et pétillante.

VI. — PRODUITS ACCESSOIRES DIVERS.

Nous rattacherons à ce chapitre des matières premières l'étude de certains produits importants tels que les clarifiants, les colorants, et la poix, que la brasserie utilise en grandes quantités.

Clarifiants. — D'une façon générale, les clarifiants utilisés en brasserie sont obtenus avec de l'*isinglass* ou colle de poisson provenant de la vessie natatoire ou de divers organes de certains poissons, parmi lesquels les plus employés sont les esturgeons. On utilise également les peaux de raies et de soles.

L'*isinglass* le plus réputé est celui de Belouga: il vient de Russie et de Sibérie. On peut citer également l'*isinglass* d'Indo-Chine (Penang, Saïgon), celui de l'Amérique du Sud (Brésil, Vénézuëla, etc.), celui des Indes (Bombay, Kurrachee). Un *isinglass* de

bonne qualité se présente sous la forme de feuilles blanches ou jaunâtres, sans odeur, plus ou moins transparentes. Il doit se dissoudre à peu près complètement dans l'eau bouillante en laissant au maximum 2 à 3 p. 100 de résidu. Il existe sous ce rapport de grandes différences entre les divers produits : certaines marchandises défectueuses donnent parfois 15 à 20 p. 100 de résidu insoluble dans l'eau bouillante.

La colle doit, en outre, être saine et exempte de matières étrangères (sang, mucosités, etc.). Les prix sont souvent basés sur la couleur : les sortes les plus blanches sont les plus haut cotées, et elles donnent cependant bien souvent le même rendement que les variétés foncées. Certains lots d'*isinglass* sont blanchis à l'acide sulfureux ou à l'eau oxygénée pour leur donner une meilleure apparence et une cote plus élevée : ce traitement n'ajoute évidemment rien à leur valeur réelle. Il est toujours indispensable de s'assurer de l'odeur qui doit être saine. L'humidité de l'*isinglass* varie de 15 à 25 p. 100 : les produits les moins humides sont les plus avantageux, et il y aurait grand intérêt à stipuler un maximum d'humidité, 15 p. 100 par exemple. Les blocs du Brésil ont ordinairement 15 à 20 p. 100 d'eau.

Il est inutile de faire une analyse plus complète de la colle. On peut, cependant, en dehors des déterminations qui précèdent, essayer le rendement en colle liquide et la facilité de dissolution.

On utilise également, pour la préparation des colles, les nageoires de certains poissons. On les trouve en lanières minces : leur qualité est médiocre et leur rendement en clarifiant est faible.

Les peaux de raies et de soles, également employées en brasserie, sont vendues soit brutes, soit purifiées. Dans ce dernier cas, elles sont livrées sous la forme de rubans ou de feuilles.

Nous verrons, en étudiant le collage, quels sont les modes de préparation des clarifiants au moyen de ces divers produits.

Colorants. — Les colorants employés en brasserie sont : 1° le malt noir ou malt caramel ; 2° les colorants liquides dérivés du malt ; 3° les colorants liquides dérivés du sucre et du glucose. Nous étudierons plus loin les malts colorants dans le chapitre réservé aux malts, et nous nous bornerons à donner quelques détails sur les deux dernières classes de colorants. Les colorants liquides sont d'ailleurs beaucoup plus employés que les malts colorants, surtout en fermentation haute, car leur emploi est beaucoup plus commode et moins onéreux.

Les colorants dérivés du malt s'obtiennent en concentrant à l'état de caramel du moût de bière. Ces produits, à peu près exclusivement fabriqués en Allemagne, sont rares, chers et employés seulement par la fermentation basse.

L'emploi des colorants dérivés du sucre et du glucose est beaucoup plus répandu. En général, on les fabrique avec du sirop de glucose ou plus rarement avec du sucre, qu'on chauffe dans une

chaudière en fer jusqu'à transformation en caramel. Ce chauffage se fait en présence d'une substance minérale capable d'augmenter l'intensité de la coloration, et on emploie dans ce but ordinairement la soude caustique ou l'ammoniaque. La température de chauffage ne doit pas dépasser 200° à 205° : au dessus de cette température, il se forme des produits acides mal définis, qui occasionnent des troubles dans la bière.

Les meilleurs caramels sont de coloration moyenne, entièrement solubles dans l'eau ; ils ne doivent pas donner de précipité quand on les mélange avec la bière ; leur réaction ne doit pas être alcaline, et le fer ne doit y exister qu'à l'état de traces. La présence de produits acides, qui se forment surtout au delà de 200°, et celle des sels de fer sont, en effet, les causes principales des troubles qui se produisent dans les bières par l'addition de certains caramels.

Au point de vue législatif, les caramels sont librement introduits et utilisés en brasserie lorsque leur teneur en matières fermentescibles ne dépasse pas 7 p. 100 : au delà de cette limite, ces produits sont soumis au régime des succédanés du malt.

Poix. — La poix utilisée en brasserie provient des arbres résineux et en particulier des pins. La résine qui s'écoule de ces arbres, après avoir subi une fusion qui sépare les matières étrangères, constitue la poix brute naturelle. Cette poix renferme toutes les substances de la résine, telles que l'essence de térébenthine et des acides aromatiques, qu'il faut éliminer, car, avec les injecto-poissons modernes, ces produits ne peuvent pas disparaître aussi facilement que dans les appareils anciens à foyer ouvert, et ils donnent à la bière un goût de poix.

La distillation de la poix brute permet de séparer l'essence de térébenthine et les huiles de résines. Le résidu constitue la colophane. On conçoit que, suivant le degré et la durée du chauffage, la distillation puisse laisser subsister dans la poix une proportion plus ou moins élevée d'huile de résine.

Les poix employées en brasserie peuvent donc provenir soit de la distillation partielle de la résine, soit du mélange de la colophane avec de l'huile de résine. Dans le premier cas, la poix est souvent irrégulière au point de l'élimination de l'essence de térébenthine et des autres produits volatils ; il arrive fréquemment qu'elle donne à la bière un goût désagréable. Il est alors nécessaire de la chauffer avant emploi pour éliminer ces matières volatiles, et ce travail constitue à la fois une dépense et une perte inutiles. Le mélange de colophane avec l'huile de résine donne des produits beaucoup plus constants, dans lesquels les matières volatiles sont bien éliminées si les deux éléments constituants sont de bonne qualité.

Les colophanes ont un point de fusion qui varie de 68° à 72°. Elles ne doivent donner aucun goût à la bière, et on se base ordinairement, pour les apprécier sous ce rapport, sur le goût qu'elles donnent par agitation avec de l'alcool à 5° ; on doit percevoir tout

au plus une très légère saveur aromatique. Les bonnes huiles de résine doivent être de couleur claire, ni rouge, ni bleu vert; elles ne doivent distiller qu'à 275°-300°; leur réaction ne doit pas être acide, et elles ne doivent communiquer aucun goût à l'alcool à 5°. Les huiles de résine qui donnent un goût prononcé à l'alcool ou qui sont acides doivent être bouillies pendant longtemps, avant l'emploi, pour en éliminer les produits volatils ou acides. Cette opération est peu avantageuse, car elle entraîne une perte de substance; elle est cependant nécessaire, avec ces huiles, pour éviter les goûts de poix et l'attaque des couvercles des appareils à goudronner.

L'huile de résine peut être remplacée entièrement ou en partie par d'autres huiles, par de la cérésine ou par de la paraffine. L'emploi d'huiles telles que l'huile de lin, l'huile de vaseline est rare, il en est de même de la cérésine ou ozokérite; mais l'emploi de la paraffine s'est beaucoup répandu. L'addition de 8 à 10 p. 100 de paraffine donne une matière très souple, beaucoup moins cassante, à point de fusion élevé. La poix additionnée de paraffine est plus fluide, et on peut l'employer à moins haute température, ce qui constitue un sérieux avantage.

Lorsque la proportion de paraffine employée est plus considérable, on obtient les *laques*, utilisées surtout en fermentation haute, et renfermant jusqu'à 60 p. 100 de paraffine. Ces laques peuvent être employées à 160°, et elles donnent des enduits très souples et peu cassants.

Quand on achète une poix toute préparée, elle doit présenter, pour être de bonne qualité, les caractères suivants :

1° Elle ne doit communiquer aucun goût à la bière, et la meilleure méthode pour apprécier la poix à ce point de vue consiste à agiter mécaniquement, pendant quelques heures, dans une fiole fermée et en présence de perles de verre, de la poix pulvérisée, en suspension dans de l'alcool à 5°. On examine alors la proportion de substances dissoutes, qui doit être extrêmement faible, et on goûte le liquide, dont la saveur doit être nulle ou très faiblement aromatique. On peut aussi employer la méthode de Brand qui consiste à goudronner une cruche en bois avec la poix à essayer, et à remplir cette cruche avec de l'eau distillée qu'on goûte deux ou trois jours après.

2° La poix ne doit être ni trop dure ni trop souple. Si elle est trop molle, elle renferme ordinairement trop d'huile de résine; si elle est trop dure, elle se fendille en se refroidissant et sous l'action des chocs. La détermination du point de fusion donne sous ce rapport des indications précieuses. On l'effectue dans un tube à essai dans lequel on place la poix pulvérisée; on porte au bain-marie, on chauffe doucement et on prend le point de fusion avec un thermomètre plongé dans la poix. Dans les bonnes poix, ce point est généralement supérieur à 50°.

3° Une bonne poix doit être entièrement soluble dans l'alcool con-

centré, ou elle ne doit laisser qu'un résidu très faible. La présence de matières noires insolubles indique une poix surchauffée ou un mélange de vieille poix. On retrouve également dans le résidu des matières minérales qui sont parfois ajoutées à la poix pour la rendre opaque : oxyde de fer, chromate de plomb, sulfate de baryte.

La recherche de l'addition de vieille poix se fait en dissolvant à chaud 5 grammes de poix dans 5 centimètres cubes d'essence de térébenthine ; on ajoute ensuite 20 centimètres cubes d'un mélange de trois parties d'éther avec une partie d'essence de térébenthine. Le résidu insoluble est traité par 25 centimètres cubes d'alcool absolu pour éliminer complètement les résines qui peuvent rester adhérentes. S'il reste un dépôt, on peut y retrouver, par un examen microscopique, des matières organiques plus ou moins charbonnées et des paquets de cellules de levures, si la poix a été falsifiée avec de la vieille poix,

Les mélanges de poix et de paraffine ou de cérésine laissent dans l'alcool concentré un résidu blanc, facile à séparer par centrifugation.

4° Une bonne poix ne doit distiller qu'au-dessus de 250° en donnant un liquide aromatique et sans odeur âcre.

5° Les cendres doivent être blanches et très peu abondantes. Si elles sont jaunâtres, il est bon d'y doser le fer. La présence de fer dans la poix peut provenir soit d'un mélange avec de la vieille poix, soit de l'attaque du fer des appareils par des produits acides. Ces poix risquent de corroder le matériel de goudronnage et leurs sels de fer occasionnent, en outre, fréquemment des troubles dans la bière.

III. — MALTAGE

Le maltage a pour but de développer dans l'orge les diastases utiles pour le travail ultérieur du brassage, de donner au grain la friabilité nécessaire pour sa saccharification facile, et de lui communiquer l'arome qui doit donner à la bière son cachet et son parfum.

Ce but complexe est atteint par la germination de l'orge, pendant laquelle les diastases nécessaires se forment dans le grain, et par le touraillage qui arrête cette germination au point voulu et donne au produit l'arome cherché.

Le travail du maltage comprend cinq opérations : le travail préparatoire de l'orge, la trempé, la germination, le touraillage et le traitement du malt après touraillage.

anatomiques du grain d'orge sont indispensables à connaître pour l'étude des phénomènes physiologiques de la germination.

Si on examine une coupe longitudinale d'un grain d'orge (fig. 6), on constate qu'il est formé de trois parties principales : les *enveloppes*, l'*endosperme* et l'*embryon*. L'enveloppe extérieure est constituée par les *balles* du grain (*ps. pi*), puis viennent le *péricarde* *p* et l'*épisperme* ou *testa t*, formés tous deux de plusieurs couches de cellules à parois minces. L'*endosperme* ou *albumen*, dont une portion seulement est représentée sur la figure 6, constitue la majeure partie du grain. Il est formé surtout de cellules remplies de grains d'amidon (*s. c*) englobés dans un fin réseau de matières azotées. Cette partie amylacée est séparée du *testa* par une triple couche de cellules exemptes d'amidon, de section rectangulaire, appelées *cellules à aleurone* (*al*) et contenant des matières grasses et des grains d'aleurone noyés dans des matières azotées. L'*endosperme* est séparé de l'*embryon*, d'abord par une couche de cellules vides et comprimées (*cc*), puis par l'*épithélium d'absorption* (*ab. ep*), dont le rôle est très important dans la germination. Les cellules de cet épithélium, souvent appelées *cellules en palissade* à cause de leur disposition, sont cylindriques et allongées, et elles s'appuient d'un côté sur l'*endosperme* et de l'autre côté sur le *scutellum* (*scut*), qui est l'organe d'absorption de l'*embryon*. Indépendamment de ce *scutellum*, on distingue encore dans l'*embryon* la *plumule*, formée de la *tigelle* et de la *gemma* (*f₁ f₁ f₂ f₂*), qui se trouve à la partie supérieure, et la *radicule*, placée à la partie inférieure de l'*embryon*.

I. — TRAVAIL PRÉPARATOIRE DE L'ORGE

Magasinage. — Les orges arrivant à la malterie sont ordinairement déversées dans une trémie, d'où un élévateur et un transporteur les envoient aux greniers ou aux silos. Dans les petites installations, les orges sont parfois conservées en sacs dans les greniers : c'est une méthode très défectueuse qui expose l'orge à l'échauffement dans les années humides, et qui exige beaucoup de main-d'œuvre. En général, les grains sont conservés en tas ou en silos. Quand la conservation a lieu en tas, il faut avoir soin de maintenir propres les locaux d'emmagasinage et de ne pas donner aux tas une épaisseur de plus d'un mètre. Dans certaines grandes installations, les greniers sont superposés et leurs planchers sont munis d'ouvertures qu'on peut ouvrir ou fermer à volonté. Le grain est envoyé à l'étage supérieur, et, quand on veut l'aérer, on le

fait tomber à l'étage au-dessous en ouvrant les orifices du plancher.

La conservation en silos est la meilleure méthode : elle permet de réduire beaucoup la main-d'œuvre et la surface utilisée ; en outre, l'aération des grains se fait très aisément en faisant passer l'orge d'un silo dans un autre au moyen des appareils mécaniques ; on peut également y insuffler de l'air, à la base, au moyen d'un ventilateur. Les silos peuvent être construits en fer, mais ils sont alors coûteux, et il se produit souvent des condensations d'humidité à leur surface. Les silos en maçonnerie, qui sont souvent difficiles à construire, présentent les mêmes inconvénients. Il faut donc donner la préférence au bois, qui est généralement le plus économique ou au béton armé.

Une excellente précaution consiste à faire subir à l'orge, avant de l'emmagasiner, un premier nettoyage qui enlève les plus grosses impuretés, la plus grande partie des poussières et aère énergiquement le grain, ce qui favorise sa conservation. Ce nettoyage se fait dans un tarare, que nous étudierons plus loin.

Dans une malterie rationnelle, il faut réduire la main-d'œuvre au minimum. Les transports de grains doivent donc être faits soit par vis d'Archimède et chaînes à godets, soit par distributeurs à ruban, toiles sans fin, etc., soit pneumatiquement. Le transport pneumatique est très pratique dans les installations où l'on a de grands espaces à franchir, et aussi quand l'établissement de vis et de chaînes à godets est difficile ou irréalisable. Il peut se faire soit par aspiration, soit par pression. La dépense de force est plus grande qu'avec les autres systèmes de transports ; mais le système pneumatique peut s'adapter à des installations où aucun autre mode de transport ne peut être utilisé.

En général, dans les malteries bien comprises, l'orge est déversée dans une trémie munie d'une grille qui retient les gros corps étrangers. Un élévateur ou un appareil pneumatique l'envoie dans le tarare, qui opère un premier nettoyage ; l'orge passe alors à la bascule automatique, qui permet de se rendre compte exactement des entrées et de la freinte dans cette

première opération. Une vis d'Archimède, un distributeur à ruban ou un aspirateur pneumatique envoient alors le grain dans les silos. Ceux-ci sont disposés de telle sorte qu'on peut faire passer mécaniquement le grain d'un silo dans un autre pour l'aérer, en le laissant sortir à la base du silo sur un transporteur qui le conduit à un élévateur et à un second transporteur qui alimente les silos à la partie supérieure.

On doit évidemment éviter de mélanger dans les greniers ou dans les silos les grains de provenance et de récolte différentes.

Séchage de l'orge. — Cette opération est pratiquée normalement en Angleterre et au Danemark, soit dans des tourailles, soit dans des sécheurs spéciaux.

Les orges fraîchement récoltées sont parfois très humides et ont une tendance à s'échauffer en silos. Elles doivent, en outre, séjourner un certain temps en magasin avant de pouvoir fournir une germination régulière. Il existe, sous ce rapport, des différences sensibles entre les diverses variétés : certaines orges peuvent germer convenablement peu de temps après la récolte ; d'autres exigent un magasinage plus prolongé.

Le séchage de l'orge améliore le pouvoir germinatif, en hâtant la maturation complémentaire ; il rend la conservation meilleure en diminuant l'humidité de l'orge et en réduisant ainsi les risques d'échauffement en silos ; il produit en quelque sorte une pasteurisation du grain, en détruisant ou affaiblissant les germes de moisissures et de bactéries ; il constitue une méthode très efficace de lutte contre les charançons. Au maltage, les orges séchées se trempent plus régulièrement ; la désagrégation est meilleure, le rendement du malt en extrait est légèrement augmenté.

Le séchage est donc une opération excellente ; il est peu répandu en France, car les brasseurs sont, en général, pressés de germer et ne possèdent souvent qu'une seule touraille.

Le travail doit être conduit avec précaution, car une température trop élevée de séchage peut altérer le pouvoir germinatif. Aussi le séchage lent et ménagé est-il le meilleur. Ordinairement, on dispose l'orge sur le plateau de la touraille en couches de 10 à 15 centimètres, et on dessèche à 37°-44°, pen-

dant six heures. L'humidité est ainsi ramenée à 12-14 p. 100. Certains auteurs conseillent de monter jusqu'à 54°, graduellement, pour obtenir une conservation plus prolongée : l'humidité descend alors à 9 p. 100 environ. D'autres estiment, au contraire, qu'il est préférable de ne pas dépasser 45° et de donner au séchage une durée de vingt-quatre heures, pendant laquelle on élève graduellement la température de 25° à 45°, sous retournage mécanique continu. L'épaisseur des couches peut-être portée à 18-20 centimètres dans les tourailles qui tirent bien ; on peut même dépasser ce chiffre dans les tourailles munies du tirage artificiel.

L'expérience pratique a démontré que le pouvoir germinatif d'une orge séchée à la touraille s'améliore surtout quand on l'abandonne pendant trois ou quatre semaines au repos avant de la soumettre au maltage. Si on emploie l'orge aussitôt après le séchage, on n'observe qu'une faible amélioration du pouvoir germinatif, et il y a encore de nombreux grains qui ne germent pas. Ce repos nécessaire des orges séchées constitue un grave inconvénient pour les malteries, qui sont, en général, pressées de commencer la campagne.

Nettoyage de l'orge. — L'orge renferme toujours non seulement des poussières et des impuretés, mais aussi des graines étrangères, des grains cassés, des petits grains. Il est nécessaire de faire subir à l'orge un nettoyage pour obtenir le grain propre, seul susceptible de conduire à un bon malt. Les graines étrangères constituent un poids inutile, et elles donnent souvent mauvais goût à la bière ; les grains cassés pourrissent au germe et facilitent le développement des moisissures et des bactéries. Enfin, l'orge renferme des grains de grosseur différente : ces grains absorbent à la trempe des quantités inégales d'eau, ce qui entraîne par la suite des irrégularités de germination. Une excellente précaution consiste donc à faire suivre le nettoyage d'un triage qui divise les grains en deux catégories, qu'on malte séparément : on obtient ainsi un grain régulier pour les opérations du maltage.

Les appareils de nettoyage et de triage de l'orge sont très nombreux, mais ils s'appuient tous sur les mêmes principes. Il est préférable de renoncer au système qui consiste à réunir

en une seule toutes les machines qui doivent opérer le nettoyage et le triage ; une machine unique est toujours plus compliquée, plus difficile à surveiller, et son travail est souvent imparfait. Il est bon de superposer dans un nombre d'étages suffisant tous les appareils de nettoyage : on évite ainsi les

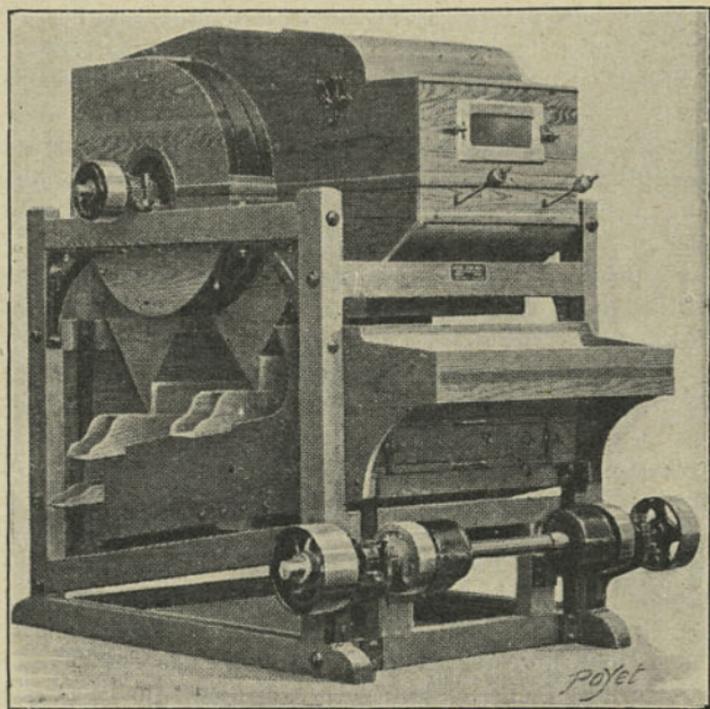
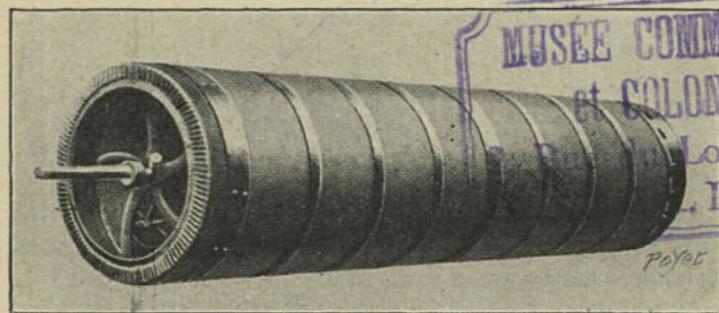


Fig. 7. — Nettoyeur aspirateur-séparateur d'orge
(Teisset-Rose-Brault, à Poissy).

élévateurs intermédiaires et on facilite beaucoup le contrôle.

Dans une installation bien comprise, l'orge, venant des silos, passe d'abord dans un appareil ébarbeur, qui détache les barbes adhérentes au grain et beaucoup de petites impuretés et qui brise les petites mottes de terre de la grosseur des grains, qui ne seraient que difficilement éliminées par les

appareils. L'orge se rend alors dans un tarare aspirateur, dont il existe de très nombreux modèles. Dans les dispositifs les plus complets, l'orge passe d'abord dans un sasseur formé d'un tamis en toile métallique animé d'un mouvement de va-et-vient, qui enlève les corps étrangers tels que cordes, pierres, morceaux de bois et de papier, etc., qui pourraient obstruer l'orifice d'entrée du grain. L'orge est alors débarrassée de ses poussières par aspiration, et un triple tamisage permet d'extraire séparément les parties lourdes, moins lourdes et légères. La figure 7 représente un nettoyeur aspirateur sépa-



[Fig. 8. — Cylindre trieur (Teisset-Rose-Brault, à Poissy).

rateur de la maison Teisset-Rose-Brault, avec triple tamisage et double aspiration.

Dans certains appareils, ces opérations se font d'une manière un peu différente. L'orge passe d'abord dans un épierreur : cet épierreur se compose d'un tambour rotatif formé sur les trois quarts de sa longueur d'une toile métallique serrée et, sur le reste, d'une tôle perforée. La première partie laisse échapper la poussière, le sable et les petites pierres ; l'orge passe par les fentes de la tôle, et les gros corps étrangers sortent par l'extrémité du tambour. L'orge passe alors dans un second tambour dans lequel tourne un arbre muni de bras : les grains sont ainsi frottés les uns contre les autres, et les poussières se détachent. La masse passe alors au ventilateur, qui sépare les impuretés légères.

L'orge, ainsi nettoyée de ses impuretés et de ses poussières, passe alors dans des trieurs cylindriques destinés à séparer les graines longues, l'avoine, les orgettes, puis dans les trieurs à alvéoles qui éliminent les grains cassés et les graines rondes. Le trieur à alvéoles (fig. 8) se compose d'un cylindre incliné tournant à une vitesse maxima de 14 à 16 tours à la minute et portant des cavités à section circulaire ou elliptique. L'orge chemine dans cet appareil; les grains cassés et les graines étrangères se logent dans les alvéoles, et, quand la rotation

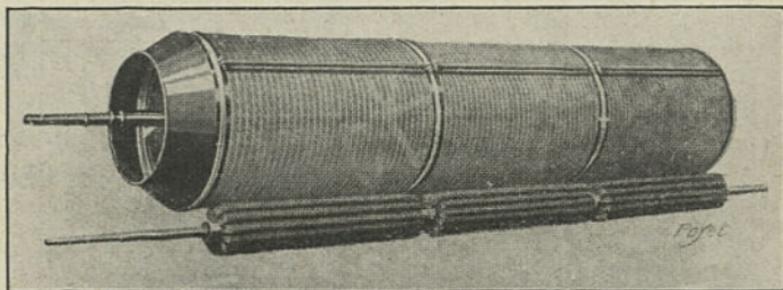


Fig. 9. — Cylindre cribleur, calibreur diviseur
(Teisset-Rose-Brault, à Poissy).

les a amenés à la partie supérieure du cylindre, elles tombent dans une noyère centrale où se meut une vis d'Archimède qui les conduit au dehors. Pour éviter que les grains entiers soient également amenés à la partie supérieure du cylindre, le conduit central porte un couteau en tôle qui appuie sur la paroi interne du cylindre et fait retomber dans le trieur tous les grains qui dépassent le niveau des alvéoles.

Les grains tombent alors dans un second trieur qui les classe par grosseur : il est formé, en général, de tôle percée de fentes dont les dimensions permettent de séparer l'orge en deux ou trois catégories. Le cylindre frotte sur des brosses pour éviter l'obstruction des orifices. On utilise aussi des trieurs plats formés de tringles métalliques à écartement varié; ces trieurs possèdent une surface utile plus grande que les trieurs à cylindres.

La figure 9 représente un cylindre cribleur, calibreur diviseur, de la maison Teisset-Rose-Brault.

Muni de tôles perforées interchangeables, il permet le classement des grains en plusieurs grosseurs. Une brosse réglable assure le nettoyage des tôles. On construit également des calibreurs à mailles ajustables, dans lesquels on peut modifier l'écartement des mailles au moyen d'une manivelle. On évite ainsi de recourir aux tôles perforées de rechange.

Dans les grandes malteries, on prévoit ordinairement des trieurs à déchets qui permettent d'extraire des déchets le bon grain qui a pu y être entraîné et de classer, en outre, les déchets en catégories, qui se vendent séparément beaucoup plus cher qu'en mélange. Certains dispositifs permettent ainsi la séparation des grains cassés et des grains ronds, des grainés étrangers, etc. La figure 10 représente un classeur Tobogan, construit par la maison Teisset-Rose-Brault, fonctionnant sans aucune force motrice et n'occupant

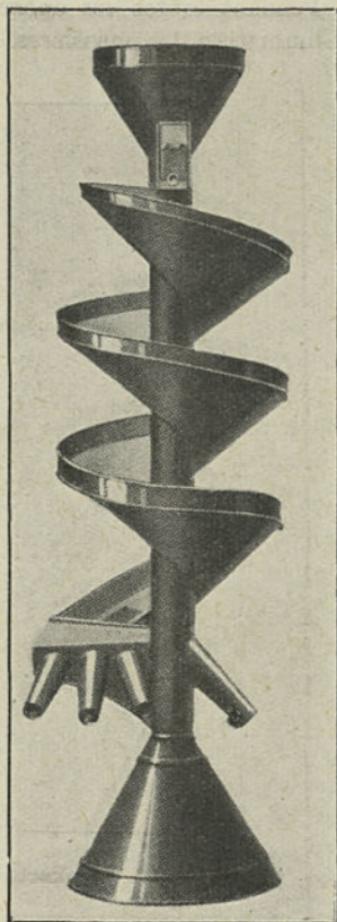


Fig. 10. — Classeur Tobogan pour déchets (Teisset-Rose-Brault, à Poissy).

qu'un espace de 70 centimètres au carré et une hauteur de 1 m. 85 à 2 m. 80. Les graines tombent d'une trémie sur une descente spirale en tôle où, suivant leur poids, leur forme et

leur volume, les graines du mélange prennent des vitesses différentes. Elles se classent ainsi automatiquement par catégories.

Pendant toutes ces opérations, il faut veiller avec soin à l'élimination des poussières. Dans certaines installations, on

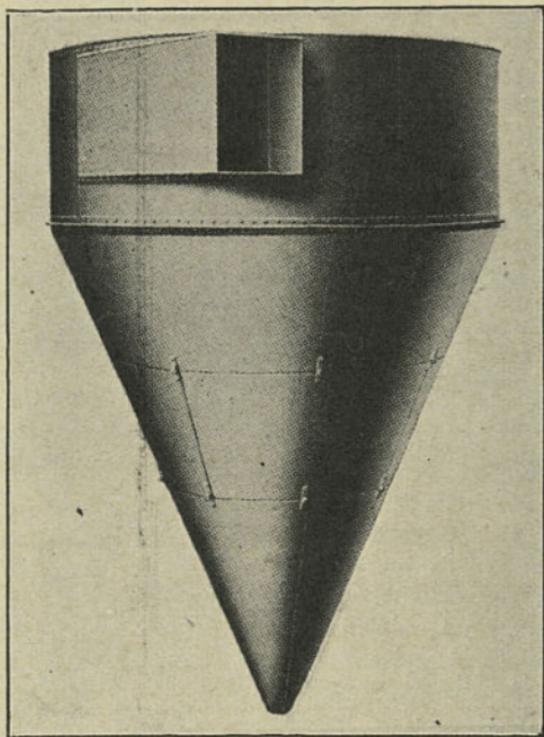


Fig. 11. — Collecteur à poussières Cyclone.]

fait souffler les ventilateurs des appareils dans une chambre à poussières ; mais il faut alors des locaux énormes et, malgré les chicanes qu'on y place, l'arrêt de la poussière est toujours imparfait. On emploie beaucoup aujourd'hui le Cyclone (fig. 11), grand cylindre de tôle dans lequel l'air impur est introduit tangentiellement et portant à l'intérieur un deuxième cylindre court, dirigé vers le bas et ouvert à ses deux extrémités. Le

Le cylindre extérieur se prolonge en bas par un cône de tôle pourvu à son sommet d'un petit orifice. L'air introduit dans le cylindre extérieur est animé d'un mouvement giratoire et s'échappe par le cylindre intérieur. Les poussières descendent en spirale le long de la surface intérieure du cône et tombent par l'orifice inférieur.

Cet appareil donne de très bons résultats avec les poussières lourdes, et à condition qu'il n'y ait qu'une seule machine qui y insuffle de l'air. Il est insuffisant pour les poussières légères; ils'en échappe toujours une certaine partie avec l'air; aussi est-il nécessaire de prévoir un conduit évacuant cet air au dehors.

On emploie beaucoup aussi, pour retenir les fines poussières, les filtres à boyaux, constitués par des tubes en tissu à mailles larges, à travers lesquels l'air est aspiré ou refoulé. Ces tubes sont plus ou moins gros suivant la nature des poussières à retenir. Les poussières des premières machines de nettoyage, tels que tarares, qui sont très chargées de pailles, demandent des tubes assez gros pour éviter les obstructions. Les fines poussières peuvent être séparées dans des tubes de plus petit diamètre.

Dans ces appareils (fig. 12), l'air chargé de poussières arrive dans la caisse supérieure, se rend dans les boyaux verticaux et traverse à l'extérieur en abandonnant ses poussières. Celles-ci s'accumulent sur les toiles; on les détache au moyen d'un système de nettoyage composé essentiellement d'un tissu métallique à larges mailles qui se meut verticalement en ratissant la surface du boyau. La poussière tombe dans un collecteur, d'où une vis d'Archimède la conduit dans des sacs.

Le filtre à aspiration se compose d'un faisceau de boyaux suspendu verticalement dans l'intérieur d'un manteau qui se termine à sa partie inférieure par un entonnoir collecteur. L'air aspiré se détend dans cet entonnoir et y dépose une partie de ses poussières; puis le vide produit dans le tuyau d'aspiration placé au niveau supérieur du filtre force l'air à traverser le tissu des boyaux qui sont fermés à leur extrémité supérieure et à s'échapper ainsi le long de la surface intérieure du manteau. Le nettoyage des boyaux se fait périodiquement et par faisceaux à l'aide d'un agitateur qu'on fait fonctionner

après avoir supprimé l'aspiration, de sorte que la poussière

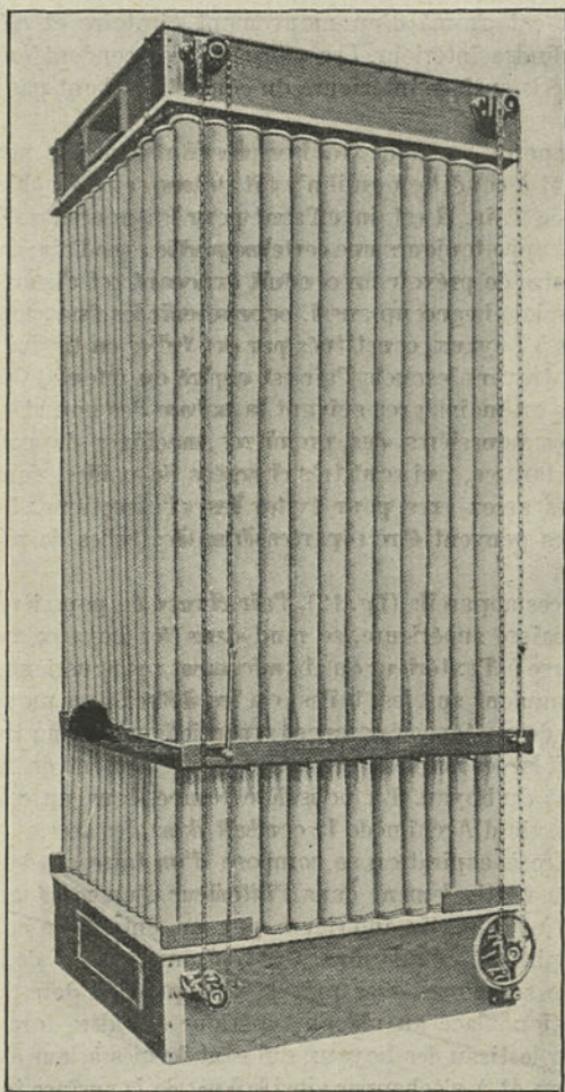


Fig. 12. — Collecteur de poussières à air refoulé
(Teisset-Rose-Brault, à Poissy).

détachée descend dans l'entonnoir collecteur et dans l'hélice qui la conduit au dehors. Ces filtres à aspiration coûtent plus cher que les filtres à refoulement, et ils dépensent plus de force; mais, comme le nettoyage n'a pas lieu sous pression d'air, ils exigent une surveillance moins sévère.

La meilleure méthode d'élimination des poussières, pour les installations importantes, paraît être la combinaison du cyclone, dans lequel on refoule l'air impur, et de l'aspiration de l'air qui en sort à travers un filtre à boyaux, qui retient toutes les poussières légères.

L'orge sortant des appareils de nettoyage doit être bien propre : les poussières enlevées ne doivent pas contenir de bon grain, ce qui indiquerait une ventilation trop puissante, qu'il faudrait réduire. Les déchets du trieur à alvéoles ne doivent pas renfermer de grains entiers : si ce fait se produit, il faut réduire l'alimentation, diminuer la vitesse de rotation du cylindre, ou veiller à la position et à la qualité du couteau.

Cette opération du nettoyage n'est pas toujours faite avec tout le soin voulu. Beaucoup de petits brasseurs ne peuvent pas se décider à installer des appareils à nettoyer et à trier l'orge, estimant que la dépense est trop élevée : on évite cependant bien des ennuis avec ces dispositifs, qui permettent d'obtenir un grain homogène et propre et un maltage parfaitement régulier.

II. — TREMPE

Le but principal de la trempe est de fournir au grain la quantité d'eau et d'oxygène nécessaires pour le travail industriel de la germination. La proportion d'eau indispensable pour la germination en elle-même est assez faible, mais cette quantité serait insuffisante dans le travail industriel, où le grain doit renfermer assez d'eau pour rester en germination active pendant sept à huit jours.

Mais la trempe ne se borne pas à une simple fixation d'eau; elle nettoie le grain par lavage, en enlevant les grains légers et certaines impuretés; elle est, en outre, accompagnée de certains phénomènes chimiques et biologiques qui ont une grande

influence sur la nature du malt. La marche ultérieure de la germination, la désagrégation du grain dépendent étroitement de la trempe.

Phénomènes qui se produisent pendant la trempe. — Fixation d'eau par le grain. — Le grain plongé dans l'eau s'imbibé d'abord très rapidement; puis la fixation d'eau diminue et, au bout de trente à quarante heures, elle devient très lente. Luff a montré, par exemple, qu'une orge à 46 p. 100 d'eau, soumise à la trempe, renfermait :

	Eau.
Après 13 heures	30,1 p. 100
— 36 —	35,7 —
— 61 —	39,5 —
— 84 —	42,1 —

On voit donc que la fixation d'eau est très rapide dans les premières heures; mais il se produit, dans les heures qui suivent, indépendamment d'un léger complément d'absorption d'eau, une régularisation de la répartition de l'humidité dans les diverses parties du grain. Luff a observé, en effet, que c'est surtout aux extrémités du grain et du côté de l'embryon que l'eau est fixée: l'humidité n'est pas également répartie dans les différentes portions du grain, et les tissus qui avoisinent l'embryon sont toujours plus imbibés que ceux des parties centrales. Par exemple, Luff a trouvé la répartition suivante: base du grain, 47 p. 100 d'eau; milieu, 38 p. 100; pointe, 39 p. 100.

La pression d'eau n'a pas d'influence sur le phénomène (Bleisch, Luff): les couches du bas, dans une cuve à tremper, sont donc, au point de vue de la fixation d'eau, dans les mêmes conditions que celles du haut. La teneur en eau de l'orge n'influe pas non plus, d'après Luff, sur la marche et la durée de la trempe. Enfin les petits grains fixent l'eau plus vite que les gros: il en résulte qu'une orge à gros grains exige plus de trempe, pour arriver au même taux d'humidité, qu'une petite orge.

La trempe est d'autant plus rapide que la température de l'eau est plus élevée. Luff a constaté que quarante heures à 20° donnent le même résultat que soixante-trois heures à 45° et quatre-vingt-dix heures à 10°. Baker et Dick ont trouvé des résultats analogues, mais moins accentués. La réduction de la durée de la trempe peut être très considérable quand l'opération comporte une immersion dans l'eau à 40°-45°, comme nous le verrons plus loin.

Phénomènes chimiques et biologiques. — Nos idées sur les phénomènes chimiques qui se passent pendant la trempe ont été modifiées dans ces dernières années par les importants travaux d'Adrian J. Brown. Ce savant a montré que la membrane qui

entoure le grain d'orge et constitue une partie de l'enveloppe fonctionnelle comme membrane semi-perméable et protège le grain contre la pénétration des substances salines de l'eau. Avec les grains entiers, il n'y a donc pas de réactions, comme on le croyait, entre les sels de l'eau et certains éléments du grain, et notamment les composés phosphorés : tout se borne à de simples échanges d'eau, et des réactions ne peuvent se produire qu'avec les grains cassés ou à enveloppes déchirées. L'action de l'eau est donc limitée à l'enveloppe elle-même, et elle n'en est pas moins importante. Nous avons vu, en effet, en étudiant les eaux, que Seyffert a montré le rôle considérable des sels de chaux sur la dissolution des tanins et des substances amères de l'enveloppe de l'orge. Ces sels forment avec les substances amères des combinaisons solubles, et l'emploi d'une eau calcaire pour la trempe conduit à la production de malts sucrés, colorés, exempts de toute âcreté, du genre Munich. Les eaux très douces, pauvres en calcaire et en gypse, donnent au contraire des malts pâles, non sucrés, du genre Pilsen.

Les éléments de l'orge dissous par l'eau de trempe proviennent donc presque exclusivement des enveloppes du grain. D'ailleurs A. J. Brown a montré que ces pertes ont lieu en grande partie pendant les six premières heures de trempe : or, pendant cette période, la pénétration de l'eau dans l'endosperme est encore très minime. Les éléments dissous sont constitués principalement par des pentosanes, des gommes, des matières azotées solubles et quelques matières minérales. Cette perte varie de 0,5 à 1,7 p. 100 du poids du grain, et elle varie surtout avec la nature de l'orge. Les orges à enveloppes épaisses donnent une perte plus grande que les orges à enveloppes fines. Le caractère de l'eau intervient également, comme nous l'avons vu plus haut.

La trempe amène en outre des transformations chimiques dans le grain, principalement sous l'action de diastases. On trouve qu'il y a un léger accroissement des sucres réducteurs et du saccharose : l'acidité organique augmente également. D'après Windisch et Vogelsang, les combinaisons organiques de l'acide phosphorique sont en partie hydrolysées par voie diastasique pendant la trempe.

La trempe a pour résultat de réveiller la vie ralentie de l'embryon : on constate, en effet, un dégagement d'acide carbonique, indice d'une respiration sensible. Bleisch et Will ont montré que ce dégagement d'acide carbonique est d'autant plus intense que la trempe est plus avancée et qu'il devient très actif à la fin. Niemczyk a vu que la proportion d'acide carbonique peut atteindre jusqu'à 42 p. 100 au fond de la cuve et 15 p. 100 à 25 centimètres au-dessous de la surface, après quatre-vingts heures de trempe et dans l'heure qui suit la vidange de l'eau. Ces chiffres montrent la nécessité de l'aération du grain. Le dégagement d'acide carbonique se fait surtout quand le grain est à découvert, mais il se produit activement aussi quand l'orge est immergée.

Pratique de la trempe. — On peut distinguer deux modes de trempe, la trempe ordinaire et la trempe avec aération.

Trempe ordinaire. — La trempe ordinaire, qui est assez répandue en France, s'effectue dans des cuves appelées *cuves-mouilloires*, tantôt en maçonnerie cimentée, de section rectangulaire, tantôt en tôle, de forme cylindro-conique. À la partie supérieure se trouve le tuyau d'arrivée de l'eau, à la partie inférieure un tuyau de vidange pour l'eau et une soupape de déchargement qui permet d'évacuer l'orge trempée. Un orifice grillagé placé au niveau du tuyau de vidange permet l'écoulement de l'eau et empêche l'entraînement du grain.

Ce dispositif est surtout adopté pour les cuves en maçonnerie. Les grandes cuves à fond plat, placées dans les germoirs, ont l'inconvénient d'entraîner une perte d'espace pour les couches et d'exiger beaucoup de main-d'œuvre pour la vidange à la pelle.

On utilise surtout aujourd'hui les cuves cylindro-coniques en tôle. L'eau y arrive le plus souvent par le dessous et peut s'écouler par un trop-plein situé à la partie supérieure (fig. 13). Cette disposition est préférable, car elle assure mieux l'élimination des poussières et des impuretés qui adhèrent au grain.

Pour éviter une main-d'œuvre inutile, on cherche à placer autant que possible les cuves à tremper au-dessus du germoir, de manière à pouvoir vider directement l'orge trempée sur le sol du germoir. Il est bon, dans ce cas, de réserver pour les cuves un local clos, pour les protéger contre les variations de température.

Une condition essentielle de bonne construction des cuves à tremper est de posséder les tuyaux et orifices nécessaires pour un remplissage et une vidange très rapides de l'eau. L'opération doit pouvoir se faire en vingt minutes au maximum, pour avoir une trempe régulière. Dans certaines cuves mal comprises, il faut plus d'une heure pour la vidange de l'eau et plus encore pour le remplissage : les couches inférieures sont alors beaucoup plus trempées que les couches supérieures, et le grain germe irrégulièrement.

L'opération s'effectue ordinairement de la façon suivante :

on remplit d'abord la cuve d'eau jusqu'à un niveau déterminé par la quantité d'orge à mouiller, puis on fait tomber lentement le grain en agitant avec des perches. Pour éviter que les grains légers ne soient entraînés dans les profondeurs, on peut attacher une planche au-dessous du tuyau de descente, de manière qu'elle flotte à la surface de l'eau. L'orge qui tombe glisse ainsi latéralement et ne peut entraîner les grains légers avec elle. Le niveau de l'eau doit être finalement un peu

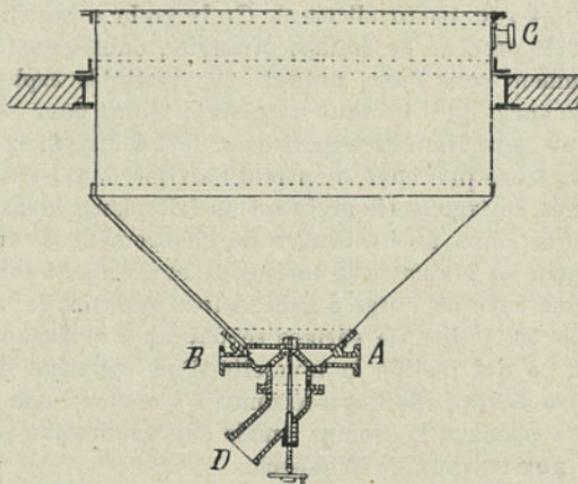


Fig. 13. — Cuve à tremper cylindro-conique (Crépelle-Fontaine).

supérieur à celui de l'orge. Après un repos de quelques instants, on écume les impuretés de la surface, constituées surtout de grains vides, qu'on recueille pour les vendre à part. La première eau est généralement très sale, et on l'évacue au bout d'une à deux heures. On la remplace par d'autre eau qu'on renouvelle en moyenne toutes les douze heures. L'eau de trempé s'altère, en effet, assez rapidement, et, en été, il est préférable de changer l'eau plus fréquemment, par exemple toutes les huit heures. L'évacuation de l'eau doit avoir lieu par le bas, ce qui permet la pénétration de l'air dans le grain, et non pas par le haut, car dans ce dernier cas le renouvelé-

ment se ferait sans aération et avec une forte dépense d'eau. L'opération se fait ordinairement à la température de 10° à 12° C., et elle se prolonge pendant un temps variable de cinquante à cent vingt heures, suivant les conditions que nous étudierons plus loin.

Trempe avec aération. — Il est certain que la méthode précédente ne donne au grain qu'une quantité très limitée d'oxygène : celle qui est dissoute dans l'eau. En effet, on a coutume de laisser très peu d'intervalle entre l'écoulement de l'eau et son renouvellement. Or le grain a besoin d'oxygène, et le procédé de trempe ordinaire, dans lequel il reste constamment sous l'eau, produit une véritable asphyxie du grain, de sorte qu'il lui faut un certain temps pour se développer au germe. Les expériences de Niemszyk, que nous avons signalées plus haut, montrent bien que, dans les méthodes ordinaires de trempe, le grain est en fait plongé dans l'acide carbonique dans les intervalles de changement d'eau. Si on fait germer les grains de la surface et les grains du fond dans une même cuve où l'orge a subi la trempe ordinaire, on constate que les grains de surface se développent davantage au germe, ce qui justifie la nécessité d'une aération régulière pendant la trempe. Balling a reconnu le premier l'avantage de l'aération pendant la trempe ; mais son application pratique est due aux travaux de Windisch.

La méthode consiste à fournir à l'orge, entre chaque renouvellement de l'eau de trempe, un large contact avec l'air pour compenser l'influence défavorable du séjour sous l'eau. On peut ainsi utiliser le temps mort qui s'écoule entre le décuver et le piquage de l'orge, car l'air fait partir la germination plus vite, et le grain peut piquer dans la cuve à tremper. Le mode de travail peut être par exemple le suivant : faire tremper le grain pendant douze heures, renouveler l'eau et laisser encore l'orge immergée pendant douze heures ; évacuer l'eau et laisser à découvert en aérant pendant dix heures ; remettre l'orge sous l'eau pendant deux heures et laisser ensuite huit ou dix heures à découvert en aérant ; et ainsi de suite pendant vingt-quatre à trente-six heures, en alternant les périodes d'aération et d'immersion. On peut encore faire tremper l'orge

douze heures, puis effectuer des périodes alternatives de quatre heures à découvert avec aération et de deux heures sous l'eau, pendant quarante-huit heures. Il faut avoir soin de donner à la couche, pour le début du travail au germoir, la même épaisseur que celle qu'on lui donne le troisième jour avec le travail ordinaire, et ne pas la tenir aussi épaisse qu'au début, si on ne veut pas voir la couche se faner trop tôt.

Les avantages de ce mode de travail, qui s'est beaucoup répandu aujourd'hui, sont les suivants, d'après Windisch. On arrive à gagner deux jours sur le temps que l'orge met à piquer; on peut ainsi prolonger la durée de germination effective sans augmenter la dépense de temps, germer à plus basse température et obtenir un malt de meilleure qualité. En outre, quand le grain a déjà commencé à piquer au sortir de la cuve, son développement est plus régulier et plus tranquille, et on maintient plus facilement les couches froides au germoir. Enfin la perte au maltage est diminuée de 2 à 3 p. 100 en moyenne, probablement par suite de la disparition de la respiration intracellulaire dans l'orge constamment noyée, et de la régularité plus grande de la germination; et les malts ainsi obtenus fournissent un rendement en extrait plus élevé, ce qui est évident, puisque la perte au maltage, qui porte surtout sur l'amidon, se trouve réduite.

A l'origine, Windisch a conseillé de laisser le grain quelques heures à l'air entre chaque changement d'eau. Puis on a recommandé d'installer au fond de la cuve un tuyau percé de trous par lequel on injecte de l'air dans le grain à découvert. Mais, dans ces conditions, l'aération se fait parfois irrégulièrement et conduit à une germination d'activité variable. On évite facilement cet inconvénient en aérant énergiquement le grain, avec l'air sous pression, cinq minutes avant chaque vidange de l'eau de trempage, de manière à produire un mélange énergique des couches de grain et à modifier l'arrangement de ces couches à chaque opération. Il existe plusieurs dispositifs qui permettent de mélanger ainsi les couches. La figure 14 représente une installation de ce genre. La cuve à tremper porte plusieurs tuyaux munis à leur base d'un injecteur d'air et à la partie supérieure d'un chapeau conique à

deux filetages permettant, suivant qu'il est vissé d'un côté ou de l'autre, de mettre le tuyau en communication avec l'extérieur ou de le boucher. Les chapeaux étant vissés sur les tubes de manière à les mettre en communication avec l'extérieur, on envoie l'air sous pression par les injecteurs inférieurs ;

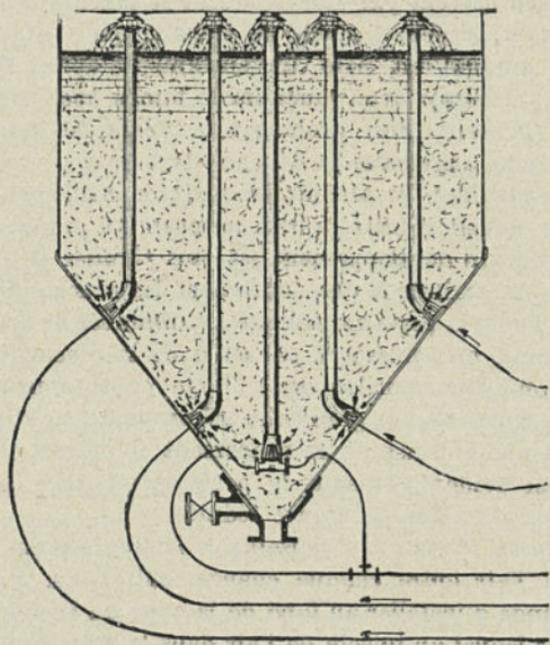


Fig. 14. — Cuve pour le lavage et le trempage de l'orge avec aération (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville).

cet air entraîne l'eau et les grains par les orifices ménagés à leur base et provoque à l'intérieur des tubes une forte circulation d'eau et d'orge dont les grains sont rejetés à l'extérieur en passant par les chapeaux coniques supérieurs. Ce dispositif peut également servir pour le lavage, comme nous le verrons plus loin. Pour aérer le grain, on évacue l'eau de la cuve ; les chapeaux supérieurs de chaque tube sont vissés de manière

à boucher les tuyaux, et l'air comprimé, ne trouvant plus d'issue à la partie supérieure, se répand dans la masse du grain en l'aérant énergiquement.

Températures de trempe. — Dans le travail ordinaire, on considère que la meilleure température de l'eau pour le mouillage est de 10° à 13°. Au-dessous, l'opération dure trop longtemps, et la puissance germinative du grain diminue.

De nombreuses études ont été faites, dans ces dernières années, sur la trempe à température plus élevée. Windisch a d'abord préconisé l'emploi de l'eau à 20°, permettant de réduire de beaucoup la durée de la trempe. Mais, à cette température, l'altération de l'eau est rapide, et il est alors nécessaire d'utiliser l'eau de chaux à la trempe, comme nous le verrons plus loin.

Somlo a attiré le premier l'attention sur la trempe chaude et fait breveter un procédé suivant lequel on fait tomber l'orge dans l'eau à 56°, de manière à avoir finalement une température de 50°. Une insufflation d'air, prolongée pendant quinze minutes, ramène la température à 46°. On chasse alors l'eau chaude, en huit à dix minutes, par de l'eau à 8° et on termine la trempe comme d'ordinaire, avec des alternatives d'immersion et d'aération.

Cette méthode a été étudiée surtout en Allemagne, où elle a été employée sous beaucoup de noms, sauf sous le nom de l'inventeur. Les résultats obtenus ont été assez contradictoires. Certains expérimentateurs et notamment Moufang, Funnrohr, Moufang et Vitter, ont observé une action favorable : amélioration de la couleur et de la saveur, surtout pour les bières pâles à cause de l'enlèvement plus complet des substances amères de l'enveloppe, réduction de 0,8 à 1,7 p. 100 de la perte au maltage, et de près de la moitié de la durée de la trempe, amélioration du pouvoir germinatif. Suivant Gangloff, le temps gagné à la trempe chaude est perdu au germe, car l'orge pique généralement avec un retard de douze à dix-huit heures, et il n'y a aucune réduction de la perte au maltage : le seul avantage de la trempe chaude consiste en une diminution du nombre des manquants. Enfin Bleisch, dans ses expériences effectuées à Weihenstephan, Goldacker et d'autres

auteurs, n'ont observé aucun avantage en faveur de la trempe chaude.

En général, les praticiens de ce mode de travail recommandent de ne faire le traitement à l'eau chaude qu'au début, tant que le grain n'a pas absorbé plus de 33 à 35 p. 100 d'eau; les grains déjà trempés sont beaucoup plus sensibles aux températures élevées. La température la plus favorable paraît être de 40°, prolongée pendant soixante à quatre-vingt-dix minutes. La durée de l'action de l'eau chaude doit être d'autant plus réduite que la température est plus élevée : Moufang donne comme durée optima quatre heures à 30°, deux heures à 35°, quatre-vingt-dix minutes à 40°, une heure à 45°, trente minutes à 50°, quinze minutes à 55°, huit minutes à 60°. En réalité, il existe pour chaque orge une température et une durée optima de la trempe chaude, la sensibilité variant beaucoup suivant les grains. Une température un peu trop élevée ou une durée un peu trop longue de contact peut compromettre beaucoup la germination et donner des mûlts plus riches en protéine assimilable. Quand le grain a séjourné dans l'eau chaude le temps voulu, on envoie rapidement de l'eau froide par le bas, de manière à abaisser très vite la température. Le grain bien refroidi est laissé six à huit heures à l'air, puis trempé par immersion et aération alternatives.

Cette méthode ne s'est pas répandue en France : ses avantages sont, en effet, jusqu'ici assez mal établis; elle nécessite une installation spéciale pour l'arrivée très rapide de l'eau froide et l'évacuation, également très rapide, de l'eau chaude; enfin, elle est délicate et expose à des difficultés de germination si elle n'est pas très rationnellement conduite.

Lavage des grains. — Dans la trempe ordinaire, l'élimination des poussières adhérentes à l'orge se fait mal, car ces impuretés se détachent très difficilement. Pour les éliminer, il est nécessaire d'avoir recours à des appareils spéciaux de lavage, qui sont souvent joints à la cuve à tremper. Tel est le cas de l'appareil représenté à la figure 14, dans lequel on peut effectuer le lavage du grain en ouvrant les tuyaux à leur partie supérieure et en injectant de l'air comprimé. Parfois, on utilise une cuve spéciale pour le lavage, intercalée entre les autres

cuves à tremper. D'autres laveurs se composent, comme ceux de sucrerie, d'une auge où tourne un arbre à ailettes. Cette opération achève le nettoyage du grain : elle est plus efficace si on l'effectue non sur l'orge sèche, mais sur l'orge déjà gonflée par vingt-quatre ou trente heures de trempage. Il est donc tout à fait rationnel d'intercaler le laveur entre les trempoirs.

Emploi d'antiseptiques à la trempé. — Les dangers que présentent pour le malt son envahissement par les moisissures et l'altération de l'eau de trempé ont suggéré l'idée d'employer à la trempé certains antiseptiques.

Windisch a préconisé le traitement par l'eau de chaux, qui améliore l'énergie germinative, donne aux orges une coloration plus claire et empêche le développement des moisissures au germoir. On peut, en outre, sans inconvénients, employer à la trempé de l'eau plus chaude, 20° par exemple, et réduire ainsi la durée de l'opération, car l'altération de l'eau de trempé est beaucoup moins à craindre. Il suffit de placer au-dessus des cuves mouilloires un réservoir où on met de l'eau au contact d'un excès de chaux. L'eau de chaux, bien décantée, sert au premier mouillage, mais Windisch a montré qu'on peut sans inconvénients l'employer pendant toute la durée de la trempé. Ce travail à l'eau de chaux s'est répandu en Allemagne, et certains malteurs français l'utilisent avec avantage, surtout pour le traitement des orges mouillées ou défectueuses. Il expose cependant à la production de malts moins acides : l'eau de chaux ne pénètre pas dans les grains entiers, mais elle peut atteindre les grains endommagés, et elle détruit, en outre, les microbes producteurs d'acide.

Cerny, Pestinsky ont signalé l'influence favorable du chlorure de chaux, ajouté pendant les vingt-quatre dernières heures de trempé à raison de 10 kilogrammes de chlorure de chaux dissous dans 1 hectolitre d'eau pour 50 hectolitres d'eau de trempé. D'après ces auteurs, la couleur du malt est plus pâle, le pouvoir germinatif est augmenté, et la production de moisissures est entravée. Seiffert estime que deux heures de contact suffisent pour obtenir ce résultat. Barth a cependant signalé que ce traitement donne parfois au malt une saveur

pénétrante, qui disparaît à la fermentation, mais qui doit inspirer la prudence dans l'emploi de ce produit.

Enfin, Kukla a montré que l'emploi de l'acide sulfureux à la trempe en raccourcit la durée, augmente le pouvoir germinatif et l'azote coagulable.

Circonstances qui influent sur la durée de la trempe. — Les circonstances principales qui influent sur la durée de la trempe sont la température de l'eau, la nature de l'orge, la qualité de l'eau et les caractères du malt à produire.

Nous avons examiné plus haut l'influence de la température et vu que la trempe est d'autant plus longue que la température de l'eau est plus basse. La durée de l'opération peut-être réduite de moitié avec la trempe chaude.

La nature de l'orge a une grande influence. Une orge à gros grains demande d'abord une trempe plus prolongée qu'une orge à petits grains. En outre, certaines orges sont dures et se laissent difficilement pénétrer par l'eau. Tel est le cas des orges vitreuses et des orges à enveloppes épaisses qui demandent souvent vingt à quarante heures de trempe de plus que les orges fines, tendres et farineuses.

En réalité, la durée normale de la trempe pour une orge doit être celle qui correspond à l'énergie germinative la plus grande. On peut la déterminer par des essais de germination sur des lots de 25 grammes d'orge trempée en cuvettes plates pendant vingt-quatre, quarante-huit, soixante-douze et quatre-vingt-seize heures. Ces essais se font à 18°-20°, après égouttage, dans un appareil à germination et on compte les grains piqués au bout d'un, deux, trois ou quatre jours; on en déduit, pour chaque durée de trempe, le nombre de grains piqués pour 100, c'est-à-dire l'énergie germinative. D'après Schjerning, la durée de trempe la plus longue donnant l'énergie maxima doit être le temps adopté pratiquement. Une orge dont la durée normale de trempe ainsi évaluée est trop courte pour permettre une absorption d'eau suffisante ne convient pas à la malterie. Une bonne orge ne doit atteindre son maximum d'énergie germinative qu'après quarante-huit heures de trempe.

La nature de l'eau influe peu sur la durée de la trempe. Les

eaux calcaires trempent cependant moins vite le grain que les eaux douces.

Enfin la trempe doit être plus prolongée pour les malts foncés, genre Munich. Les malts à plumule courte, recommandés pour la fabrication des bières pâles, demandent au contraire une trempe plus courte.

On peut considérer en moyenne que par les méthodes ordinaires le mouillage est court quand il dure soixante heures, moyen quand il dure quatre-vingts heures et long quand il dure cent heures et plus.

Caractères d'une bonne trempe. — On se contente le plus souvent, pour contrôler si le grain est assez trempé, de signes d'ordre pratique : 1^o le grain pressé entre les deux doigts doit se comprimer facilement, et l'enveloppe doit pouvoir se détacher du reste du grain ; 2^o le grain ne doit pas offrir de résistance quand on l'écrase entre les dents ; 3^o quand on cherche à plier un grain sur l'ongle, il doit s'infléchir sans se briser, et l'enveloppe se détache ; 4^o coupé en deux et frotté contre un corps rugueux, il doit laisser un trait blanc comme la craie ; 5^o en coupant le grain longitudinalement suivant sa face ventrale, on doit trouver l'intérieur entièrement imbibé d'eau, à l'exception d'une bandelette étroite qui doit disparaître après vingt-quatre heures de séjour au germe. Ce dernier caractère est le meilleur.

On peut également calculer la proportion d'eau absorbée par le grain, soit en pesant mille grains avant et après la trempe, soit en déterminant l'augmentation de poids de 1 kilogramme d'orge placé dans un vase taré et plongé dans la cuve à tremper. On compte ordinairement que la proportion d'eau absorbée doit être de 52 à 54 p. 100 du poids du grain pour les malts foncés, et de 45 à 50 p. 100 pour les malts pâles.

On doit avoir soin de ne pas trop prolonger la trempe. Si l'orge est trop trempée, les germes se développent énormément, le feutrage se manifeste très vite et les grains sont trop développés quand on les monte à la touraille : on obtient un malt pauvre en extrait, qui se comporte anormalement au brassage. Une orge insuffisamment trempée sèche en germant, et les couches se fanent au bout de quatre à cinq jours. On doit

donc se tenir avec soin entre les limites convenables, car tous les procédés de travail qu'on peut adopter au [germoir sont sous la dépendance directe de la trempe que le grain a subie.

Dans tous les cas, il faut surtout éviter un excès de trempe. Une insuffisance de mouillage peut encore se réparer au germoir par des arrosages, tandis qu'il n'y a plus aucun remède contre un mouillage exagéré.

III. — GERMINATION

La germination a pour objet de produire ou de mettre en liberté dans le grain toute une série de diastases nécessaires pour les transformations que doit subir le grain pendant le maltage (désagrégation, formation de sucres, solubilisation des matières azotées) et pour le travail ultérieur du brassage (saccharification de l'amidon, dégradation des matières azotées).

Étude théorique de la germination.

Conditions nécessaires à la germination. — Pour que la germination puisse s'effectuer d'une façon régulière, trois conditions doivent être réalisées : 1° une certaine humidité ; 2° une température convenable ; 3° la présence de l'oxygène de l'air.

L'eau est indispensable à la germination : en malterie, elle doit être fournie par la trempe en quantités suffisantes pour que la germination puisse se prolonger pendant huit jours sans dessiccation.

L'oxygène est également nécessaire ; les graines trempées ne se développent que dans les atmosphères oxygénées. Il y a absorption d'oxygène et dégagement d'acide carbonique. Le malteur devra donc assurer pendant la germination une aération suffisante.

Enfin, la température a une grande influence sur la germination : l'orge commence à germer à 5° ; l'élévation de température est d'abord favorable jusqu'à un optimum situé aux environs de 27°, puis l'activité décroît, et la germination s'arrête quand la température dépasse 38°. Mais la température optima de germination n'est pas celle qui est la meilleure pour le maltage, car le but à atteindre exige, comme nous le verrons, une germination lente et à basse température.

Phénomènes qui accompagnent la germination. — Quand on abandonne à elle-même l'orge trempée, on voit apparaître, au bout de trente à quarante heures, la racicule sous l'aspect d'un point blanc. Elle se développe rapidement en formant plusieurs radicules qui s'entrelacent. Pendant ce temps, la plumule s'allonge

sous l'enveloppe et apparaît à l'extrémité opposée si la germination est prolongée assez longtemps.

Les principaux phénomènes qui accompagnent la germination peuvent se résumer ainsi : vingt-quatre à trente-six heures après le début, on constate une corrosion progressive des parois celluloseuses des cellules de l'endosperme qui renferment les grains d'amidon. Ceux-ci sont en même temps attaqués extérieurement. Cette action commence au niveau de l'épithélium d'absorption et progresse lentement vers l'extrémité opposée, c'est-à-dire vers la pointe du grain, en produisant la désagrégation. La diastase saccharifiante de l'amidon, déjà présente dans l'orge, augmente considérablement pendant la germination; la diastase liquéfiante, qui n'existe qu'en très petite quantité dans l'orge non germée, devient très abondante. En même temps, sous l'action des diastases, on voit se former des sucres; une partie de l'amidon se transforme en saccharose et en sucre interverti, qui apparaissent surtout dans l'embryon; il se forme aussi, dans le scutellum, de l'amidon transitoire aux dépens de ce saccharose. Il se produit une absorption d'oxygène et un dégagement d'acide carbonique, c'est-à-dire un véritable phénomène de combustion qui porte sur l'amidon et sur les sucres qui en dérivent. Les matières azotées sont enfin solubilisées et dégradées en partie, sous l'action de diastases.

On doit donc surtout envisager, dans la germination du grain d'orge, la désagrégation, les variations du pouvoir diastatique, la formation des sucres, les phénomènes de combustion et de dégagement d'acide carbonique et la transformation des matières azotées.

Désagrégation. — Brown et Morris ont montré que, vingt-quatre à trente-six heures après le commencement de la germination, on voit se liquéfier les parois des cellules vides qui avoisinent l'épithélium d'absorption. Cette action commence surtout au voisinage du scutellum, et elle se poursuit vers l'extrémité opposée du grain en progressant parallèlement à l'épithélium d'absorption, c'est-à-dire obliquement dans toute la longueur du grain. Les parties situées au-dessous de la plumule sont donc atteintes plus vite que celles qui sont situées près du sillon ventral.

Ce phénomène est dû à l'action d'une diastase, la cytase, dont l'action précède l'attaque des grains d'amidon. Elle est sécrétée par l'épithélium d'absorption et aussi, en moindre quantité, comme l'ont montré Brown et Escombe, par les cellules à aleurone qui entourent l'endosperme.

La cytase a pour résultat non pas de dissoudre les parois des cellules de l'endosperme, comme le croyaient Brown et Morris, mais de modifier leur perméabilité, de sorte que les grains d'amidon, primitivement protégés, deviennent accessibles aux diastases capables de les attaquer. Grüss a démontré, en effet, que les parois cellulaires sont simplement corrodées et que l'effet de cette attaque est de les rendre transparentes et invisibles au microscope. Mais

elles n'en existent pas moins, même dans les malts les plus friables; et on peut les mettre en évidence par des artifices de coloration. La dissolution de la matière interstitielle qui soudait les unes aux autres les cellules à amidon entraîne la désagrégation du grain et la friabilité ultérieure du malt achevé.

La marche de la cytase dépend d'abord de la nature de l'orge: certaines orges se désagrègent très facilement, tandis que d'autres sont très dures. La température a aussi une influence: la désagrégation est plus rapide à haute température, mais elle est d'autant plus parfaite et plus régulière qu'elle a lieu plus lentement. Les basses températures sont donc préférables. Il faut en moyenne huit à neuf jours, à la température de 14°-15°: pour que la cytase désagrège le grain entier et atteigne l'extrémité opposée à l'embryon; il faut même dix à douze jours si la température est plus froide.

Variations du pouvoir diastasique. — Nous avons vu précédemment que l'orge crue renferme déjà, en assez grande abondance, la diastase saccharifiante, capable de transformer en sucre l'amidon liquéfié, mais qu'elle ne contient que très peu de diastase liquéfiant, susceptible de liquéfier l'empois d'amidon. Un extrait d'orge crue peut saccharifier une solution d'amidon liquéfié, comme le ferait un extrait d'orge germée, mais il est à peu près inactif sur un empois d'amidon, tandis qu'un extrait d'orge germée liquéfie et saccharifie cet empois.

La germination a donc pour résultat de faire apparaître la diastase liquéfiant dans le grain d'orge; en outre, le pouvoir saccharifiant augmente beaucoup, et ces phénomènes paraissent en relation avec la sécrétion d'un autre groupe de diastases, celui des diastases protéolytiques, qui agissent sur les matières azotées et qui prennent également naissance pendant la germination de l'orge. Il semble, en effet, d'après les travaux de Ford et Gunthrie, que l'endosperme renferme déjà les diastases de l'amidon, sous la forme insoluble, combinées avec les matières albuminoïdes du grain; Les diastases protéolytiques, en attaquant ces matières azotées, mettent en liberté les diastases de l'amidon, sous la forme soluble, ce qui entraîne une rapide augmentation du pouvoir diastasique. La présence de certaines substances diffusibles amphotères semble nécessaire pour réaliser ces conditions. Ces corps amphotères se trouvent probablement dans les cellules de l'endosperme, et il suffit de la présence de l'eau pour les faire passer par diffusion d'une cellule à l'autre.

Les premières recherches effectuées sur les variations du pouvoir diastasique ont surtout eu pour objet le pouvoir saccharifiant, et on a cherché à se rendre compte de ses variations en déterminant, aux diverses phases de la germination, la quantité de sucre produite par une quantité donnée d'extrait agissant sur une quantité donnée d'amidon. Kjeldahl a montré ainsi que, pendant les trois

premiers jours de la germination, la progression du pouvoir diastasique est faible, puis il y a un accroissement rapide du quatrième au sixième jour; le pouvoir diastasique continue alors à augmenter plus lentement, et finalement il atteint une valeur au moins triple de celle du début. Evans a obtenu des résultats un peu différents: il trouve bien une augmentation rapide du pouvoir diastasique le quatrième jour, mais constate ensuite une diminution suivie d'une nouvelle augmentation. Ces variations observées par Evans sont difficilement explicables: elles n'ont d'ailleurs pas été confirmées par Gordon Salamon, qui a également étudié la marche du pouvoir diastasique pendant la germination. Gordon Salamon, en examinant, aux divers stades de la germination, de l'orge maltée par des méthodes différentes, a trouvé que le pouvoir diastasique croît fortement à partir du troisième jour, et que l'augmentation se poursuit ensuite pendant tout le temps du séjour au germe.

Ling a constaté que l'accroissement du pouvoir diastasique pendant la germination se fait d'abord dans la région la plus voisine de l'embryon, puis dans la portion médiane et finalement dans la partie la plus éloignée. L'accroissement dans la région voisine de l'embryon est infiniment plus considérable que dans les autres portions du grain, et il est spécialement localisé dans la partie de l'endosperme qui est située contre l'épithélium d'absorption.

La sécrétion des diastases amylolytiques se fait dans l'embryon et aussi, en petite quantité, dans les cellules de la couche d'aleurone. Stewart a montré que ces fonctions de sécrétion sont complètement annihilées quand on traite ces portions du grain par des anesthésiques, tels que le chloroforme, ce qui prouve bien que la sécrétion de ces diastases est là une fonction biologique. Au contraire, l'augmentation du pouvoir diastasique qu'on observe dans certaines conditions dans l'endosperme lui-même, comme nous l'avons vu plus haut, se manifeste même en présence des anesthésiques. Dans ce dernier cas, il ne s'agit donc plus d'une sécrétion, et il est bien probable que ce phénomène est dû à l'autodigestion par les diastases protéolytiques, qui mettent en liberté la diastase combinée à la matière azotée.

Eiffert a démontré que pendant la germination le pouvoir liquéfiant et le pouvoir saccharifiant se développent indépendamment l'un de l'autre. Le pouvoir saccharifiant augmente inégalement et, arrivé à un maximum, décroît ensuite. Le pouvoir liquéfiant, au contraire, se développe graduellement, mais beaucoup plus lentement que le pouvoir saccharifiant, et acquiert un maximum assez stable. La diastase formée reste presque intégralement adhérente au grain, et la migration vers les radicelles et la plumule est insignifiante.

On peut conclure des travaux qui précèdent que la quantité de diastases amylolytiques croît avec la durée de germination; le pou-

v oir saccharifiant peut cependant diminuer quand la vie de l'embryon se ralentit, c'est-à-dire du huitième au treizième jour. La température exerce, en outre, une influence : le pouvoir diastasique croît peu à peu dans la germination froide ; il devient au contraire rapidement très élevé dans la germination chaude. Le mode de germination et sa durée influenceront donc sur le pouvoir diastasiq ue final.

Formation des sucres. — L'orge, après la tremp e, renferme déjà des sucres, notamment du saccharose et des sucres réducteurs formés surtout de maltose, de dextrose et de lévulose. La présence du saccharose dans l'orge et le malt a été signalée d'abord par Kuhne-mann.

Kjeldahl et O'Sullivan ont montré ensuite que cette quantité de saccharose va en augmentant pendant la germination et passe en moyenne de 4-4,5 à 4,5-4-7 p. 100. Ces résultats ont été confirmés par Brown et Morris, qui ont reconnu que ce saccharose est localisé presque exclusivement dans l'embryon. Celui-ci peut contenir, après germination, jusqu'à 24 p. 100 de sa matière sèche à l'état de saccharose. Grüss a également constaté que la couche d'aleurone renferme du saccharose en proportion plus grande que l'endosperme.

O'Sullivan a montré, en outre, que les sucres réducteurs augmentent pendant la germination. Ces sucres sont formés par du maltose, du glucose et du lévulose. Le maltose provient de la saccharification de l'amidon du grain par la diastase ; toutefois, les auteurs ne sont pas d'accord sur sa présence. Brown et Morris l'ont constamment rencontré, mais exclusivement dans l'endosperme ; par contre, Lindet et plusieurs savants allemands n'en ont pas trouvé dans le grain en germination. Il est très probable que ces différences tiennent à la transformation plus ou moins rapide du maltose suivant le mode de germination.

Le dextrose et le lévulose viennent du saccharose, qui est interverti par la sucrase. Brown et Héron ont reconnu la présence de cette diastase dans le malt ; Grüss a constaté que le scutellum en sécrète et que cette sucrase est surtout localisée dans l'épithélium d'absorption. Lindet a montré que le germe utilise de préférence le glucose pour sa respiration et le lévulose pour construire ses tissus cellulosiques. Ces sucres réducteurs s'accroissent pendant la germination. Petit a observé, par exemple, qu'ils augmentent surtout du deuxième au troisième jour et croissent constamment jusqu'au neuvième. Glimm a vu également que la formation des sucres augmente sans cesse jusqu'à un maximum situé au vingt-deuxième jour dans ses essais : leur taux reste ensuite constant.

Les expériences de Grüss ont démontré la formation, dans l'embryon, d'amidon transitoire aux premiers stades de la germination. Cette formation se fait aux dépens du saccharose et de la gomme qui entoure la radicule. Cet amidon disparaît par la suite en se

transformant soit en saccharose par une action directe, soit en sucres réducteurs.

La théorie de la formation de tous ces sucres est encore obscure. Il semble bien qu'une partie de l'amidon de l'endosperme doit être transformée en maltose par la diastase sécrétée par l'embryon. Ce maltose serait absorbé par l'épithélium en palissade et s'y transformerait en saccharose par un mécanisme encore inconnu. Les expériences de Brown et Morris ont montré, en effet, qu'il apparaît du saccharose dans des embryons détachés de l'endosperme, quand on les place sur des solutions de maltose, et cette constatation vient à l'appui de la théorie précédente. Il n'est d'ailleurs pas impossible que l'amidon soit transformé directement en saccharose : la formation d'amidon aux dépens du saccharose a été observée par Grüss et ce que nous savons sur la réversibilité des actions diastasiques peut faire croire à une formation inverse de saccharose aux dépens de l'amidon. Quant au sucre interverti, il proviendrait de l'action de la sucrase sur le saccharose ; le glucose se formerait, en outre, par hydrolyse du maltose sous l'action de la maltase.

La formation des sucres est surtout influencée par la température et le degré d'humidité du grain. Plus la température est élevée, plus les actions diastasiques sont énergiques, et plus il y a d'amidon transformé en sucres. La quantité de sucres formés augmente également avec l'humidité du grain.

Nous voyons donc que, dans la germination, une certaine quantité d'amidon de l'endosperme est transformée en sucres : une partie de ces sucres, variable avec les conditions de travail, reste dans le malt ; une autre partie sert à la formation des tissus de la jeune plante ; une autre, enfin se transforme en acide carbonique et en vapeur d'eau sous l'action de la respiration de l'embryon, comme nous allons le voir maintenant.

Absorption d'oxygène et dégagement d'acide carbonique. — Le grain, en germant, absorbe de l'oxygène, dégage de l'acide carbonique et émet de la vapeur d'eau. Cette respiration du grain donne lieu à une production de chaleur considérable et à une perte sensible de matière sèche.

Les principaux facteurs qui influent sur la respiration du grain sont l'humidité, la température et la présence de l'oxygène. Cuthbert Day, Kolkwitz et d'autres auteurs ont constaté que le dégagement d'acide carbonique est d'autant plus élevé que le grain est plus humide. L'élévation de température et l'accès de l'oxygène activent également le phénomène. Si on prend comme mesure de l'activité de la respiration la quantité d'acide carbonique dégagé, on constate que la période d'activité maxima correspond au troisième ou quatrième jour de la germination. Cet acide carbonique provient de la combustion des hydrates de carbone du grain, et notamment des sucres dérivés de l'amidon. Il y a donc de ce fait une perte assez élevée de matière sèche, qui peut être évaluée,

dans les conditions normales, à 5 à 6 p. 100 de la matière sèche du grain, mais peut s'élever beaucoup plus haut si on laisse développer longuement les plumules. Les observations qui précèdent montrent que la perte est d'autant plus grande que la température est plus élevée, l'oxygène plus abondant et l'humidité plus considérable. Abrahamsohn a constaté, en outre, que l'orge à petits grains respire plus que l'orge à gros grains et qu'une orge riche en azote a une respiration plus active qu'une orge pauvre.

Transformations des matières azotées. — Les matières azotées de l'orge subissent pendant la germination des transformations profondes, qui sont effectuées par les diastases protéolytiques sécrétées par l'embryon.

Ces diastases protéolytiques semblent être celles qui apparaissent les premières pendant la germination de l'orge. Elles déterminent une solubilisation importante des matières azotées du grain, puis une dégradation de ces matières à l'état de peptones, d'amides et d'acides aminés.

Hilger et Van der Becke ont constaté, par exemple, que les matières azotées solubles, qui représentaient dans une orge 6,74 p. 100 des matières azotées totales, s'élevaient dans le malt à 21,96 p. 100 de l'azote total. Behrend et Stürcke ont donné les chiffres suivants, qui indiquent les variations subies par les diverses formes des matières azotées pendant la germination.

Azote.	Orge		Orge après une germination de					
	Orge.	Orge trempée.	41 h.	89 h.	113 h.	137 h.	185 h.	269 h.
Sol. total . .	13,1	40,7	17,0	33,5	35,2	36,2	38,4	41,6
Des amides . .	5,0	5,6	7,4	18,2	20,7	24,2	25,4	27,5
Alb. sol. . .	8,1	5,1	9,6	15,3	14,5	12,0	13,0	14,1
Alb. total. . .	95,0	94,4	92,6	81,8	79,3	75,8	74,6	72,5

On voit que les amides augmentent d'une façon régulière; l'azote albuminoïde soluble croît aussi dans les premiers jours de la germination, tandis que l'azote albuminoïde total décroît. Il y a donc transformation des matières albuminoïdes insolubles en matières solubles et dégradation de ces matières à l'état d'amides. Les chiffres qui précèdent n'ont évidemment qu'une valeur relative et peuvent varier suivant le mode de germination et suivant la nature de l'orge.

Schulze a montré que, dans la germination, il se forme, en grande quantité, de l'asparagine, en même temps qu'un peu de leucine, de tyrosine, d'allantoïne, de bêtaïne, d'arginine, etc. La présence de l'asparagine est importante, car elle favorise l'action de l'amylase, et en même temps elle constitue un excellent aliment azoté pour la levure.

H. T. Brown a également constaté que, dans la germination, les

protéines de l'endosperme sont partiellement dégradées jusqu'au terme acides aminés et que c'est principalement sous cette forme que l'azote de l'endosperme passe au travers du scutellum vers la jeune plante. En déterminant séparément l'azote dans les embryons et dans les endopermes d'une orge aux divers stades de sa germination, H. T. Brown a vu que la migration de l'azote de l'endosperme vers la jeune plante était de 17 p. 100 après cinq jours, de 35 p. 100 après neuf jours et de 40,5 p. 100 après onze jours de germination. Dans l'orge non germée, la proportion de matières azotées solubles dans l'eau ne représente en moyenne que 10 p. 100 de la matière azotée totale; il s'en faut donc encore de 25 p. 100 pour que les besoins de l'embryon soient couverts jusqu'au neuvième jour de germination. Or, comme l'azote soluble du malt est en moyenne le double de celui de l'orge, il faut donc que 35 p. 100 des protéines insolubles de l'endosperme soient solubilisées dans le maltage.

Brown a montré, en outre, que le germe est très riche en azote soluble et que, lors du brassage, la moitié de l'azote soluble et assimilable provient du germe du malt, malgré la fraction minime de poids qu'il représente, l'autre moitié venant de l'endosperme. On peut en conclure qu'un accroissement relativement faible de la masse de la plumule peut être accompagné d'un accroissement marqué de l'azote soluble qu'on peut extraire. Petit a également reconnu que la quantité de protéine soluble est en relation directe avec la longueur des plumules. L'augmentation de l'azote soluble provient donc principalement du degré de développement des portions végétatives du grain.

Schjerning a étudié la dégradation des diverses matières azotées de l'orge, et il a constaté que l'hordéine est d'abord partiellement transformée en bynine insoluble dans l'eau; cette bynine passe ensuite totalement à l'état d'albumine vraie soluble dans l'eau, puis l'albumine est elle-même dégradée à l'état de peptones et de composés amino-amidés. L'édestine se transforme en bynédestine, du groupe des albumines, et subit ensuite les mêmes dégradations que la bynine. Les sels d'édestine se transforment en leucosine. La leucosine semble très résistante aux diastases protéolytiques, qui ne l'attaquent pas d'une manière appréciable.

Toutes ces transformations paraissent être l'œuvre de deux groupes de diastases, les diastases peptiques qui transforment les protéines insolubles en protéoses et peptones, et les diastases trypsiques, qui dégradent plus profondément ces matières et les amènent à l'état d'amides, d'acides aminés et même d'ammoniaque.

La température exerce une grande influence sur l'action des diastases protéolytiques et par suite sur la dégradation des matières azotées pendant la germination. Kukla a trouvé que la proportion de matières azotées solubles augmente par la germination à tempé-

rature élevée, et qu'à basse température les matières azotées coagulables par la chaleur sont plus abondantes.

Schjerning a montré que la température la plus favorable pour une transformation normale et complète des matières azotées pendant la germination est comprise entre 13° et 20°. Les matières azotées sont alors amenées à un état de dégradation définitif et compatible avec une bonne clarification et une bonne conservation de la bière. Au-dessous de 13° ou au-dessus de 20°, la transformation devient incomplète ou anormale; le grain renferme alors des albumines mal transformées, nuisibles à la clarification et à la conservation. D'après les essais pratiques de Bernier, c'est surtout la durée pendant laquelle la température élevée est maintenue qui a de l'influence sur l'augmentation de l'azote soluble: les plumules s'allongent quand la durée d'application des hautes températures augmente, et l'azote soluble croît avec la longueur de la plumule. Schjerning a, d'ailleurs, constaté que les *hussards*, c'est-à-dire les grains qui ont une plumule ayant déchiré l'enveloppe et supérieure à la longueur du grain conduisent à l'apparition de la même matière azotée soluble que la germination chaude.

L'aération plus ou moins abondante exerce également une influence sur la dégradation des matières azotées. Un apport insuffisant d'air modifie les phénomènes de solubilisation de protéines non seulement quantitativement, mais aussi qualitativement, de sorte que le manque d'aération du grain aboutit à la formation de matières azotées incomplètement dégradées, nuisibles à la clarification et à la conservation des bières.

La nature de l'orge influe, enfin, aussi sur la proportion de matières azotées solubilisées dans la germination. Quand la teneur du grain en azote total est faible, la proportion de protéine soluble ne paraît pas influencée sensiblement par la température de germination. Il semble que la germination doive nécessairement donner un certain minimum de protéine soluble pour cent du malt, et ce minimum représente naturellement un pourcentage plus élevé quand le grain est pauvre en azote (Petit). Ainsi le chiffre de 40 p. 100 de l'azote total peut être atteint, pour les matières azotées solubles, sans que le moût soit riche en azote.

Nous pouvons conclure des observations qui précèdent que la température de germination, sa durée, l'aération et la nature de l'orge sont les principaux facteurs qui peuvent faire varier les transformations des matières azotées.

Autre modifications produites par la germination. — Les pentosanes augmentent pendant la germination de l'orge (Tollens et Schöne). Ils passent exclusivement dans les organes végétatifs du grain, plumules et racelles: ils ne proviennent pas des pentosanes de l'orge, mais sont formés dans l'embryon aux dépens des matériaux de réserve (Windisch et Hasse). Lindet a montré que dans la germination, le galactane de l'orge augmente progressivement dans

la proportion de un à trois, tandis que l'amylane reste stationnaire.

Windisch et Van Waweren ont constaté que la germination à plumules longues conduit à des malts plus riches en pentosanes solubles que la germination à plumule courte, pour une même orge.

Les matières grasses diminuent pendant la germination, dans la proportion de 20 à 30 p. 100, probablement sous l'action d'une lipase. L'acidité du grain augmente d'abord lentement; elle devient très rapide du deuxième au quatrième jour, puis lente jusqu'au sixième jour, à partir duquel elle reste stationnaire. Le maximum d'acidité se produit entre 14° et 17°; l'acidité diminue avec une germination trop froide, trop chaude ou trop courte. Le manque d'aération entraîne également une diminution de l'acidité (Schjer-ning). Les substances minérales ne subissent pas d'autres changements quantitatifs que le passage de corps insolubles à l'état soluble. Les combinaisons organiques de l'acide phosphorique sont dédoublées partiellement, et, d'après Windisch et Vogelsang, ce dédoublement subit probablement l'influence de la lumière.

Mécanisme de l'alimentation de l'embryon. — Nous voyons, par ce qui précède, que l'embryon, avec ses sécrétions diastasiques, rend solubles les matériaux de réserve de l'endosperme : l'épithélium d'absorption et le scutellum s'en emparent. Ces sécrétions diastasiques sont adaptées aux besoins de la jeune plante et ne se produisent que quand la nécessité s'en fait sentir. En effet, des embryons séparés du grain et placés dans une solution de sucre se développent sans qu'il y ait sécrétion de diastases.

Nous avons vu que le germe utilise particulièrement le glucose pour sa respiration et le lévulose pour la constitution de ses tissus cellulosiques. Sous le rapport des matières azotées, les expériences de H. T. Brown, faites avec des embryons excisés et placés dans des solutions nutritives contenant de l'azote sous ses diverses formes, ont montré que les peptones et albumoses du malt ne peuvent pas servir directement à la formation des tissus de la plante : elles doivent être dégradées pour devenir utilisables. La choline, la bétaine, l'allantoïne sont assimilables; la tyrosine, la phénylalanine, la leucine ne le sont pas. Enfin, le sulfate d'ammoniac, l'acide aspartique, l'acide glutamique, le nitrate de potasse et, principalement, l'asparagine sont d'excellentes sources d'azote.

De nombreuses recherches ont été faites sur la part respective prise par l'embryon et par l'endosperme dans l'élaboration des aliments nécessaires à la jeune plante. Les premiers travaux de Brown et Morris avaient amené ces auteurs à conclure que l'embryon est le seul facteur déterminant des transformations de l'endosperme, et que celui-ci ne constitue qu'une simple accumulation de matériaux de réserve. Mais d'autres expériences, dues à Hansteen, Purjewitsch, avaient montré que l'endosperme, séparé de l'embryon, était capable de digérer lui-même ses matériaux. Brown et Escombe, qui ont repris ces recherches, ont constaté que

ces modifications se produisent, en effet, sous l'action de diastases, notamment de la cytase et de la diastase saccharifiante; mais ces diastases sont secrétées par la couche d'aleurone : les cellules de l'endosperme n'y interviennent pas et seraient, par suite, dénuées de sécrétions diastasiques.

Pratique de la germination.

Conditions à réaliser dans la pratique. — Par la germination, le malteur doit obtenir les diastases nécessaires au travail du brassage, produire dans le grain les transformations voulues. Pour arriver à ce résultat, on utilise les moyens naturels dont dispose l'embryon pour s'alimenter; mais ces phénomènes sont accompagnés, comme nous l'avons vu, d'une perte en matière sèche, et le malteur devra évidemment chercher à atteindre le but tout en réduisant au minimum ces pertes inévitables. Les conditions à réaliser seront donc les suivantes : 1° régler autant que possible les transformations intérieures que le grain doit subir; 2° réduire le plus possible les pertes en matière sèche.

Nous avons vu que l'état de désagrégation dépend surtout de la durée et de la température. Pour avoir une désagrégation régulière, il est nécessaire de germer lentement. Si la germination est rapide, l'action de la cytase peut être incomplète : dans ce cas, la désagrégation n'atteindra pas l'extrémité du grain qui restera dur. En germant à haute température et avec aération faible des orges très humides, on pourrait bien obtenir une désagrégation complète par suite de l'augmentation de l'activité de la cytase, mais alors la transformation intérieure serait poussée trop loin dans certaines parties. Les malts ainsi obtenus se saccharifient très rapidement et donnent des bières à atténuation trop forte, sans mousseux et sans corps. L'obtention d'une bonne désagrégation demande donc une germination lente et froide.

Pour ce qui concerne les matières azotées, nous avons vu que leurs transformations au-dessous de 13° et au-dessus de 20° sont incomplètes ou anormales, et que les matières azotées solubles non coagulables augmentent quand on germe à température élevée. Pour arriver à produire d'une manière favo-

rable les transformations des matières azotées, il faudra donc germer à basse température.

Les radicelles occasionnent une perte en matière sèche, mais cette perte porte surtout sur les matières azotées. Il est par suite avantageux, d'une façon générale, et surtout avec les orges vitreuses et riches en azote, de produire des radicelles fortes et frisées, même au prix d'une légère augmentation de la perte en matière sèche, car on élimine ainsi des matières azotées dont l'excès serait nuisible. Mais il ne faut pas pousser à un développement exagéré de la longueur des radicelles : la germination froide permet encore ici d'assurer un développement normal et d'éviter la formation de radicelles longues et aqueuses.

La formation des sucres est accélérée, comme nous l'avons vu, par l'élévation de la température. Pour les malts pâles, on doit réduire cette formation et germer par suite à température basse. Pour les malts colorés, genre Munich, la présence des sucres est utile, et on doit, par suite, conduire la germination à température plus élevée que pour les malts pâles. La formation abondante de sucres a pour effet une croissance trop rapide de l'embryon, qui s'accompagne d'une respiration très active, et, par suite, d'une perte en matière sèche plus élevée. Il est clair que, si on laisse la couche sans la retourner, l'accumulation de l'acide carbonique ralentit la respiration et diminue la combustion de l'amidon ; mais il se forme alors une très grande quantité de sucres. Si on veut abaisser la température, on est forcé de retourner et d'aérer la couche chaude, et alors on ranime l'activité de la respiration et on augmente la perte. La germination chaude conduira donc à une abondante formation de sucre ou à une perte élevée de matière sèche, et le seul moyen d'éviter ce double écueil consiste à germer à basse température. La respiration est en effet d'autant plus active que les couches s'échauffent davantage au germoir et que les retournements sont plus fréquents. D'autre part, la germination exige la présence de l'oxygène : il faut donc éliminer l'acide carbonique produit. D'ailleurs, la respiration occasionne un échauffement qu'il importe de modérer. Il est donc indispensable d'opérer des pelletages pour assurer l'élimination

de l'acide carbonique et abaisser la température; mais ces pelletages seront beaucoup moins nombreux si on germe à froid. La germination froide permettra donc, en réduisant les pelletages, d'assurer le renouvellement de l'air en maintenant au minimum la perte par respiration.

Toutes les considérations qui précèdent nous conduisent donc, pour l'obtention d'un malt bien désagrégé, aux conditions générales suivantes : germination lente, renouvellement modéré de l'oxygène et réduction de l'élévation de température.

Dans ces dernières années, sous l'influence des idées de Windisch, on a cherché à revenir à la germination plus courte, avec réduction du développement des radicelles, afin de diminuer la perte au maltage. On a reproché aux malts bien désagrégés de se saccharifier trop vite, de donner des atténuations très élevées, des bières mortes, des difficultés de collage, tout en augmentant la perte à la germination. Certains malteurs ont ainsi réduit le développement des plumules et des radicelles en germant seulement pendant cinq jours. Dans ces conditions, la désagrégation du grain est irrégulière et incomplète; les bouts restent durs. Ce mode de travail peut être avantageux pour le malteur, mais il ne l'est guère pour le brasseur, car souvent les installations de brassage ne permettent pas un travail rationnel de ces grains mal désagrégés; il faut, en effet, compenser par le travail en cuve-matière le manque de transformation dû à une germination trop courte, afin de pouvoir utiliser les parties dures du grain. On est amené ainsi à un concassage très fin, à un procédé de brassage prolongé et comportant l'ébullition de la plus grande partie de la masse, ce qui n'est guère possible qu'avec les installations modernes comprenant macérateur, chaudières à trempes et filtre à mouls. D'ailleurs, s'il est possible de remédier en partie, grâce à un travail approprié, aux défauts de transformations du grain, on ne peut les compenser complètement. Nous verrons, en effet, que ce sont les produits de dédoublement des matières albuminoïdes, combinés aux sucres, qui donnent naissance à la formation des produits aromatiques des malts. Or ces produits ne se forment que quand le tou-

raillage a été précédé d'une désagrégation avancée pendant la germination. La germination courte et rapide conduit donc à des malts sans arôme, et le mode de brassage ne peut y remédier. Enfin la transformation des matières azotées reste incomplète, car l'action des diastases protéolytiques pendant le brassage est insuffisante pour opérer convenablement le dédoublement des albumines non transformées par la germination. On s'expose donc à des difficultés de clarification et de conservation.

Nous pouvons conclure de ce qui précède que la réduction de la durée et de l'activité de la germination n'est pas à conseiller pour la qualité des bières. Il faut évidemment éviter de pousser la désagrégation à l'extrême, et les conditions de travail de la brasserie doivent entrer en ligne de compte. Les installations dans lesquelles on peut conserver le malt très sec et qui permettent l'attaque à haute température ou l'emploi de grandes quantités de grains crus peuvent utiliser avec avantage des malts très diastasiques, bien désagrégés par une germination longue et froide. Une désagrégation plus grossière est préférable quand les conditions d'installation conduisent à un brassage assez lent, avec attaque à basse température et faible utilisation de grains crus, et quand la conservation du malt laisse à désirer. Mais, dans tous les cas, la fabrication d'un malt germé court n'est guère recommandable en France, malgré la diminution de perte au maltage qu'elle entraîne : elle ne peut être rationnellement appliquée que dans les brasseries qui ont une installation de brassage moderne, et encore toujours plus ou moins aux dépens de la qualité des bières.

La germination peut être réalisée de deux manières, soit par le travail au germoir, soit par le travail pneumatique. Dans la première méthode, on produit la germination de l'orge dans des salles spéciales appelées germoirs : l'orge trempée est alors étalée sur le sol même du germoir en couches plus ou moins épaisses, qu'on retourne de temps à autre jusqu'à ce que la germination ait atteint le point voulu. Dans le maltage pneumatique, l'orge trempée est mise à germer dans des appareils mécaniques, cases ou tambours ; l'élimination de

l'acide carbonique et le refroidissement sont effectués par le passage d'un courant d'air saturé d'humidité.

Maltage au germoir. — **Germeoirs.** — Les germeoirs sont des salles voûtées, de 3 à 4 mètres de hauteur. On doit les placer autant que possible au sous-sol : il importe en effet qu'ils conservent une température constante, et les germeoirs situés au rez-de-chaussée ou aux étages sont toujours plus ou moins exposés à des variations de température. On peut bien réduire cet inconvénient, surtout au rez-de-chaussée, en construisant des murs très épais ou des doubles murs pour avoir une température plus régulière ; mais cette installation est coûteuse et ne donne pas autant de sécurité que la situation au sous-sol.

Le sol du germeoir doit être avant tout parfaitement uni et sans fissures, de manière à pouvoir être entretenu dans le plus grand état de propreté. En outre, les matériaux employés ne doivent pas être trop poreux, car ils absorberaient trop d'humidité et provoqueraient la dessiccation des couches. Ils doivent être peu conductibles à la chaleur, et quand leur épaisseur est faible, il est toujours nécessaire de les isoler du sous-sol par une couche d'argile et une couche de béton assez épaisse. On peut employer, pour l'aire des germeoirs, les dalles de pierre, les carreaux, l'asphalte, le ciment.

Les dalles de pierre sont très appréciées : elles sont épaisses, isolent parfaitement le grain du sol et conservent une fraîcheur favorable à la germination ; mais elles doivent être bien polies et très solidement rejointoyées au ciment. Il faut surtout éviter que les joints ne cèdent et ne se transforment peu à peu en fissures qui deviennent des foyers d'infection. Les carreaux ont l'inconvénient d'être peu solides ; en outre les joints sont ici extrêmement nombreux, et malgré les soins qu'on y apporte, il se produit souvent des fissures entre les carreaux. L'asphalte a l'avantage d'être parfaitement unie, mais elle est assez peu solide et se fendille après un certain temps d'usage. En outre, elle s'échauffe facilement, et il est indispensable de l'isoler du sol par une couche de béton de 10 à 15 centimètres d'épaisseur. Les briques et les pierres siliceuses sont trop poreuses et manquent de solidité. Le ciment constitue le meilleur sol de germeoir, mais son emploi exige quelques précau-

tions. Sur une couche d'argile de 20 centimètres, on coule d'abord une couche de béton de 8 à 10 centimètres pour assurer un bon isolement, puis on recouvre avec une couche de ciment de 2 centimètres ou avec des plaques de ciment rejointoyées. Il faut avoir soin de n'employer que du ciment de qualité tout à fait supérieure, mélangé de sable fin, et de le maintenir humide jusqu'à ce qu'il soit tout à fait durci. On obtient ainsi un sol absolument lisse, solide et sans aucune fissure.

Il faut évidemment avoir soin de réserver une pente douce et des canaux latéraux pour pouvoir éliminer facilement les eaux de lavage.

Les murs, comme le sol, doivent être maintenus très propres, car la propreté rigoureuse dans le germoir est la première condition de réussite dans la préparation du malt. On les blanchit à la chaux ou on les recouvre de vernis émail, pour éviter tout développement de moisissures. Il est bon d'en arrondir les angles, afin de faciliter le nettoyage.

La ventilation du germoir est extrêmement importante : elle doit être réglée de manière à empêcher l'accumulation de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, mais sans être assez forte pour provoquer la dessiccation des couches. Dans les installations anciennes, la ventilation est souvent défectueuse : elle se fait simplement par les fenêtres, et l'air froid arrive directement sur les couches. Dans les installations modernes, on s'arrange ordinairement pour laisser entrer l'air froid par des ouvertures latérales, tandis que l'air chaud et vicié s'échappe par des cheminées d'appel qui débouchent dans la voûte. Ces cheminées d'appel doivent être munies de registres pour pouvoir régler facilement la ventilation. Dans certaines grandes malteries, la ventilation est assurée par une turbine aspirante et soufflante qui puise l'air à l'extérieur. Cet air traverse une tour à coke où on pulvérise de l'eau froide, et se rend, chargé d'humidité, dans une canalisation fixée à la voûte des germoirs. Il est alors distribué également sur tous les points. On peut ainsi maintenir en été l'air des germoirs à une température sensiblement plus basse que la température extérieure.

Il est intéressant de se rendre compte de l'état hygrométrique de l'air, aussi bien dans les germoirs que dans les appa-

reils pneumatiques et dans les tourailles que nous étudierons plus loin. Les hygromètres à cheveu ou à fibres végétales sont peu sensibles et inexacts. Il faut avoir recours, pour cette détermination, au psychromètre ; mais il ne faut pas oublier que cet appareil ne fournit des résultats précis que si l'air est agité. On doit donc recourir à des psychromètres spéciaux à aspiration, munis d'un petit ventilateur, qui déplace l'air à la vitesse de 50 centimètres par seconde. On obtient ainsi en une minute l'état hygrométrique à 1 p. 100 près.

Pratique du travail au germoir. — Les grains trempés sont vidés directement sur le sol du germoir et disposés en tas. L'épaisseur du tas varie surtout avec la température et avec la nature de l'orge : on donne une épaisseur plus forte quand la température est basse. La hauteur varie ainsi de 20 à 50 centimètres.

Pendant ce séjour en tas, le grain continue à fixer de l'eau : il se produit ainsi une véritable trempe complémentaire. L'orge absorbe l'eau qui l'entoure, et Luff a montré que, pendant les deux jours qui suivent le décuvage, la teneur du grain en eau augmente ainsi de 2 à 3 p. 100. Cette trempe complémentaire est peu influencée par la température : le grain sèche plus vite à chaud qu'à froid, mais comme, d'autre part, l'élévation de température hâte l'absorption de l'eau, les deux influences se contre-balancent à peu près dans les conditions ordinaires. D'après Luff, la hauteur de la couche est également sans influence.

Au bout de trente à quarante heures, on voit apparaître la radicule sous l'aspect d'un point blanc : l'orge *pique*. Quand on emploie la trempe avec aération, cette période qui précède l'apparition de la radicule est considérablement réduite, et il arrive fréquemment que l'orge pique aussitôt après le décuvage. La température commence à s'élever ; l'humidité qui se dégage des couches centrales du grain se condense dans les couches supérieures refroidies par le contact de l'air du germoir : le grain *sue*. Le plus souvent, on place des thermomètres à mi-hauteur de la couche et en différents points ; quand la sueur se manifeste, on procède à un premier retournement de la couche : la température est alors de 12° à 13°.

Ce retournement se fait soit à bras d'homme au moyen de pelles en bois, soit au moyen de retourneurs mécaniques spéciaux : son but est de régulariser la germination, d'empêcher les radicelles de s'enchevêtrer, de donner l'oxygène nécessaire et de modérer l'élévation de température. On commence à retourner la couche à la pelle en projetant les grains dans un espace libre réservé à droite ou à gauche, et on déplace ainsi progressivement toute la masse vers la droite ou vers la gauche en ayant soin de retourner parfaitement les diverses couches du grain. On forme ainsi une nouvelle couche à laquelle on donne soit la même épaisseur, soit une épaisseur moindre, suivant qu'on veut modérer plus ou moins l'échauffement. Bientôt l'activité de la germination s'accroît, l'élévation de température devient plus rapide et plus considérable. Il est alors nécessaire de retourner les couches plus souvent et de diminuer peu à peu leur épaisseur. On poursuit ainsi le travail jusqu'à ce que la germination soit suffisante, et on juge que le point voulu est atteint par l'examen de l'état de désagrégation et de la longueur de la plumule : celle-ci atteint environ les deux tiers ou les trois quarts de la longueur du grain.

Sueur. — La sueur apparaît au moment du développement des radicelles, s'accroît avec ce développement pour disparaître peu à peu plus tard. L'humidité qui se dégage des parties centrales de la couche vient se condenser sur les parties plus froides situées à la face supérieure ou contre le sol ; en outre, la sueur est également formée par la vapeur d'eau produite par la respiration. Elle se condense sous forme de gouttelettes, principalement sur les grains situés à 1 centimètre audessous de la face supérieure de la couche. L'examen de la grosseur de ces gouttelettes, de l'âge de la couche et de sa température, donne des indications pratiques sur le moment où il faut retourner le grain. Luff a montré que la sueur contribue à maintenir l'humidité de la couche et à empêcher la dessiccation : sa production est donc très importante. Si la couche jeune donne la sueur, bien que sa température soit trop basse, c'est que le trempage a été trop prolongé, et on est conduit à pelleter fréquemment la couche pour perdre de l'eau. Si la sueur est peu abondante, bien que la température soit assez

élevée, c'est que la couche manque d'eau. Il devient alors nécessaire de l'arroser, comme nous le verrons plus loin, avant de la retourner.

Pelletages. — Le nombre des pelletages varie avec la température et la nature du malt à produire. Si les pelletages sont trop peu nombreux, les couches s'échauffent trop fortement s'ils sont trop fréquents, les couches se séchent, et l'activité de la germination se ralentit. Le nombre des pelletages doit donc rester entre des limites convenables. Au début, si la température du germoir est assez basse, on se contente ordinairement de deux pelletages par vingt-quatre heures, et la température des couches ne dépasse pas 12° à 14°. Vers le troisième ou le quatrième jour, quand la germination devient active, on procède à trois ou quatre pelletages par vingt-quatre heures. La température à laquelle on laisse monter les couches varie suivant le travail des usines et la nature du malt à obtenir : pour les malts pâles, on ne dépasse pas 16° à 18°, et on procède par suite à de nombreux pelletages dès que l'orge pique ; pour les malts foncés, une germination plus chaude est utile, et on atteint souvent 20° à 24° en réduisant le nombre des pelletages. A la fin de la germination, on ne fait plus ordinairement que deux pelletages par vingt-quatre heures.

Le nombre des pelletages varie aussi avec l'état de l'orge : si le trempage a été trop prolongé, on doit pelleter plus souvent ; si au contraire le trempage a été trop faible, la sueur tarde à se produire, et on doit retarder les pelletages. Cette opération doit être faite par des ouvriers expérimentés ; quand les pelletages sont mal exécutés, la germination devient irrégulière.

L'emploi des charrues à malt a permis de réduire beaucoup cette main-d'œuvre spéciale et présente d'autres nombreux avantages. Les charrues à malt sont de deux sortes : celles qui possèdent un véritable soc et sont plus ou moins capables de labourer la couche, et celles qui ouvrent simplement la couche sans la retourner. Les charrues à soc semblent préférables, car les autres ne permettent pas d'obtenir l'uniformité de température et d'humidité. Le retournement à la pelle entraîne l'accès de grandes quantités d'oxygène et pousse

activement le grain à la végétation ; le développement des racelles et la respiration conduisent ainsi à une perte plus élevée. Au contraire, la charrue à soc donne lieu à un renouvellement limité, mais réel, d'oxygène. On ne peut cependant pas supprimer complètement les pelletages ; une aération plus intense que celle que peut donner la charrue est nécessaire dans les premiers jours de la germination pour avoir une bonne désagrégation. Il convient donc de pelletter encore, par exemple, le premier, le troisième et le cinquième jour : on utilise ensuite la charrue. L'emploi exclusif de la charrue forcerait à travailler en couches trop minces, qui se flétriraient très vite. Cependant Prell a pu réaliser ce mode de travail en disposant sur la charrue un petit ventilateur électrique qui aspire l'air à la surface de la couche et le refoule sur le malt retourné par le soc.

Utilisée d'une façon rationnelle, la charrue permet de modérer l'aération, de rendre plus calme la croissance du grain, de diminuer la sueur, de réduire la respiration et, par suite, la perte en matière sèche, d'obtenir une désagrégation meilleure et un rendement plus élevé en extrait. Il y a une économie sensible de main-d'œuvre et réduction des ouvriers spécialistes, la charrue pouvant être maniée par un ouvrier quelconque.

On a construit également de véritables retourneurs pour germoirs. Certains modèles se meuvent sur rails, ce qui exige des germoirs uniformes comme largeur ; il faut, en outre, des transporteurs qui entraînent une grande dépense de force motrice ; enfin, le prix de ces appareils est élevé.

Niemczyk, qui a étudié les variations de la teneur des couches en acide carbonique avec les divers systèmes, a constaté qu'une couche renfermant 1,8 à 2,5 p. 100 d'acide carbonique n'en contient plus que 0,8 p. 100 après le travail à la pelle, 1 à 1,2 p. 100 avec le retournement à la charrue à soc et 1,6 p. 100 avec le labourage à la charrue sans soc. Ces chiffres justifient complètement nos précédentes conclusions.

Épaisseur des couches. — Au fur et à mesure que la germination avance, on diminue l'épaisseur des couches. Cette diminution est plus ou moins forte suivant l'état de la germi-

nation et suivant la nature du malt à produire. Avec les malts pâles, on diminue très rapidement la hauteur de la couche, à chaque pelletage, pour réduire au minimum l'échauffement. La diminution est plus graduelle avec les malts colorés. La hauteur de la couche finale est parfois réduite à 6 ou 7 centimètres ; parfois on lui donne encore 10 à 12 centimètres.

Il importe de donner aux couches une épaisseur bien uniforme, car l'échauffement se manifeste plus ou moins suivant la hauteur de la couche, et il en résulte une irrégularité dans la marche de la germination aux divers points.

Feutrage. — On pratique souvent, pour la production de certains malts, ce qu'on appelle le *feutrage* des couches. Lorsque la sueur commence à diminuer, vers le cinquième ou sixième jour de germination, on cesse de retourner la couche et on la laisse *prendre*. Dans ces conditions, il se produit un véritable feutrage ; les radicelles s'enchevêtrent et forment un gâteau consistant. La prise est d'autant plus intense que la couche est plus humide et sue davantage au moment du feutrage. La couche prise est assez difficile à travailler, et c'est un véritable labour qu'il faut opérer pour la retourner ensuite. La température s'élève notablement, surtout si on a maintenu la couche assez humide, et on peut s'attendre à provoquer ainsi une formation plus abondante de sucres. Cette pratique a ses adhérents, qui lui attribuent la faculté d'améliorer l'état de désagrégation ; mais elle a aussi ses détracteurs, qui pensent que la prise des couches occasionne une gazéification plus grande et augmente la perte au maltage. Les expériences de Luff sur cette question ont conduit aux résultats suivants : 1° le feutrage n'augmente pas la perte au maltage ; au contraire, la gazéification y est plus faible, mais il y a plus de radicelles formées, et les deux influences s'équilibrent à peu près ; 2° cette pratique n'a aucune action sur les proportions d'azote total et d'azote soluble dans le malt ; 3° le feutrage favorise la formation des sucres ; on trouve notamment plus de saccharose que dans les couches non feutrées ; 4° il diminue le poids de l'hectolitre de malt ; 5° il favorise la désagrégation, surtout chez les orges lourdes ; 6° chez ces mêmes orges, le rendement en extrait augmente par le feutrage, dans le cas d'une mouture grossière.

Dans le cas d'une mouture fine, la différence est presque insensible.

Le feutrage est donc indiqué plutôt pour le maltage des orges lourdes, et surtout pour la production des malts colorés chez lesquels les sucres préformés sont utiles. Dans la préparation des malts foncés, genre Munich, on laisse, en effet, le plus souvent les couches se feutrer deux fois, une première fois vers le cinquième jour et une deuxième fois le sixième ou septième jour. La température s'élève à 20°-22°, et on obtient ainsi une formation de sucres plus abondante et une désagrégation profonde.

Dessiccation des couches et arrosages. — L'humidité du grain, pendant la germination, tend à diminuer sous l'action de l'évaporation, mais elle tend à augmenter par la sueur qui provient de la combustion de l'amidon. Luff a montré que, dans le travail normal, la proportion d'eau du grain augmente de 2 à 3 p. 100 pendant la germination. Le gain l'emporte donc sur la perte par l'évaporation. Cependant, il arrive parfois que le phénomène inverse se produit : la sueur ne se forme plus et les couches se dessèchent. Ce fait tient souvent à un travail mal conduit, notamment à un trempage insuffisant, ou à des pelletages effectués avant que la sueur soit abondante. Il peut venir aussi de la porosité du sol du germoir ou d'une ventilation trop énergique. La dessiccation peut se produire aussi dans certains modes de maltage comprenant une trempe courte, une germination prolongée avec des pelletages très rapprochés pour éviter toute élévation de température. Tel est le cas des malts pâles, genre Pilsen, ou des malts anglais, qui doivent être souvent arrosés au germoir.

Quand la dessiccation se produit, on procède le plus souvent à l'arrosage des couches. Cette opération se fait soit avec une pomme d'arrosoir, soit avec des pulvérisateurs. L'effet de l'arrosage dépend de l'époque à laquelle on le pratique. L'arrosage au début de la germination n'est pas recommandable, car, dans les premiers jours, la couche n'a pas besoin de beaucoup d'eau; en outre, on mouille souvent trop fort, et la germination devient trop rapide. Ce n'est ordinairement qu'au quatrième ou cinquième jour que la dessiccation de la couche

peut se manifester et que les besoins en eau sont considérables : il est donc préférable de n'arroser qu'à ce moment, et c'est ce que font beaucoup de malteurs. L'arrosage doit être régulier, et on doit le faire suivre d'un pelletage qui répartit le mieux possible l'humidité.

De nombreux praticiens considèrent, et avec raison, les arrosages comme peu recommandables : ils leur reprochent de rendre souvent la germination irrégulière et de pousser à la formation de hussards.

Durée de la germination. — Caractères d'une germination suffisante. — La durée de la germination dépend surtout de la température et de la nature de l'orge : elle est de dix à douze jours quand la température ne dépasse pas 15°; elle se réduit à huit jours à 18°-20°, et elle serait encore beaucoup plus courte à 24°-25°.

On se base le plus souvent sur la longueur de la plumule pour apprécier si la germination a atteint le point voulu. On considère, en général, que, dans le malt vert, la plus grande partie des plumules doit avoir une longueur comprise entre les deux tiers et les trois quarts de la longueur du grain. En outre, on cherche à éviter la présence des hussards, qui augmentent la perte au maltage. Mais l'allongement de la plumule est variable avec la température et le degré d'humidité. Quand la température est élevée et l'humidité forte, la plumule se développe rapidement et atteint la longueur voulue bien avant que la désagrégation soit complète. Inversement, on peut réaliser avec certaines orges une désagrégation complète tout en maintenant les plumules courtes, et si on prolonge la durée de la germination pour avoir des plumules de la longueur voulue, on obtient un malt dont la désagrégation est exagérée. La longueur de la plumule constitue donc un élément d'appréciation utile, mais il ne faut pas lui attribuer trop d'importance. On doit y joindre l'examen de l'état de désagrégation. Celle-ci doit être complète, mais sans exagération, car une désagrégation trop forte amène une diminution dans le moelleux de la bière et dans la tenue de la mousse. Il importe donc d'atteindre avant tout le degré de désagrégation convenable et de régler par suite les conditions de température, de pelletages et de

durée du travail pour arriver à ce résultat sans forcer la longueur des plumules et sans exagérer les pertes en matière sèche. Nous avons vu que la germination lente et froide permet d'atteindre ce but; aussi il est bon de ne pas réduire la durée de la germination à moins de sept à huit jours, si on veut obtenir un bon malt et un rendement satisfaisant.

Moisissures au germoir. — On craint avec raison en malterie le développement des moisissures, qui occasionnent une perte de matière sèche et donnent au malt une odeur désagréable qui se transmet au moût et à la bière. Pour lutter contre l'envahissement des couches par ces organismes, le malteur doit d'abord entretenir son germoir dans le plus grand état de propreté. Les murs doivent être blanchis à la chaux, et si, malgré ces précautions, on voit apparaître des moisissures, il faut badigeonner aussitôt les taches avec un lait de chaux. Il faut également éviter au germoir une température trop élevée, qui favorise le développement de ces microorganismes. Pendant les arrêts de travail, on procède à une désinfection plus radicale du germoir avec du chlorure de chaux, suivie d'un lavage à l'eau et à la brosse. L'emploi de l'eau de chaux au trempage, un triage soigneux des grains cassés et des graines étrangères permettent également de lutter efficacement contre les moisissures.

Maltage pneumatique. — Pour économiser la main-d'œuvre et réaliser d'une façon plus parfaite les conditions théoriques d'une bonne germination, on a cherché à faire germer l'orge dans des appareils mécaniques où l'élimination de l'acide carbonique et le refroidissement sont effectués par le passage d'un courant d'air saturé d'humidité, et dont la température est réglée au degré voulu. C'est le principe du maltage pneumatique. Il y a deux systèmes de germination pneumatique : le système à cases dans lequel on place le grain dans des cases rectangulaires reliées à des canaux d'aération, et le système à tambours, dans lequel le grain est introduit dans des tambours rotatifs où circule un courant d'air humide.

Maltage pneumatique en cases. — Le premier système à cases employé comprenait huit ou neuf cases en maçonnerie disposées les unes à côté des autres. Chaque case porte un

faux fond en tôle perforée, et la partie située sous le faux fond est en communication avec un aspirateur d'air. Le grain trempé est d'abord versé dans la première case; vingt-quatre heures après, on le fait passer par un pelletage dans la deuxième case, où il reste encore vingt-quatre heures; puis on le fait passer dans la troisième case, et ainsi de suite jusqu'à la dernière casé. Chaque jour on vide la dernière case où la germination est terminée; on fait avancer d'un rang le grain situé dans chacune des autres cases, et on met de nouveau dans la première de l'orge trempée. Le travail est donc continu. Pendant toute l'opération, on envoie dans la salle de l'air humide; cet air, aspiré par un ventilateur qui agit sous le faux fond des cases, traverse les couches de grain de haut en bas en balayant l'acide carbonique et est entraîné par la conduite située sous le faux fond. Parfois, pour éviter le pelletage de case à case, on réserve à l'extrémité de la case une partie vide dont on bouche la tôle perforée, et le retournement se fait alors à bras d'homme dans la case même.

Ce système, qui est adopté encore dans quelques malteries du Nord, a l'avantage d'économiser l'espace, car l'orge est travaillée sous une épaisseur de 80 centimètres. Mais il a de gros inconvénients : le pelletage, indispensable pour empêcher l'enchevêtrement des radicelles, occasionne une main-d'œuvre coûteuse; les ouvriers doivent pénétrer dans les cases pour effectuer cette opération, et ils y écrasent des grains; enfin, toutes les cases reçoivent le même air humide, quel que soit l'état de la germination, ce qui n'est évidemment pas rationnel.

Ce système a été perfectionné par Saladin, qui en a fait disparaître les inconvénients. Le procédé Saladin comprend une série de cases en maçonnerie placées côte à côte, et dont le nombre est soit de huit ou neuf, soit de quatre à cinq suivant que l'on désire charger la touraille toutes les vingt-quatre ou toutes les quarante-huit heures (fig. 15). Une case Saladin se compose d'un long couloir, limité à droite et à gauche par deux murettes et au fond par une série de niches en tôle dans lesquelles viennent se loger les hélices du retourneur décrit plus loin. Les dimensions de ces cases varient avec l'import-

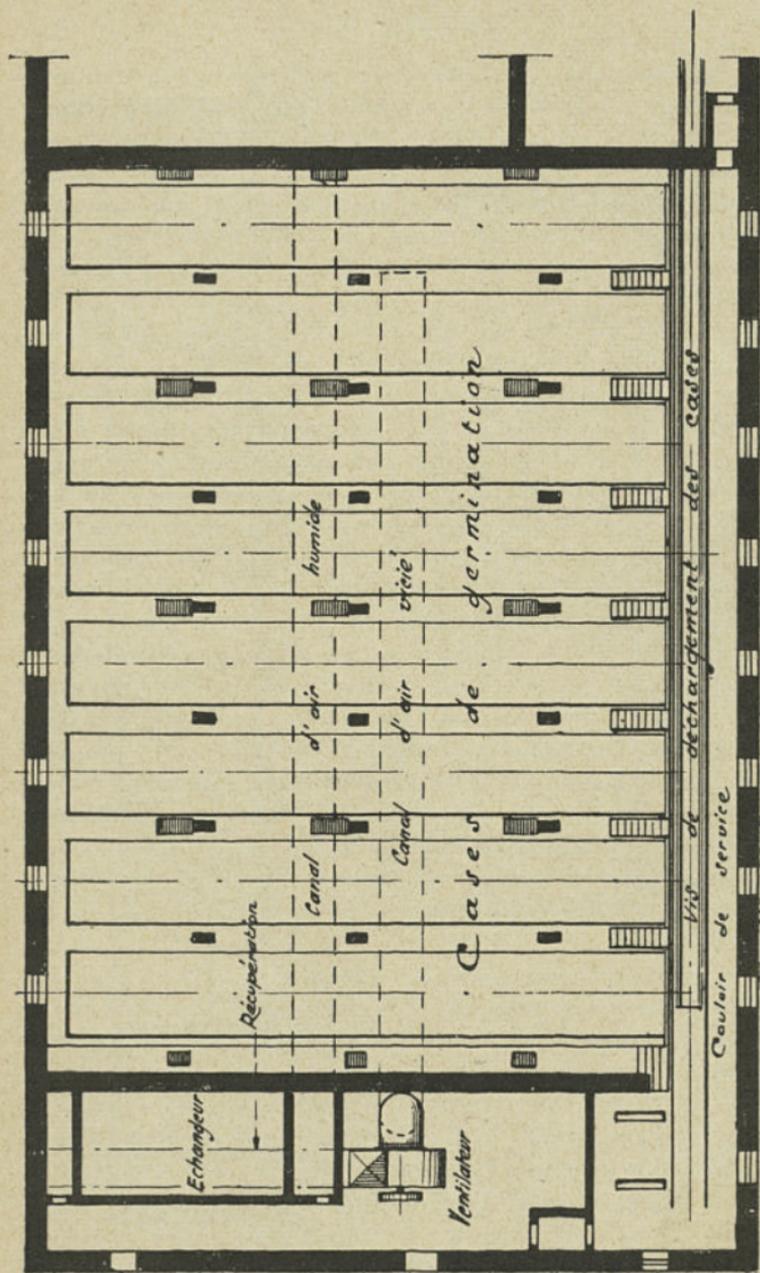


Fig. 45. — Malterie pneumatique, cases Saladin. Plan. (Diebold et C^{ie}, Nancy.)

tance de la malterie : elles atteignent parfois 4 à 5 mètres de largeur et 20 à 25 mètres de longueur. Leur hauteur est de 1^m,50. Une série de panneaux mobiles, en tôle perforée et galvanisée, limite chaque case vers le bas en formant faux fond sous lequel se trouve ainsi une partie vide qui sert de chambre de distribution d'air (fig. 16 et 17). Sous le sol circulent deux canaux ; l'un communique avec un ventilateur et avec l'hydrateur d'air ou échangeur : c'est le canal d'air humide ; le second communique avec un aspirateur et enlève l'air vicié. L'espace compris entre deux cases forme un couloir à deux étages (fig. 16) ; le plancher inférieur porte des valves qu'on peut manœuvrer d'en haut, et qui correspondent à ces canaux. Un des murs de chaque case est percé, sur toute sa longueur, d'orifices dans la partie située au-dessous du faux fond. En ouvrant la valve qui correspond à l'un des canaux, on met donc en communication la case avec le canal correspondant, par l'intermédiaire de l'espace compris entre les deux planchers et des orifices signalés ci-dessus, qui assurent une répartition parfaite de l'air dans la case. Chaque case est ainsi indépendante et peut recevoir, au moyen des valves, l'air qui lui convient. La circulation de l'air humide peut se faire dans les deux sens, c'est-à-dire de haut en bas ou de bas en haut ; la répartition de l'humidité est ainsi plus régulière.

L'orge trempée est distribuée dans les cases par un système de tuyaux démontables. On contrôle la température au moyen de thermomètres plongeurs. Dès que la température commence à s'élever par suite de la germination, on fait passer de l'air frais et humide par la ventilation, et on maintient la masse à la température convenable.

L'enchevêtrement des radicelles produirait bien vite un feutrage qui empêcherait le passage de l'air. Il est donc indispensable de remuer la couche de manière à empêcher la formation de mottes. On y arrive au moyen du retourneur mécanique. Cet appareil (fig. 18) se compose essentiellement d'un certain nombre d'hélices en métal, portées par des axes verticaux, et placées les unes à côté des autres dans toute la largeur de la case. Les axes de ces hélices sont portés par un chariot, dont les roues engrènent, de chaque côté de la case,

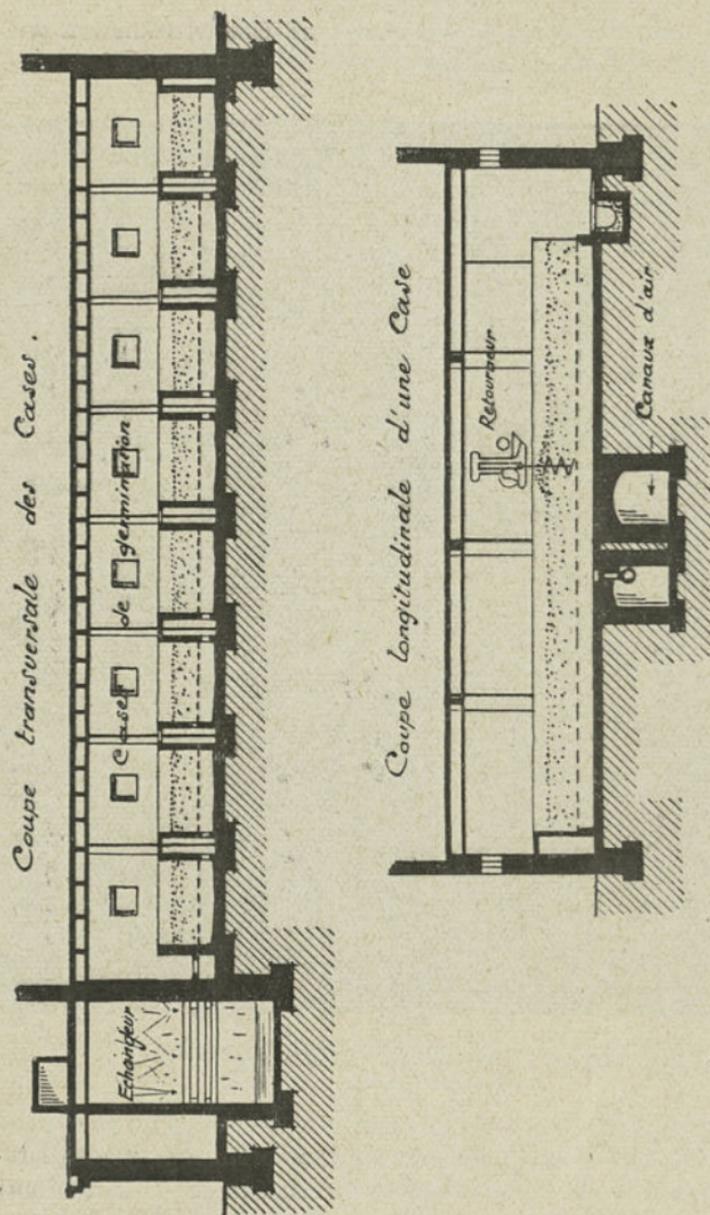


Fig. 16 et 17. — Malterie pneumatique, cases Saladin. Coupe. (Diebold et C^{ie}, Nancy.)

avec une crémaillère située sur le mur. Une transmission permet de faire avancer ainsi le retourneur dans toute la longueur

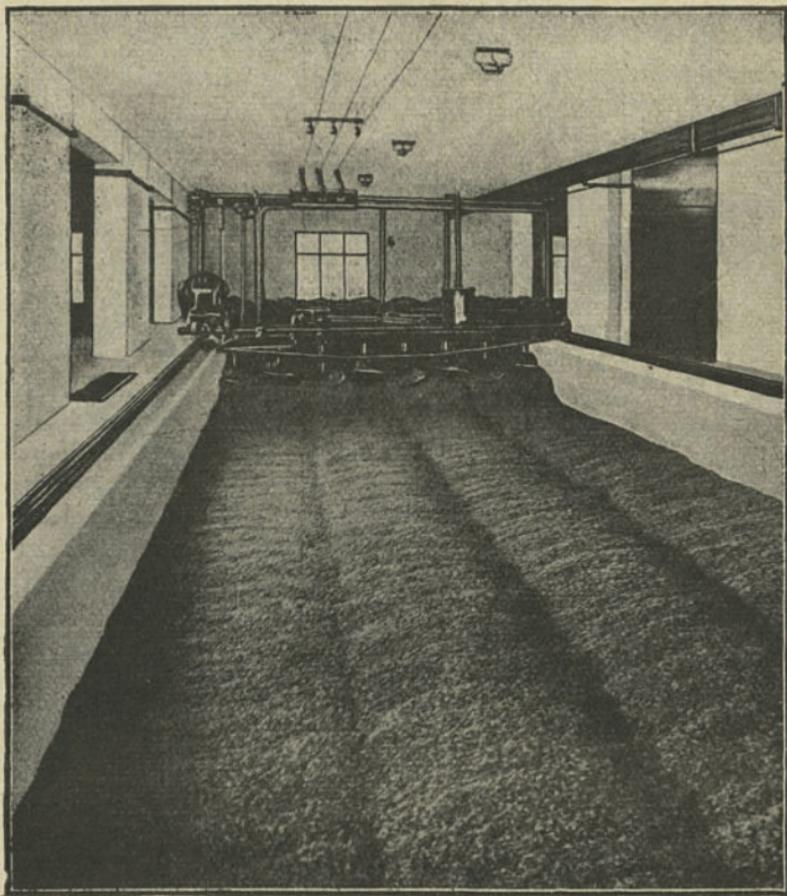


Fig. 18. — Retourneur Saladin dans sa case.
(Diebold et C^{ie}, Nancy.)

de la case; en même temps, un arbre horizontal, placé également sur le chariot, et muni d'une vis sans fin, communique aux hélices un mouvement de rotation par l'intermédiaire

d'une roue dentée située sur l'axe vertical qui termine chaque hélice. L'appareil est ainsi animé d'un mouvement de transla-



Fig. 49. — Salle de germination Saladin. (Diebold et C^o, Nancy.)

tion le long de la case et d'un mouvement de rotation des hélices. Celles-ci, en tournant, soulèvent le grain à la façon d'un tire-bouchon et le remuent : les parties qui se trouvaient au fond sont ramenées vers le haut, tandis que les parties du haut

tombent vers le plateau. La masse de grain se trouve ainsi retournée, les grains déplacés, les commencements de feutrage séparés, et toute la couche, étant soulevée, est rendue plus perméable à l'air.

Lorsque le retourneur est arrivé au bout de sa course, il s'arrête automatiquement. L'ensemble qui porte les hélices est soulevé à une hauteur telle que celles-ci sortent tout à fait du grain; alors le retourneur revient sur ses pas et, sortant de la case, va se poser sur un char transversal au moyen duquel on peut le transporter dans la case qui a besoin d'être retournée. Il n'y a donc qu'un seul retourneur pour la malterie (fig. 19).

Généralement, il suffit de retourner une case toutes les douze heures; cependant, certains malteurs ne les font pas retourner à heure fixe, mais à des intervalles de plus en plus éloignés. Ainsi, si les premières retournées ont lieu toutes les douze heures, à mesure que la germination du grain avance, on recule ces retournées pour ne faire les dernières que toutes les dix-huit, vingt ou même vingt-quatre heures. En général, on ne retourne le grain que lorsqu'il commence à se feutrer.

Pendant toute la germination, la ventilation par l'air frais et humide empêche l'échauffement exagéré du grain. On fixe à l'avance les conditions de température que l'on désire avoir, d'après la nature du malt à obtenir, et on les réalise en réglant le débit de l'air. Les températures peuvent varier ainsi de 10° à 20°, la plus basse température étant appliquée au commencement de la germination. On évite les changements brusques, et on ne laisse monter la température que d'une manière régulière et insensible. L'air qui passe au travers de la couche doit être humide, afin de ne pas provoquer une dessiccation qui arrêterait la vie du germe; sa température doit être réglée en outre, hiver comme été, à 10-12°. On arrive à ce résultat au moyen de l'échangeur.

On utilise parfois une tour portant à l'intérieur une plaque perforée sur laquelle on place une couche de coke. Des pulvérisateurs envoient sur le coke une pluie d'eau froide. L'air, aspiré par un ventilateur, arrive par le bas sous la plaque perforée, traverse la couche de coke et sort humide à la partie supérieure. Ce dispositif a l'inconvénient de ne pas fournir de

l'air saturé d'humidité et de donner lieu parfois à des développements de moisissures. Aussi emploie-t-on aujourd'hui, de préférence un autre système, appelé échangeur. Dans cet appareil, l'air, divisé en minces filets par suite de son passage au travers d'un tamis en planches, rencontre des gouttelettes d'eau qui circulent en sens inverse du courant d'air. L'air prend la température de l'eau, qui lui est amenée en plus ou moins grande quantité suivant la saison et se sature d'humidité. L'eau d'un puits est, en général, la meilleure, pour obtenir l'effet voulu, car sa température est toujours voisine de 10°. En été, l'eau s'échauffant rapidement doit être remplacée d'une façon continue par de l'eau fraîche venant du puits. En hiver, on réchauffe l'eau d'un petit bassin, placé sous l'échangeur, jusqu'à la température voulue, et il suffit de remplacer la perte d'eau produite par l'évaporation.

Avant de monter la couche à la touraille, on peut la faner au moyen d'une ventilation d'air sec.

Pour décharger la case, la porte du devant étant levée, le retourneur sorti est transporté sur son char dans une case voisine. Le grain est enlevé au fur et à mesure au moyen de wagonnets et transporté à l'élévateur à malt vert. Pour les grandes installations, le malt est amené au moyen d'une pelle tirée par un treuil vers le devant de la case, et de là il tombe dans un transporteur à courroie ou à vis qui l'amène à l'élévateur à malt vert. Après vidange, lavage et brossage, la case est prête à être rechargée.

Quand les circonstances ne se prêtent pas à l'installation du retournage mécanique, on peut avoir recours au système préconisé par certains constructeurs, comportant une case unique. Cette case possède autant de compartiments de faux fond qu'il y a de jours de germination, et la longueur de chaque compartiment est égale à celle d'un jet de pelle. L'ensemble représente en somme une série de cases Saladin dont on aurait supprimé les cloisons de séparation. Chaque jour, on fait avancer à la pelle la couche d'un compartiment sur le compartiment voisin. Le pelletage est ainsi beaucoup moins pénible. Certains constructeurs ont d'ailleurs remplacé dans cet appareil le pelletage à main par un retourneur à fourches.

Maltage en tambours. — Le système Galland consiste à effectuer la germination dans des tambours rotatifs où circule un courant d'air humide. Le tambour Galland (fig. 20) est constitué par un cylindre horizontal à double enveloppe formant chambre à air. L'enveloppe intérieure porte six canaux demi-cylindriques percés de trous, et le tambour est muni d'un large tube central perforé. L'air humide, aspiré par un ventilateur, arrive dans la double enveloppe, passe à

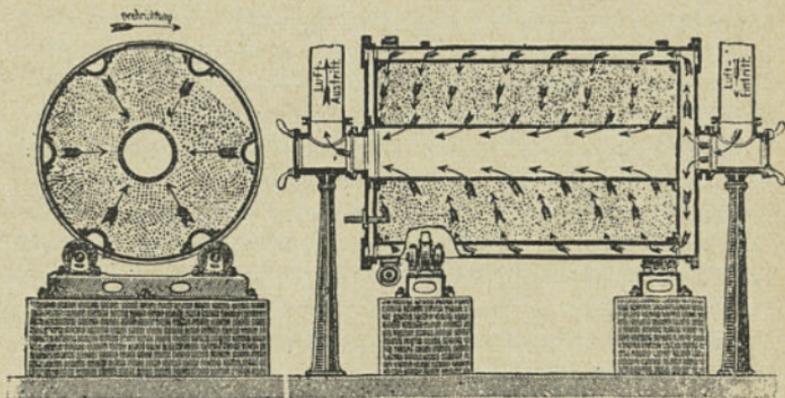


Fig. 20. — Maltage pneumatique, tambours Galland.

travers les canaux demi-cylindriques, traverse le grain et s'échappe par le tube central perforé. La distribution de l'air est ainsi tout à fait uniforme. La contenance des tambours est en général de 8 à 9 mètres cubes. On en a construit de 15 mètres cubes, mais les petits tambours sont plus faciles à conduire que les grands, à cause des parties qui peuvent rester mal ventilées dans les grands appareils.

L'air envoyé dans les tambours doit être très humide, car il s'échauffe en passant à travers le grain et devient ainsi capable d'entraîner plus de vapeur d'eau qu'à son entrée. Si l'air était simplement saturé à l'entrée et à la sortie, on pourrait donc craindre la dessiccation du grain. L'air doit donc être sursaturé, c'est-à-dire chargé de gouttelettes d'eau très fines, au moyen de pulvérisateurs. Telles sont, du moins, les conclusions de Pfahler et Nauck.

Le retournage s'effectue par la rotation du tambour : celui-ci tourne lentement sur des galets, de manière à faire un tour en trente-cinq ou quarante minutes. Comme l'orge ne remplit jamais complètement l'appareil, elle se dispose en niveau incliné par suite de la rotation, et les surfaces se renouvellent constamment, ce qui suffit pour empêcher l'enchevêtrement des radicelles.

Pour effectuer la germination, on place l'orge dans le tambour, et on règle la température, comme pour le maltage en cases, en faisant varier le débit de l'air. Les retournages se font en moyenne quatre fois par jour, d'abord pendant deux ou trois heures, puis pendant quatre ou cinq heures chaque fois. Il est parfois nécessaire d'arroser dans le tambour, au moyen d'un dispositif spécial, vers le cinquième ou sixième jour de la germination, si le grain se dessèche. D'après Briant et Vaux, le mode de travail suivant convient pour un grand nombre d'orges. On fait d'abord faire un tour, sans aérer, puis on abandonne au repos. Après quelques heures, on fait tourner pendant une demi-heure, en faisant passer de l'air pour abaisser la température à 14°-15°. On abandonne au repos, sans aération, pendant peu de temps. On recommence à tourner en aérant, et on maintient la température vers 15° pendant cinq jours, en tournant quand c'est nécessaire. On arrose au cinquième ou sixième jour, selon l'aspect du grain, avec 75 à 120 litres d'eau par 1.000 kilogrammes d'orge, et on maintient la température à 15° jusqu'au neuvième jour, en tournant fréquemment. Du dixième au onzième jour, on élève la température à 17°, et on remplace l'air humide par de l'air sec pour faner le grain.

La quantité d'air qui traverse les tambours dépend de la température du grain, et elle est maxima au moment où la germination est la plus active. On a calculé que, pour un tambour de 100 quintaux, la quantité moyenne d'air injecté est de 1^{mc},6 par seconde ; mais ce chiffre peut varier considérablement aux diverses époques de l'année.

Quant à la force motrice, Briant et Vaux l'évaluent à 15 chevaux pour une malterie de 12 tambours de 9 mètres cubes, Bleisch, qui a étudié sous ce rapport une malterie com-

portant huit tambours de 100 quintaux, donne au sujet de la production, de l'espace et de la force motrice les renseignements suivants. La malterie fournit par an, avec trois cents jours de travail, 24.000 quintaux de malt touraillé. La surface totale de la malterie est de 1.057 mètres carrés ; le personnel de neuf hommes. Quant à la force motrice, il faut compter qu'on a en moyenne deux tambours en mouvement, qui consomment un à deux chevaux ; les ventilateurs exigent 8 chevaux, et les pompes à air et à eau prennent 14 à 15 chevaux. On voit par ces chiffres que la dépense en force motrice dans le maltage pneumatique provient surtout des ventilateurs et des pompes, et que le mouvement des tambours eux-mêmes ne correspond qu'à une dépense minime.

Comparaison du maltage au germoir et du maltage pneumatique. — La méthode de maltage au germoir présente un certain nombre d'inconvénients. D'abord, il est difficile de germer convenablement dans les fortes chaleurs de l'été : la température est trop élevée et la germination trop rapide ; il se produit, par suite, des développements de moisissures, et le malt obtenu est défectueux. La germination pneumatique, qui permet d'envoyer dans les appareils de l'air froid et saturé d'humidité, rend possible un travail régulier pendant toute l'année.

La méthode au germoir exige un emplacement très considérable ; c'est parfois un gros inconvénient pour les brasseries qui veulent augmenter leur production : l'emplacement pour les germoirs fait presque toujours défaut. Avec la germination pneumatique, l'orge est travaillée sous une épaisseur beaucoup plus grande ; le travail a lieu toute l'année ; le retournement se fait sur place dans les appareils eux-mêmes. Aussi on peut compter en moyenne qu'on produit avec une même surface cinq à six fois plus de malt avec la méthode pneumatique qu'avec la méthode au germoir.

Le maltage au germoir exige une main-d'œuvre assez élevée ; le personnel peut être réduit beaucoup avec le maltage pneumatique ; mais, dans un système comme dans l'autre, il est nécessaire d'avoir recours à des ouvriers consciencieux et expérimentés.

Dans le travail au germoir, l'élimination de l'acide carbonique produit et le refroidissement du grain sont effectués d'une façon tout à fait discontinue, puisqu'ils dépendent avant tout des pelletages. Il est donc impossible de maintenir la couche à une température invariable et de placer tous les grains dans les mêmes conditions d'aération. L'élimination de l'acide carbonique est parfois insuffisante, surtout quand la ventilation du germoir est mauvaise. Le travail pneumatique permet, au moins en principe, de régler d'une façon absolue le degré d'humidité, la température et la quantité d'air convenable et d'assurer d'une façon continue l'élimination de l'acide carbonique et le refroidissement du grain.

La germination pneumatique présente, en outre, un certain nombre d'autres avantages : les constructions en sous-sol ne sont plus nécessaires ; il n'y a plus de grains endommagés par les pelletages. Elle a, par contre, des inconvénients que ne possède pas le maltage au germoir : elle exige notamment un matériel compliqué et une force motrice assez élevée ; l'installation, qui est difficile, doit être faite très soigneusement ; en outre, le réglage du travail est délicat et demande un contre-maître expérimenté.

Les difficultés de plus en plus grandes qu'éprouvent les malteurs à trouver de bons ouvriers pelleteurs les ont engagés à recourir beaucoup aujourd'hui aux systèmes pneumatiques. Cependant le maltage sur aire paraît toujours préférable pour les petites malteries, le maltage pneumatique s'appliquant avec plus d'avantages aux malteries importantes. Il y a lieu de tenir compte aussi des conditions particulières de chaque brasserie : les usines qui ont besoin, en été, d'un personnel beaucoup plus nombreux qu'en hiver préfèrent, en général, conserver le maltage sur germoir, qui leur permet d'utiliser toute l'année des ouvriers qu'on ne pourrait que difficilement trouver dans la période d'été.

Les observations relatives à la comparaison des malts produits au germoir avec ceux que donnent les appareils pneumatiques sont assez contradictoires. Il est certain que le maltage pneumatique est susceptible de donner des malts de très bonne qualité. Avec les mauvaises orges, on peut obtenir

des malts meilleurs qu'avec la méthode au germoir, car on peut mieux régler le travail et donner les conditions nécessaires pour arriver à une germination satisfaisante. Dans les conditions ordinaires, la perte au maltage paraît être un peu moindre avec la germination pneumatique, car on peut plus facilement maintenir les températures basses. Au sujet du rendement en extrait et du pouvoir diastasique des malts obtenus par les deux méthodes, les observations sont assez variables. Pfahler et Nauck, en comparant au point de vue du rendement en extrait un même malt germé, partie dans un tambour, partie au germoir, n'ont observé que des différences insignifiantes. D'autres expérimentateurs ont trouvé, par contre, une augmentation du rendement en extrait. Les mêmes divergences se reproduisent au point de vue du pouvoir diastasique : certains auteurs attribuent au malt pneumatique un pouvoir diastasique plus élevé, d'autres un pouvoir diastasique plus faible. Il est probable que ces différences dans le rendement en extrait et dans le pouvoir diastasique sont peu sensibles et dépendent des conditions d'expérimentation et de la nature des orges traitées.

Maltage par le procédé Kropf. — Windisch a fait remarquer que l'on peut distinguer dans la germination deux phases : une phase biologique qui comporte la sécrétion des diastases indispensables et s'accompagne de pertes par respiration, et une phase chimique pendant laquelle les diastases présentes produisent les transformations utiles sans entraîner de pertes de matière sèche. Comme la production des diastases est à peu près achevée au quatrième ou au cinquième jour de la germination, il semble inutile, à partir de ce moment, de favoriser des phénomènes de respiration qui ne peuvent qu'augmenter les pertes. En arrêtant donc le contact de l'air, on supprime ou on réduit la respiration, et les diastases produites peuvent continuer leur action pour aboutir, sans perte supplémentaire, à la désagrégation voulue.

Ce principe a été appliqué par Kropf dans son procédé de maltage sous acide carbonique. Le malt demeure d'abord quatre ou cinq jours au germoir pour la production des diastases, puis il est introduit dans des caisses où il séjourne, en couches d'un mètre d'épaisseur pendant quatre jours, sans autre ventilation que pendant trente minutes environ deux fois par jour. Les phénomènes de respiration s'arrêtent, par suite de l'accumulation de l'acide carbo-

nique, et l'action des diastases se continue jusqu'à désagrégation complète.

Les résultats fournis par cette méthode n'ont pas justifié complètement les vues théoriques de Windisch. L'expérience pratique a prouvé, en effet, que pendant la phase chimique on ne peut pas supprimer totalement la respiration du germe. Il est indispensable d'aérer de temps à autre pour entretenir une légère respiration, sinon le grain meurt et il se produit alors une sorte d'autodigestion qui donne une masse collante, épaisse, gélatineuse, due à l'exagération de l'action des diastases protéolytiques; le malt prend une mauvaise odeur, rance et acide, et se colore trop fortement à la touraille. Ces inconvénients disparaissent en aérant toutes les douze heures avec un air à 80 p. 100 seulement d'humidité, en fanant le malt avec soin et en élevant plus lentement la température à la touraille.

Kropff a perfectionné son système en se passant de la germination ordinaire pendant la période de croissance. Le grain trempé reste quarante-huit heures dans une case, puis quarante-huit heures dans une seconde case et enfin quatre jours dans les cases de dissolution.

Le principe de cette méthode peut être facilement appliqué à la germination en tambours, à condition de fermer hermétiquement l'axe. Dans ce cas, on conduit la germination comme d'habitude jusqu'au quatrième jour, puis on fait passer un fort courant d'air pendant deux ou trois heures dans le tambour en rotation, et on ferme tous les orifices. On fait faire un tour au tambour toutes les trois ou quatre heures pendant la période de fermeture, et on aère toutes les douze heures avec de l'air à 60-70 p. 100 d'humidité relative. La température de l'air doit être environ de 12° à l'entrée, de 17° à la sortie: on aère jusqu'à ce qu'elle s'abaisse à 13°-14° à la sortie, ce qui demande une heure à une heure et demie, avec rotation du tambour. La méthode conduit à des résultats satisfaisants: la perte au maltage est réduite de 1,5 à 2 p. 100; les radicules sont sensiblement moins longues et la désagrégation est bonne.

Fanage du malt. — Quand la germination a atteint le point voulu, on l'arrête en enlevant de l'eau au malt vert, soit en le portant directement à la touraille, soit en procédant au préalable au fanage du malt.

Le fanage du malt peut se pratiquer soit au germoir, soit dans un grenier de fanage, soit enfin sur un plateau de fanage de la touraille. Si on effectue le fanage au germoir, il faut que la surface disponible soit assez grande pour qu'on puisse étaler le malt sous une couche très mince. On fait alors de nombreux pelletages à la volée, eu donnant à la couche une épaisseur de 4 à 5 centimètres seulement. L'humidité du grain décroît ainsi lentement, les radicules se fanent, et, bien que la plumule continue à pousser légèrement, il n'y a plus de perte sensible de matière sèche. On peut

effectuer aussi cette opération dans un grenier spécial de fanage ou sur un plateau de fanage placé à la partie supérieure de la touraille, sur lequel on place le malt en couche mince et qui est traversé par un courant d'air.

Avec les appareils pneumatiques, le grenier de fanage est inutile, et l'opération s'effectue très aisément, dans les cases ou dans les tambours, en faisant circuler de l'air sec.

Le fanage est une opération qui est beaucoup trop délaissée aujourd'hui. Ses avantages sont les suivants : le malt fané arrive moins humide à la touraille ; on évite ainsi la formation de grains vitreux, on diminue la durée du touraillage, car on peut élever la température plus rapidement, et on obtient plus facilement des malts pâles, car le grain est plus sec et se colore moins par le chauffage. En outre, pendant le fanage, la désagrégation du grain se continue lentement et devient plus parfaite.

La pratique du fanage a cependant ses détracteurs, qui prétendent qu'elle est inutile avec les tourailles modernes bien construites, et qu'elle favorise la formation des moisissures. La première objection n'est pas toujours exacte, car sur la touraille la couche de malt est souvent trop épaisse et la température trop élevée. La seconde ne paraît pas meilleure, car on n'observe des moisissures au fanage que s'il s'en est développé déjà au germe.

Le fanage peut donc rendre de réels services pour la fabrication des malts pâles. Par contre, il n'est pas recommandable pour les malts foncés, genre Munich.

IV. — TOURAILLAGE

Le touraillage du malt est une des opérations les plus importantes de la fabrication, et il a une influence très considérable sur le travail ultérieur du brassage et sur la couleur et la saveur de la bière. Cette opération a pour but d'arrêter la germination de l'orge quand elle a atteint le degré voulu, en supprimant l'humidité qui lui est nécessaire. Le touraillage permet, en outre, de conserver le malt sans altération pour l'employer au fur et à mesure des besoins. Il a également pour résultat de réduire la quantité de diastases : celle-ci est trop élevée dans le malt vert, et elle conduirait à la production de bières instables, sans moelleux, et sans corps. Enfin le touraillage permet de produire d'importantes transformations des principes du grain et de développer dans le malt un arôme spécial et une coloration plus ou moins accentuée.

Le touraillage s'effectue, en principe, en plaçant le malt vert sur des plateaux dans des étuves spéciales appelées tourailles, traversées par un courant d'air ou de gaz chauds, et en portant ainsi le grain à la température voulue.

Étude théorique du touraillage.

Phénomènes qui se produisent dans le grain pendant le chauffage. — Tant que la température n'atteint pas 44° C., les phénomènes vitaux persistent dans le grain. Grüss a montré que la croissance de la plumule se continue si la température s'élève lentement, et elle se manifeste encore au-dessus de 30°, surtout si l'air est humide. Cet allongement de la plumule s'accompagne d'une élévation du taux des sucres réducteurs et du saccharose. Gordon Salamon a observé qu'il se produit souvent, dans cette période de début du chauffage, une augmentation du pouvoir diastatique lorsque la température est basse et l'humidité du malt élevée.

Au-dessus de 44°, la vie de l'embryon est paralysée : on n'observe par suite aucun allongement de la plumule si on élève rapidement la température. Les diastases commencent à s'affaiblir, et on constate, par exemple, sous l'influence du séjour prolongé à 40°-45°, une diminution graduelle du pouvoir diastatique (Schulte im Hof, Gordon Salamon). Mais ces diastases n'en continuent pas moins leur action à ces températures : la proportion des matières azotées solubles augmente, surtout celle des peptones (Schulte im Hof) ; il se forme encore un peu de sucres, et surtout des produits de doublement de l'amidon, notamment des dextrines (Bleisch). Ces actions diastatiques sont variables avec la température et avec le degré d'humidité du grain ; elles sont d'autant plus actives que le grain est plus humide et que la température est plus voisine de l'optimum de la diastase considérée. En présence de quantités d'eau suffisantes à 55°-60°, il y a dégradation assez active des hydrates de carbone et des matières azotées par les diastases : il se forme du sucre et des composés aminés, qui jouent le rôle capital, comme nous le verrons plus loin, dans le développement de l'arôme et de la couleur lors du chauffage du grain à haute température. Peu à peu, les actions diastatiques se ralentissent par suite de la dessiccation progressive du grain, et la température à laquelle elles sont arrêtées dépend de la rapidité plus ou moins grande du séchage. En pratique, on peut considérer que, quand l'humidité est descendue à 7 ou 8 p. 100, les actions diastatiques s'arrêtent.

Au-dessus de 60°, la dessiccation s'achève et les diastases continuent à s'affaiblir par le chauffage. La résistance des diastases est plus faible à l'état humide qu'à l'état sec, et l'action nocive

d'une même température est d'autant plus forte qu'elle est prolongée plus longtemps. L'affaiblissement dépendra donc à la fois du degré de température, de la durée du chauffage et de l'état d'humidité du grain. L'amylase, la peptase et les autres diastases seront donc plus ou moins affaiblies. Voici un exemple, dû à Gordon Salamon, qui indique les variations du pouvoir diastasique pendant toute l'opération du touraillage :

Temps.	Température, sur le plateau.	Pouvoir diastasique.	Humidité p. 100.
4 heures 1/2.	31°	72,6	40,18
16 —	38°	74,29	19,40
25 —	41°	55,11	13,58
29 —	49°	45,59	5,32
42 —	69°	42,94	5,18
44 —	88°	31,96	2,17
Fin.	88°	22,99	1,95

Nous retrouvons ici l'augmentation du pouvoir diastasique au début du touraillage, signalée plus haut, puis un affaiblissement graduel, qui devient considérable quand la température atteint 80°.

Quand la température dépasse 80° C., l'affaiblissement des diastases se continue; mais, comme le degré d'humidité du grain est à ce moment très faible si l'opération a été bien conduite, la destruction complète ne peut avoir lieu à ces températures, car la résistance des diastases à l'état sec est beaucoup plus grande qu'à l'état humide. En outre, les matières azotées subissent des transformations importantes: il y a coagulation des matières albuminoïdes; la teneur du grain en azote soluble diminue, et cette diminution dépend surtout de la température finale et de la durée du chauffage. Il y a, en outre, diminution du rendement du malt en extrait à partir de 80°, mais cette variation reste faible jusqu'à 100°-110°.

D'après Schjerning, la coagulation des albumines ne commence qu'à 90°; elle est accélérée quand le grain est encore assez humide. L'action peptique s'affaiblit à partir de 100° et l'action tryptique à une température de quelques degrés inférieure. L'acidité s'accroît jusqu'à 100° et décroît ensuite.

Enfin, à température élevée, les composés aminés formés pendant le séjour à 50°-60° réagissent sur les sucres en donnant naissance à l'arôme du malt et à sa coloration. Le rôle probable des matières azotées dans la production de l'arôme et de la couleur a été d'abord signalé par Matthews et Lott. Ensuite Ling et plus tard Duncan ont indiqué que le concours de l'humidité, d'une combinaison aminée et du sucre était nécessaire pour l'apparition de la couleur et de l'arôme. Maillard avait déjà montré autrefois qu'en chauffant au

bain-marie du glyocolle avec une solution de glucose il se produit une coloration de plus en plus foncée, avec dégagement d'acide carbonique. Lintner a repris ces expériences en chauffant avec du glucose les produits de dégradation de l'hordéine, tels que le glyocolle, l'alanine, la valine, etc., et il a constaté également des colorations et des arômes variables avec la nature des acides aminés. Le glyocolle donne par exemple des produits très colorés et peu aromatiques; l'alanine et la leucine donnent des produits moins colorés et d'arôme plus agréable.

Les expériences qui précèdent montrent que la formation de produits colorés et aromatiques, dans le chauffage final du malt à température élevée, est due à l'action des sucres sur les produits de dégradation des matières azotées de l'orge et notamment sur les acides aminés. Petit a constaté en outre que, dans le touraillage, il se dégage toujours un peu d'ammoniaque, en quantité croissante avec la température, et cette ammoniaque intervient probablement aussi, au contact des sucres, pour donner de la coloration.

D'après les expériences de H. T. Brown, la température finale de touraillage n'a qu'une influence minime sur la quantité totale d'azote soluble qui peut être extrait du malt achevé; mais Schjerring a vu que le touraillage à une température élevée fait disparaître par coagulation les matières azotées nuisibles formées pendant une germination défectueuse.

La teneur finale du malt en eau n'est plus que de 1 à 3 p. 100 environ au sortir de la touraille.

Conditions à réaliser dans la pratique. — Nous voyons, par ce qui précède, que la dessiccation du grain devra se faire avec certaines précautions. Le touraillage doit réduire la quantité de diastases contenues dans le malt, sans cependant la supprimer; il doit produire dans le grain les transformations nécessaires, suivant la nature du malt à obtenir, et respecter la désagrégation obtenue au germe.

Pour ce qui concerne les diastases, leur résistance est faible à l'état humide et élevée à l'état sec. Il en résulte que, pratiquement, la dessiccation doit s'opérer au début lentement et à basse température, tant que le grain est encore très humide. Quand celui-ci est suffisamment sec, on peut sans inconvénient chauffer davantage pour torréfier le malt à la température convenable. Le chauffage, effectué avec ces précautions, ne détruit qu'une partie de ces diastases, et la proportion détruite varie avec le degré d'humidité du malt et avec la température finale. Elle est d'autant plus grande que le malt a été chauffé

plus humide au début et que la température finale est plus élevée. Donc, un malt germé long, riche en diastases, pourra supporter une température plus élevée et être chauffé plus humide qu'un malt germé court.

Le touraillage doit produire dans le grain les transformations nécessaires suivant la nature du malt à obtenir. Au début du touraillage, si on place le grain encore très humide à une douce température, les actions diastasiques se manifestent avec énergie ; la désagrégation peut alors aller trop loin et conduire à un malt forcé, incapable de donner des bières moelleuses. En outre, nous verrons plus loin qu'on risque de former ainsi des grains vitreux. Quelle que soit la nature du malt à produire, il est donc nécessaire de ventiler fortement au début pour éliminer une grande partie de l'eau du grain et réduire l'action des diastases. S'il s'agit alors de fabriquer un malt coloré, il faut laisser se former les sucres et les produits de dédoublement des matières azotées qui donneront, dans le travail ultérieur, l'arôme et la coloration voulus. Pour réaliser cette condition, on porte à 60°-65° le malt quand il contient encore 15 p. 100 d'eau, pour favoriser l'action des diastases. La teneur en eau ne doit pourtant pas dépasser sensiblement le chiffre de 25 p. 100, car cette action des diastases deviendrait trop forte, et l'amande subirait des transformations nuisibles. On porte ensuite le malt peu à peu jusqu'à 105°, de manière à développer l'arôme et la coloration.

S'il s'agit de fabriquer un malt pâle, il faut sécher le grain avec précaution, mais très rapidement. On doit en effet éviter ici l'action des diastases et la formation des sucres qui donneraient, par le chauffage ultérieur, une coloration nuisible. Il faut donc chercher à abaisser le plus vite possible la teneur du malt en eau à 6 ou 8 p. 100, sans dépasser la température de 50°. Quand ce degré de dessiccation est atteint, nous avons vu que l'action des diastases se trouve paralysée. On peut alors chauffer jusqu'à 80°-85° sans colorer le malt : cette température finale assez élevée est indispensable, comme nous le verrons, pour développer dans le malt pâle l'arôme nécessaire et assurer sa bonne conservation.

Enfin le touraillage doit respecter la désagrégation obtenue

au germe. Or, il arrive parfois, quand l'opération est mal conduite, que les grains deviennent durs, prennent un aspect vitreux et donnent au brassage un rendement inférieur. Cet accident se manifeste surtout quand on porte le malt encore très humide à une température élevée. On a cru pendant longtemps que ce fait était dû à la formation d'empois d'amidon dans le malt chauffé à l'état humide. Grüss a montré que cette explication est inexacte. En étudiant des malts vitreux, ce savant a constaté qu'ils renferment une quantité plus grande de sucres réducteurs. Les diastases saccharifiantes présentent donc une suractivité dans le touraillage qui donne naissance au malt vitreux ; en outre, la cytase exagère aussi son action et gélifie les membranes cellulaires, en donnant une sorte d'empois cellulosique qui englobe les grains d'amidon. Les grains montrent ainsi au centre un noyau vitreux insoluble formé par cette pâte cellulosique. Cet accident ne peut se produire qu'à la suite de fautes graves dans le touraillage, et en particulier à la suite de la surechauffe du malt quand il est encore très humide. Dans ces conditions, les substances gommeuses produites par la cytase pénètrent dans le corps farineux, et il se produit une masse dure et vitreuse. Au contraire, si le grain est assez sec, cette pénétration ne peut se faire ; il y a une dilatation de l'air contenu dans le grain quand celui-ci est fortement chauffé, et on obtient ainsi un malt gonflé et friable. Pour éviter la formation de grains vitreux, on devra donc réaliser la même condition que pour l'affaiblissement rationnel des diastases, c'est-à-dire la première dessiccation à basse température.

Les matières albuminoïdes peuvent également, au cours du touraillage, se coaguler autour des grains d'amidon, en donnant ainsi au malt l'aspect vitreux ; mais les zones vitreuses ainsi produites se rencontrent surtout à la partie périphérique et ventrale du grain ainsi qu'à l'extrémité opposée à la radicule, au lieu de former au centre un noyau vitreux comme dans le cas précédent. Wimmer et Luff ont montré que ce sont les portions de malt vert qui ne sont pas désagrégées qui deviennent ainsi vitreuses, même quand on touraille avec précaution. La désagrégation insuffisante du grain peut donc

amener la production de grains vitreux : dans ce cas, le phénomène se distingue de celui qu'a signalé Grüss par la disposition dans le grain des parties vitreuses, et il est sous la dépendance du travail au germe plus que du travail à la touraille.

Étude pratique du touraillage.

Tourailles. — La touraille est un bâtiment constitué essentiellement par un foyer, une chambre de chaleur et un ou deux plateaux sur lesquels on dispose le malt à tourailler. Elle est terminée par une cheminée. On peut distinguer deux types de tourailles : les tourailles à feu direct, dans lesquelles la dessiccation est obtenue par le passage, à travers la masse de l'orge, des gaz produits par le foyer ; et les tourailles à air chaud, dans lesquelles les gaz du foyer échauffent de l'air qui pénètre dans la touraille et traverse l'orge en la desséchant. Dans le premier cas, le touraillage est donc effectué avec les gaz mêmes de la combustion ; et, dans le second cas, avec de l'air chauffé par ces gaz.

Nous décrivons d'abord les divers types de tourailles, et nous comparerons ensuite leurs avantages et leurs inconvénients respectifs.

Tourailles à feu direct. — Les tourailles à feu direct sont les plus anciennes, et on les rencontre en France et en Angleterre dans un très grand nombre de brasseries. Il existe divers dispositifs de ce genre dont un des plus répandus est le suivant : la touraille (fig. 21) se compose d'un bâtiment à section carrée portant à la partie inférieure un foyer. Ce foyer est enfermé dans une colonne de maçonnerie qui s'élève jusqu'à une première chambre appelée chambre de chaleur. Dans cette chambre, se mélangent en proportions voulues l'air froid et les gaz chauds du foyer, de manière à avoir une température finale convenable. A cet effet, le massif de maçonnerie du foyer porte sur ses quatre côtés une prise d'air froid qu'on peut fermer plus ou moins à l'aide de registres. L'air froid et les gaz chauds sont répartis aussi également que possible dans la chambre de chaleur par un certain nombre de carneaux percés de trous et formant étoile. Les plateaux sur lesquels

le malt est étalé se trouvent au-dessus de la chambre de chaleur. Il y en a tantôt un seul, tantôt deux. Enfin, à la partie

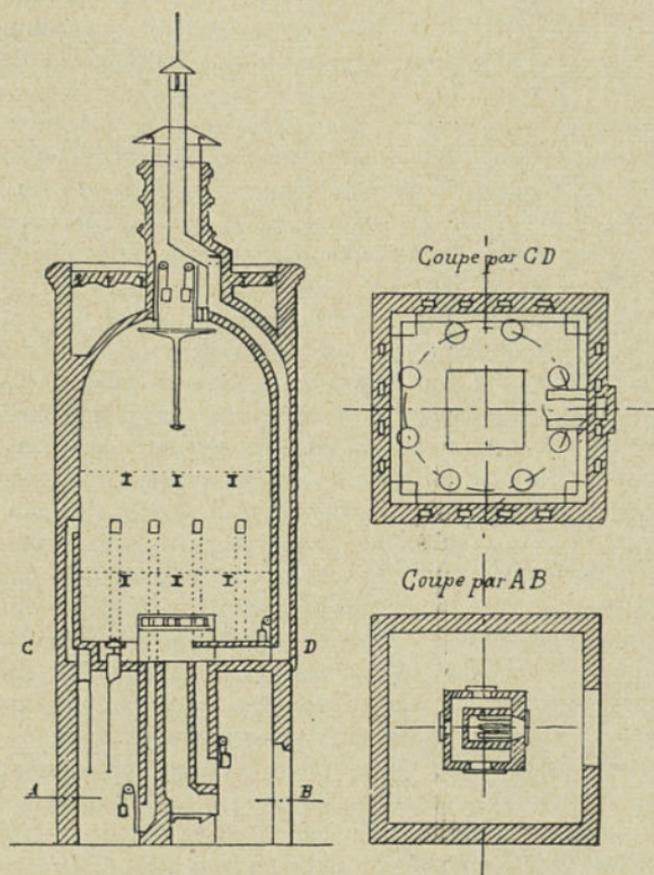


Fig. 21. — Touraille à feu direct.
(Crépelle-Fontaine, à la Madeleine-lez-Lille.)

supérieure, la touraille se termine par une cheminée de tirage qui évacue au dehors les gaz et la vapeur d'eau.

On emploie parfois pour ces tourailles le foyer Perret, dans lequel la grille est remplacée par une série de voûtes superposées sur lesquelles on brûle des poussières de coke. On fait

passer deux fois par jour le chargement d'une voûte sur la voûte qui est au-dessous, et on recharge la voûte supérieure d'une couche de cendres de coke. Ce foyer est parfois avantageux pour les petites tourailles ; on y emploie un combustible très peu coûteux, mais le coup de feu final est difficile à donner avec cet appareil.

Tourailles à air chaud. — Dans les tourailles à air chaud, la disposition est identique, sauf pour le foyer, l'admission de l'air et la chambre de chaleur. Dans ce cas, les gaz du foyer échauffent une série de tuyaux dans lesquels ils circulent, tandis que l'air froid s'échauffe à leur contact et se dirige vers les plateaux de la touraille.

Il existe divers types de tourailles à air chaud. Un premier type, qui est très répandu en Allemagne, se compose d'un fourneau surmonté d'un tuyau qui s'élève jusqu'à la chambre de chaleur. Là, ce tuyau se recourbe, soit en formant horizontalement une série de sinuosités concentriques, soit en s'enroulant et en s'élevant peu à peu de manière à former une sorte d'escargot sous le premier plateau. Les gaz chauds parcourent ce tuyau, puis sont évacués dans une cheminée latérale située dans le mur ; ils sont conduits ainsi dans un tube placé au centre de la cheminée de ventilation située au haut de l'appareil et s'échappent au dehors. L'air entre dans la chambre de chaleur par de nombreux orifices dont on peut régler l'ouverture, et vient s'échauffer au contact des tuyaux. Souvent les gaz du foyer, après avoir parcouru les tubes de la chambre de chaleur, redescendent dans la chambre située au-dessous, appelée chambre de réchauffage, et y parcourent une seconde tuyauterie, avant de s'échapper dans la cheminée d'où le nom de tourailles à retour qu'on donne fréquemment à ces appareils. L'air froid du dehors entre alors dans la chambre de réchauffage, où il est porté à 40°-45°, puis passe dans la chambre de chaleur, où il atteint le degré voulu. On utilise ainsi la chaleur perdue des gaz de la chambre supérieure pour réchauffer l'air froid, d'où une économie de combustible. La section des tuyaux qui parcourent la chambre de chaleur est en forme de cœur, la pointe étant tournée vers le haut. Cette disposition empêche les radicelles qui s'échappent du

plateau de séjourner à la surface des tuyaux et d'y produire de la fumée.

Dans d'autres systèmes, les gaz du foyer circulent dans une série de tubes métalliques, puis sont évacués dans un conduit latéral, d'où ils gagnent la cheminée supérieure de la touraille. L'air froid pénètre sur les côtés du bâti de maçonnerie qui forme le fourneau, circule autour des tubes en s'échauffant et se répartit dans la chambre de chaleur, sous le premier plateau, par un certain nombre d'orifices. Souvent, les gaz chauds, au lieu d'être évacués dans la cheminée à la sortie des tubes du calorifère, parcourent un tuyau recourbé en escargot et placé dans la chambre de chaleur. Ces appareils constituent donc une combinaison du type précédent avec le premier type. Tel est le cas de l'appareil représenté par la figure 22. Il se compose d'une caisse en tôle et en maçonnerie qui reçoit un certain nombre de tubes en tôle d'acier, dans lesquels plongent des contre-tubes d'appel d'air en tôle galvanisée. Les tubes en acier sont fermés hermétiquement à leur extrémité inférieure et suspendus par leur partie supérieure à une plaque tubulaire : ils sont chauffés par un

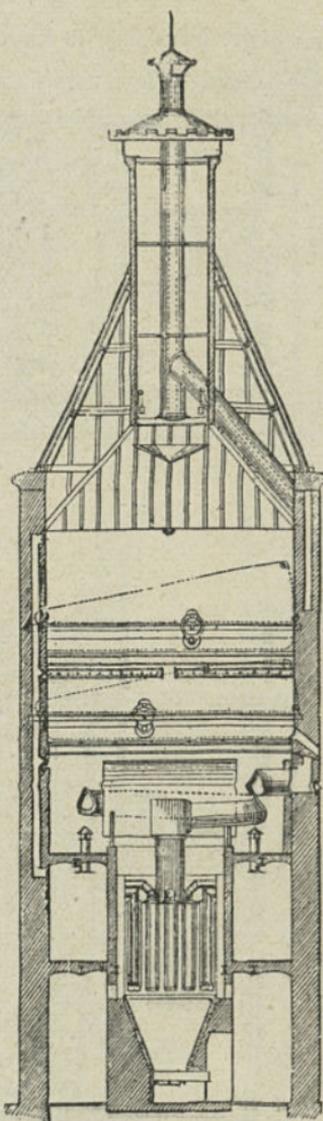


Fig. 22. — Touraille avec calorifère, système Bourdon.
(Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville.)

feu disposé au bas de l'appareil. Les gaz chauds circulent, en

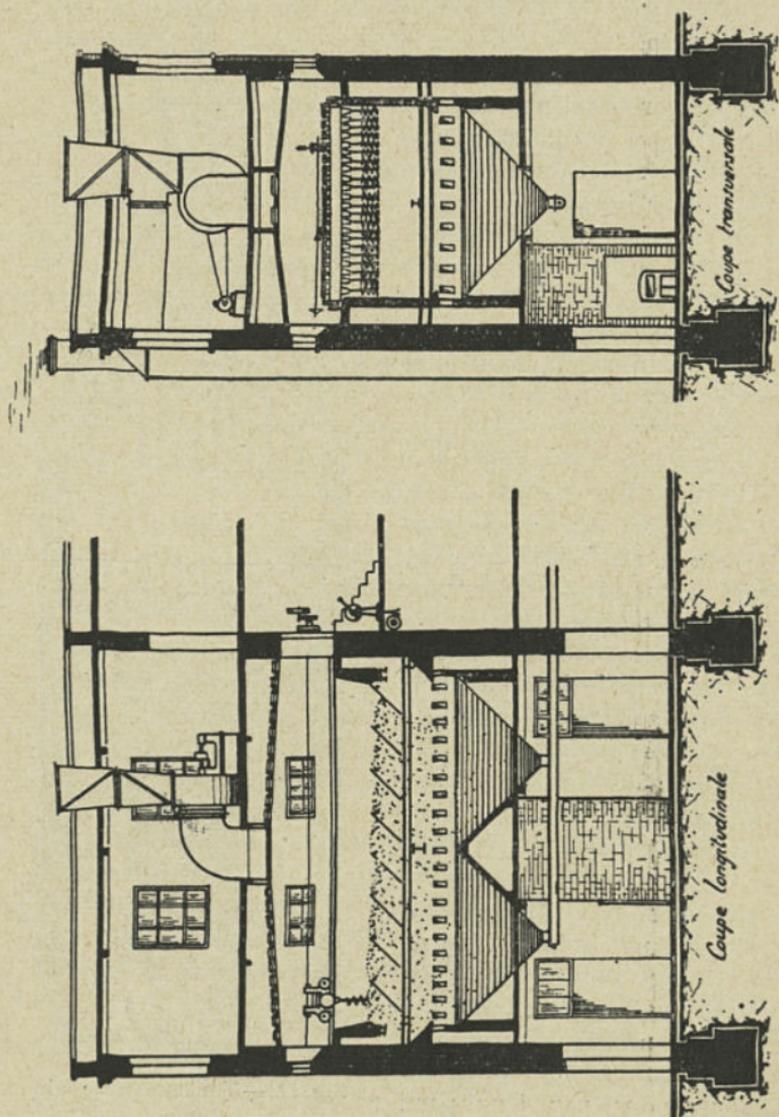


Fig. 23. — Touraille universelle à un plateau à couche épaisse. (Diebold et C^{ie}, Nancy.)

outre, dans un tube recourbé placé dans la chambre de chaleur avant d'être évacués dans la cheminée latérale. Ce type

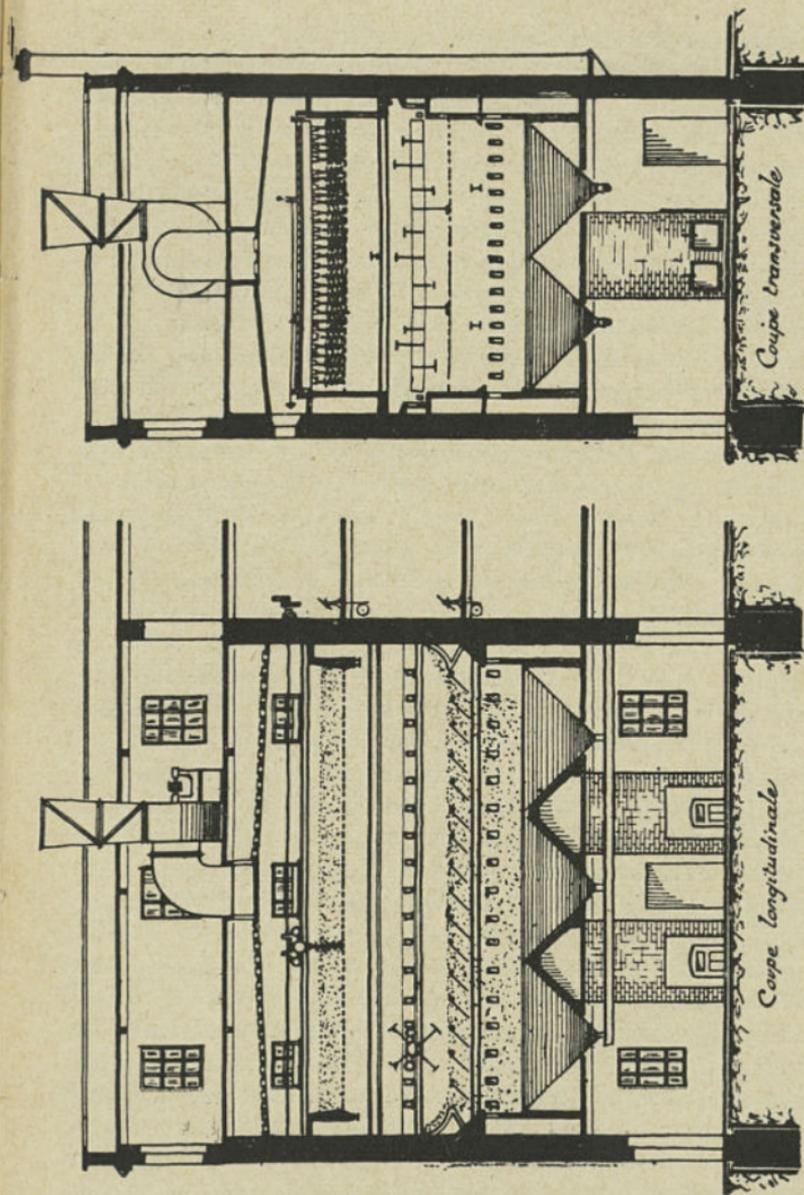


Fig. 24. — Touraille universelle à deux plateaux à couche épaisse. (Diebold et C^{ie}, Nancy.)

de tourailles, qui permet d'atteindre des températures très

élevées, est particulièrement recommandable pour la fabrication des malts colorés.

On a construit aussi des tourailles à calorifère à trois plateaux avec agencement d'une chambre de chaleur intermédiaire, qui rend les deux plateaux supérieurs indépendants du plateau inférieur, tant comme température que comme ventilation. Nous reviendrons plus loin sur cette question.

En appliquant à la touraille la ventilation mécanique et le retourneur à hélice analogue à celui qui est employé dans les cases de germination pneumatique, on construit aussi des tourailles qui permettent de traiter le malt vert sous couches de 50 centimètres et d'obtenir ainsi un rendement en malt beaucoup plus considérable par mètre carré de surface, tout en réduisant notablement la dépense en combustible. La figure 23 représente une de ces tourailles à simple plateau et la figure 24 une touraille à double plateau du même système. Ces tourailles se composent essentiellement d'un ou deux grands plateaux, dont les jalousies permettent le déchargement instantané et la remise en place automatique. L'air chaud provenant du calorifère est réparti également sous toute la surface du plateau par des lumières ménagées dans les murettes latérales de la touraille. Le tirage est obtenu par un ventilateur aspirant placé à la partie supérieure; la cheminée de la touraille est ainsi supprimée. Un dispositif spécial fait retourner au calorifère, au moment du coup de feu, l'air chaud aspiré à travers la couche, dans le but d'empêcher toute déperdition d'arome et d'économiser le combustible. Le malt touraillé tombe dans des trémies, d'où des vis le conduisent à la dégermeuse.

Ce système permet de réduire beaucoup l'encombrement en surface et la hauteur des constructions, de tourailler en couches épaisses, ce qui augmente notablement la puissance de production par mètre carré de surface, de diminuer la dépense en combustible, de décharger instantanément et automatiquement la touraille de l'extérieur, etc.

Plateaux des tourailles. — Les plateaux des tourailles sont tantôt en tôle perforée, tantôt en fils d'acier ronds, ou mieux triangulaires. Les plateaux en tôle perforée ont l'inconvénient

de se boucher facilement avec les grains et de n'offrir pour le passage de l'air qu'une faible partie de la surface totale. Les plateaux en fils d'acier sont préférables.

Les tourailles ont tantôt un plateau, tantôt deux, tantôt trois. Les tourailles du modèle ordinaire, à un plateau, permettent de régler les températures et les débits d'air uniquement pour ce plateau unique, sans avoir à se préoccuper de l'influence qu'ils peuvent exercer sur un second plateau qui demande plus ou moins de température ou d'air. Le travail sur la touraille à un seul plateau est donc plus facile à conduire. Mais le rendement en malt, par mètre carré de surface occupée, est très faible avec ces appareils, à moins de recourir aux modifications que nous avons étudiées précédemment, comportant l'usage du tirage artificiel continu et du retourneur à hélices, ou à des procédés spéciaux de travail que nous signalerons plus loin.

Les tourailles ordinaires à deux plateaux sont plus économiques sous le rapport de la production de malt et de la dépense en combustible; mais le réglage du travail de chaque plateau est beaucoup plus délicat, car les deux plateaux sont solidaires au point de vue de la température, à moins d'adopter certains dispositifs particuliers. Quand on donne au plateau inférieur la température finale assez élevée qui lui est nécessaire, on risque de chauffer trop fortement le plateau supérieur qui est chargé de malt encore assez humide, et inversement si on donne au plateau supérieur la température assez basse qui convient, le malt n'est pas suffisamment touraillé sur le plateau inférieur. Pour obvier à cet inconvénient, on réserve parfois des ouvertures dans le plateau supérieur, ou on laisse certains points du plateau sans chargement: l'air chaud passe ainsi, au moment du coup de feu final, par les ouvertures, qui offrent une moindre résistance, et non par le malt. Ce procédé est tout à fait insuffisant et entraîne de grandes pertes de calorique. On peut également laisser entrer de l'air froid sous le plateau supérieur, quand la température tend à s'élever trop haut. Dans ce but, des ouvertures munies de registres sont pratiquées dans les murs de la touraille, sous le plateau supérieur. On obtient ainsi d'assez bons résultats,

mais seulement avec les tourailles de petites dimensions.

On peut aussi aménager sous le plateau supérieur un système de tuyaux parallèles en tôle, de 30 centimètres de diamètre, munis de registres à leur orifice inférieur et distants de 15 à 20 centimètres. Ces tuyaux amènent régulièrement de l'air froid sous le plateau supérieur pendant qu'on touraille à haute température sur le plateau inférieur. On a construit enfin des tourailles à plateaux indépendants, dans lesquelles les deux plateaux sont séparés par un plancher percé d'ouvertures. La touraille a ainsi deux chambres chaudes, indépendantes l'une de l'autre, qui portent chacune une tuyauterie spéciale, l'une pour le premier plateau, l'autre pour le second. Les gaz circulent d'abord dans les tuyaux placés sous le plateau inférieur, puis sont évacués dans la cheminée latérale. Un système de registres permet ou de les amener directement dans la cheminée supérieure, ou de les envoyer d'abord dans les tuyaux placés sous le deuxième plateau avant de les évacuer. Sous le plateau supérieur se trouvent également des prises spéciales d'air froid. Cette disposition permet de rendre les plateaux indépendants l'un de l'autre et de régler ainsi à volonté le chauffage et la ventilation de chaque plateau.

Les tourailles à trois plateaux ont été construites surtout pour éviter que le plateau supérieur, où se fait le fanage à basse température, ait à souffrir de la chaleur qui monte du plateau inférieur, et aussi pour augmenter la production par unité de surface. Le travail peut y être réglé de manière à laisser le malt douze heures sur chaque plateau, et on obtient ainsi en trente-six heures un malt analogue à celui que livre un tourillage en quarante-huit heures sur deux plateaux seulement. Mais on a renoncé à ces tourailles qui sont d'un prix très élevé, conduisent à des frais de construction considérables et dont les avantages sont loin de compenser l'intérêt et l'amortissement des dépenses qu'elles entraînent.

Retourneur mécanique. — Le pelletage du grain sur le plateau de la touraille s'effectue soit à bras d'homme, soit mécaniquement. Le retourneur mécanique se compose dans les tourailles ordinaires d'un arbre horizontal portant une série de palettes mobiles (fig. 25). L'arbre engrène à son extrémité

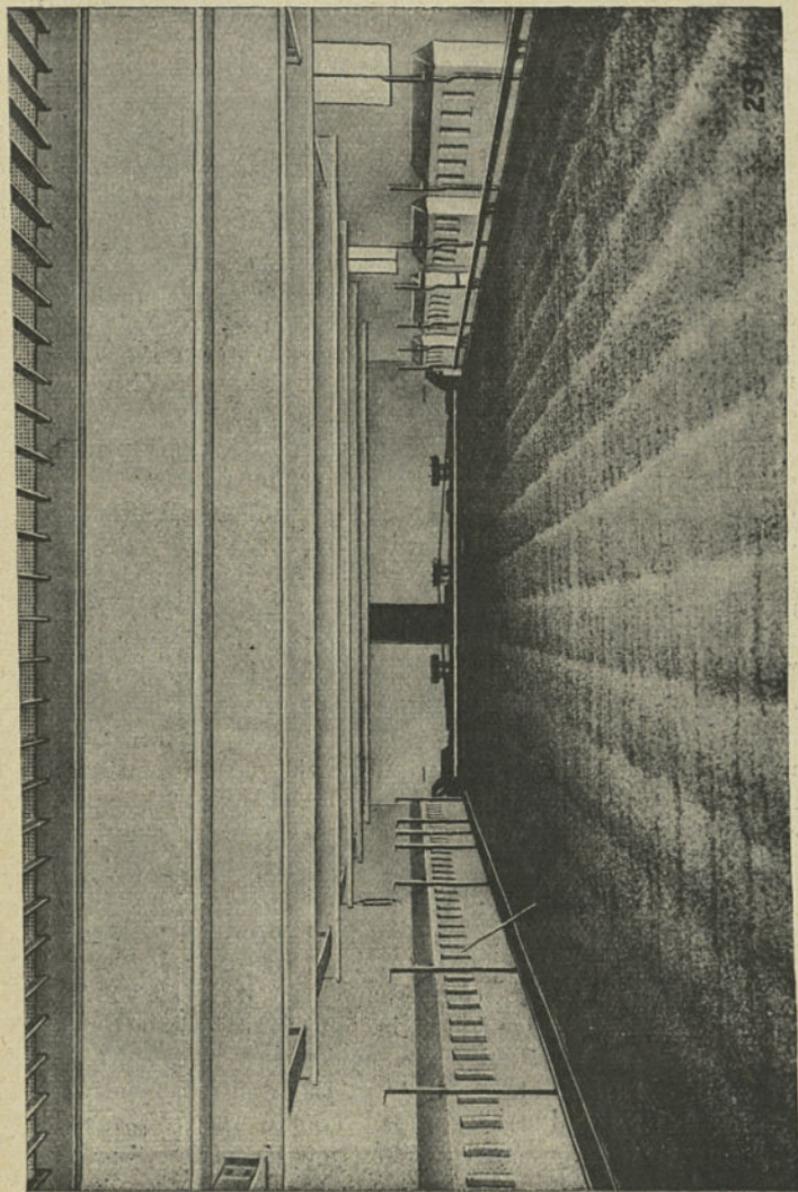


Fig. 25. — Pelleteur mécanique pour touraille. (Diebold et C^{ie}, Nancy.)

avec une vis sans fin et une crémaillère ; il est ainsi animé d'un mouvement de rotation et d'un mouvement de translation suivant toute la longueur du plateau de la touraille. Les palettes, dans leur mouvement de rotation, soulèvent le grain à leur passage pour le laisser retomber en arrière. Quand l'arbre est arrivé au bout du plateau, un mécanisme renverse automatiquement le mouvement, pour faire revenir l'appareil sur lui-même. La course entière demande une vingtaine de minutes.

Dans les tourailles universelles à haut rendement que nous avons précédemment décrites, le retourneur du plateau supérieur est un retourneur à hélices analogue à celui qui est utilisé dans les cases de germination pneumatique. Ce dispositif est nécessaire, vu la grande épaisseur des couches.

Le pelletage à la main a l'inconvénient d'être très pénible et malsain pour les ouvriers, et d'occasionner des pertes de chaleur par l'ouverture des portes. Il en résulte qu'il n'est pas effectué aussi souvent qu'il devrait l'être, et avec le soin nécessaire. Le retourneur mécanique permet d'éviter ces inconvénients en réalisant automatiquement le pelletage : il peut marcher continuellement, quelle que soit la température. L'emploi de cet appareil constitue donc un grand progrès ; cependant beaucoup de tourailles anciennes n'en sont pas munies. Certains praticiens prétendent, en effet, qu'il ne peut remplacer le travail à la main qui ramène plus vite en haut le grain de la face inférieure de la couche, et qui ne laisse pas, comme certains retourneurs, une couche de grains contre le plateau. Il est possible que le pelletage à la main, quand il est effectué par des ouvriers expérimentés, avec le plus grand soin et pendant le temps voulu, soit plus parfait que le pelletage mécanique. Mais, dans la pratique, ces conditions sont difficilement réalisables à cause des températures élevées de la touraille, et le pelletage à la main est toujours effectué d'une façon imparfaite. Les objections précédentes ne paraissent donc pas avoir une grande valeur, et les excellents résultats obtenus par les malteries qui ont adopté les retourneurs montrent que ces appareils présentent de sérieux avantages.

Dans les tourailles ordinaires à deux plateaux, le retourneur mécanique n'est utile que sur le plateau inférieur, à moins qu'il ne s'agisse de fabriquer des malts Munich. Le transport de l'humidité qui se dégage du malt vert se fait des parties qui touchent le plateau vers la surface supérieure de la couche, dont l'humidité augmente au début du travail. Le retourneur ramène, au contact du plateau, du grain très humide et renvoie à la surface, du grain presque sec sur lequel on va de nouveau condenser de l'humidité. Pour les malts pâles, comme il faut éviter les retournages tant que la couche supérieure de malt n'est pas desséchée jusqu'à 15 à 20 p. 100 d'eau, il n'y a donc aucun avantage à installer le retourneur. Au contraire, pour les malts Munich, qui exigent un fanage à température assez élevée et sous forte humidité, les retournages ralentissent la dessiccation et, dans ce cas, le retourneur est nécessaire.

Tirage de la touraille. — Le tirage de la touraille est souvent naturel et provoqué par l'ascension des gaz chauds dans la cheminée. Quand la touraille est bien construite, ce tirage est suffisant dans la dernière phase de l'opération, qui comporte le touraillage du grain sec, mais il est beaucoup trop faible dans la première phase de dessiccation du grain à basse température. La masse compacte du malt vert oppose une résistance considérable qui ne peut être forcée que par le tirage artificiel. Enfin, dans les tourailles modernes où l'on travaille en couches épaisses, le tirage artificiel est indispensable. On l'obtient en plaçant dans la cheminée ou à la partie supérieure de la touraille un ventilateur aspirant. Ces dispositifs sont aujourd'hui très répandus, et il est certain qu'ils ont contribué beaucoup à améliorer le tirage des anciennes tourailles, dont la construction laisse à désirer. Mais leur utilisation n'a pas toujours été rationnelle, et elle a entraîné souvent des dépenses de combustible par l'emploi de très grands volumes d'air qui s'échappent avec une très faible saturation d'humidité. Ce sont là des conditions de travail peu économiques, qui se manifestent particulièrement dans les tourailles anciennes où le touraillage se fait en couches assez minces.

Contrôle des températures. — Le contrôle des températures de la touraille est très important. Il peut se faire en plaçant

des thermomètres à différents points des couches et en les observant fréquemment ; mais il est indispensable, pour le malt vert, de protéger le réservoir du thermomètre par un grillage métallique qui arrête le malt et laisse passer l'air. On veut connaître, en effet, la température de l'air qui traverse le grain, et si le malt humide est en contact avec le réservoir du thermomètre, les indications de l'instrument sont sans aucune valeur. Pour le malt sec, on peut placer le thermomètre dans le grain, à environ 2 centimètres du plateau.

On a souvent recours, aujourd'hui, à des thermomètres enregistreurs qui inscrivent toutes les variations de température. Il faut alors en disposer un au-dessous de chaque plateau et un au-dessus du plateau supérieur, avec les réservoirs placés vers l'axe de la touraille, et il est bon de les contrôler de temps à autre avec un bon thermomètre à mercure. Les indications fournies par ces thermomètres varient beaucoup suivant leur position dans la touraille. Il faut tenir compte, en outre, de l'écart qui existe entre la température de l'air et celle des couches. Cet écart est parfois très considérable, surtout quand le tirage est irrégulier. On est cependant obligé d'admettre, quand le thermomètre n'est pas plongé dans les couches, un écart moyen entre la température de la couche et celle de l'air au point où se trouve le thermomètre.

Le contrôle peut être complété par un thermomètre avertisseur électrique, dont la sonnerie se fait entendre quand on atteint une température déterminée. Cet appareil est constitué par un thermomètre à mercure dont les degrés communiquent de cinq en cinq par fils électriques à un même nombre de boutons de contact sur un tableau. Ce tableau est placé dans la chaufferie et parfois aussi dans le bureau du directeur, qui peut ainsi contrôler à distance le travail de l'ouvrier. Il suffit alors de tourner la manivelle du tableau avertisseur pour que la sonnerie commence au bouton correspondant à la température de la touraille ; inversement, on peut placer la manivelle sur le bouton qui correspond à la température maxima qu'on ne doit pas dépasser, et la sonnerie avertit dès que cette température est atteinte.

Le défaut de ces appareils réside dans leur fonctionnement

assez délicat, qui occasionne de fréquents dérangements de marche et de continuelles interruptions de service.

Comparaison des divers types de tourailles. — La touraille à feu direct a l'avantage d'être d'installation simple et peu coûteuse, mais on lui reproche son mauvais tirage, la nécessité de brûler du coke comme combustible, ses difficultés de réglage et les dangers d'incendie qu'elle entraîne. Plusieurs de ces inconvénients ne viennent pas du système lui-même, mais de la construction défectueuse de ces tourailles à feu nu, généralement anciennes. Les dimensions en sont souvent mauvaises ; les orifices d'aération sont établis au hasard et en général insuffisants ; la cheminée débouche fréquemment au-dessous du niveau des constructions voisines, ce qui occasionne un tirage défectueux. Si les tourailles modernes, à calorifère, ont en général un meilleur tirage, ce fait tient simplement à ce qu'elles ont été conçues et étudiées par les constructeurs spécialistes d'après des données rationnelles, tandis que les tourailles à feu direct ont souvent été construites au hasard, sans étude technique raisonnée. Il n'y a aucune raison pour qu'une touraille à feu direct bien aménagée ait un tirage inférieur à une touraille à calorifère.

La même observation s'applique aux difficultés de réglage des tourailles à feu direct. Cet inconvénient est spécial aux tourailles mal construites. Souvent l'évacuation des gaz de la combustion se fait par des carneaux insuffisants, parfois réduits à une seule cheminée : il est impossible d'avoir ainsi une température homogène dans le mélange d'air froid et de gaz chauds qui agissent directement sur le plateau. En outre, le cochon qui distribue les gaz est ordinairement très mal construit : il est trop bas, de dimensions insuffisantes. Les admissions d'air frais sont souvent placées beaucoup trop loin des arrivées de gaz chauds, et presque toujours elles sont prévues trop petites. Il est inévitable que, dans ces conditions, il se produise dans la touraille des inégalités de température qui disparaissent avec une construction rationnelle.

La touraille à feu direct, dont les dimensions sont bien étudiées, qui possède des orifices d'arrivée d'air frais assez nombreux et convenablement disposés, qui est munie d'un cochon

assez haut et assez étendu pour que le brassage des gaz se fasse dans de bonnes conditions, constitue un très bon appareil. Comme les gaz du foyer sont en contact direct avec le malt, il est nécessaire d'employer un combustible qui ne puisse communiquer au grain une odeur de fumée. On a ordinairement recours au coke ; mais on ne peut considérer aujourd'hui comme un inconvénient cette obligation d'utiliser le coke, car il semble bien que l'emploi de ce combustible doive se généraliser de plus en plus, pour permettre la récupération des importants sous-produits de la houille. Les odeurs d'acide sulfureux qui se dégagent lors de la combustion du coke ne sont pénibles que si le retournage a lieu à la main : cet inconvénient disparaît avec l'emploi du retourneur mécanique. Quant aux dangers d'incendie par entraînement des étincelles du foyer, l'expérience pratique prouve que cet accident est excessivement rare dans des tourailles bien construites, bien surveillées et où on procède fréquemment à l'enlèvement des radicelles.

Les tourailles à calorifère permettent l'emploi d'un combustible quelconque, puisque les gaz du foyer ne sont pas en contact avec le malt. Elles sont en général mieux étudiées et plus rationnellement construites que les anciennes tourailles à feu direct et peuvent présenter ainsi des avantages sous le rapport du tirage.

L'utilisation du tirage artificiel continu a permis d'augmenter beaucoup l'épaisseur des couches et d'obtenir une production de malt beaucoup plus forte par mètre carré de surface, avec une diminution sensible de la dépense en combustible. Les anciennes tourailles consomment fréquemment 30 kilogrammes de charbon par 100 kilogrammes de malt nettoyé ; ce chiffre est descendu à 20-25 kilogrammes dans les tourailles ordinaires à deux plateaux et à calorifère, à 13-14 kilogrammes dans les tourailles modernes. Le rendement en malt, qui est de 30 à 50 kilogrammes par mètre carré et par jour, pour un tourailage en quarante-huit heures, pour les anciennes tourailles à un ou deux plateaux, atteint aujourd'hui, avec les appareils modernes, 60, 80 et même 100 kilogrammes par mètre carré et par jour, suivant les modes de travail.

Autres systèmes de tourailage. — Les idées relatives à la construction et au fonctionnement des tourailles ont beaucoup évolué dans ces dernières années. Il est certain que pendant longtemps la touraille a été l'appareil le moins bien compris de tous les appareils de brasserie. Les anciennes tourailles à feu direct, à un plateau et à tirage naturel sont presque toujours mal construites ; leur tirage est très faible, surtout dans la première phase de dessiccation du malt à basse température, à cause de la résistance qu'oppose le malt vert au passage de l'air. Il se forme alors des tampons de gaz chauds sous le plateau, et la dessiccation se fait beaucoup plus par contact que par l'air chaud : il en résulte un étuvage prolongé des couches de surface. Le tirage devient normal quand le malt est sec ; il se laisse alors facilement traverser par l'air. La ventilation est donc faible quand elle devrait être maxima, et elle est normale quand elle devrait être réduite, à la fin de l'opération.

On a bien amélioré les conditions de travail en donnant aux tourailles des dimensions plus rationnelles de hauteur, de section de cheminée, d'orifices de ventilation ; l'emploi de deux ou trois plateaux superposés a permis un séchage meilleur, à basse température, mais il n'était pas possible, avec le tirage naturel, de forcer l'obstruction causée par le malt vert sur le plateau supérieur, à moins de travailler en couches très minces et dans des tourailles très hautes et, par suite, très coûteuses. L'emploi du tirage artificiel continu, aspirant au-dessus du malt vert, disposé en couches épaisses, constitue un très grand progrès, mais il faut alors des retourneurs spéciaux, d'un prix élevé, et les ventilateurs doivent marcher sans cesse, de jour et de nuit.

En étudiant le fonctionnement des divers types de tourailles, Petit a fait les très intéressantes constatations suivantes :

- 1° Les couches épaisses utilisent beaucoup mieux l'air chaud : celui-ci sort plus chargé d'humidité, et il en faut donc un volume moindre pour le séchage de 100 kilogrammes de malt ;
- 2° la grande vitesse du courant d'air, nécessaire quand le malt est très humide, devient à peu près indifférente quand le malt est à moitié sec, et il y a grand avantage économique à la réduire à ce moment, car le séchage de ce malt se fait dans

les meilleures conditions avec un faible tirage ; 3° le retournage du malt en couche épaisse est inutile si l'on a un grand renouvellement d'air jusqu'au moment où la masse est devenue sèche à la main et se laisse facilement traverser par l'air.

Ces principes ont conduit Petit à une conception intéressante de la touraille. Elle n'est plus qu'une simple case avec un plateau métallique, surmonté d'une chambre de briques isolées ou de maçonnerie et portant elle-même la partie supérieure une courte cheminée. Un calorifère ou un foyer à coke, placé latéralement, et un ventilateur qui refole l'air chaud à travers le grain de bas en haut, complètent l'installation. La couche de malt vert peut avoir 80 centimètres. On commence par faire fonctionner le ventilateur en réglant à 45°-50° la température de l'air qui arrive au plateau. Cet air sort saturé d'humidité et presque froid. Quand le malt est à moitié sec, l'air s'échappe déjà chaud ; on peut alors le reprendre à la cheminée par un deuxième ventilateur et le renvoyer, après réchauffage, au calorifère ou à travers le foyer, dans une deuxième touraille semblable à la première et chargée de malt vert. D'après Petit, ce système de deux tourailles basses, à feu nu, à un plateau avec tirage artificiel, accouplées en vue de l'utilisation des gaz qui s'échappent du malt presque sec de la première pour la dessiccation du malt vert de la seconde, est extrêmement pratique et économique.

La touraille Winckler (fig. 26) permet également une réduction considérable de l'encombrement et des frais de construction ; la durée du touraillage est diminuée, ainsi que la consommation de combustible. La touraille est constituée par une simple chambre de quelques mètres de hauteur ; cette chambre porte un plateau ajouré qui retient la couche de malt ; celle-ci peut être très épaisse. Le foyer peut être mis complètement sur le côté de la touraille, de sorte qu'une hauteur totale de 3^m, 50 à 4 mètres est largement suffisante pour l'installation complète. La marche de la touraille est indépendante des conditions atmosphériques : un ventilateur assure en effet la circulation des gaz chauds venant du foyer à coke à travers l'épaisse couche de malt. Le grain est traité ainsi dès le début par un puissant courant d'air à haute température.

TOURAILLAGE

MUSÉE COMMERCIAL
et COLONIAL
2, Rue du Lombard, 2
LILLE

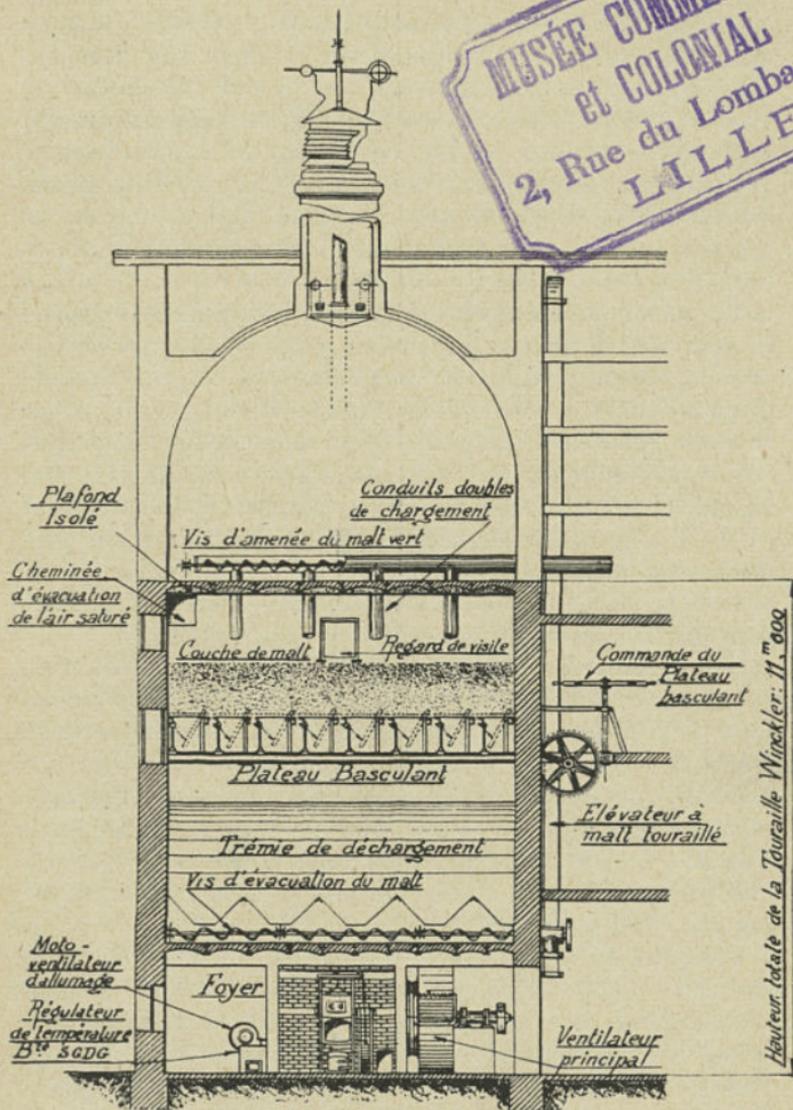


Fig. 26. — Touraille Winckler.
(Compagnie industrielle de constructions de brasseries, Paris.)

L'évaporation intense de l'eau contenue dans le malt vert empêche toute élévation dangereuse de la température au début; la montée ne se produit que lorsque l'humidité est évacuée, c'est-à-dire quand le grain ne risque plus de devenir vitreux. Il n'y a plus aucun retournage, la puissance du courant d'air suffisant à assurer la régularité du séchage. Un régulateur automatique de température active ou ralentit automatiquement l'allure du foyer de la touraille suivant les nécessités et suivant le type de malt à obtenir, pâle, ambré ou brun. Des thermomètres enregistreurs donnent à chaque instant la température sous le plateau et au-dessus de la couche. Le coup de feu final est obtenu en récupérant les gaz chauds et en les faisant travailler sur eux-mêmes, en supprimant toute communication de la touraille avec l'extérieur. Le ventilateur travaille alors en circuit fermé et on monte ainsi rapidement en température sans qu'il soit nécessaire d'entretenir le feu. Le plateau étant de dimensions très réduites, le déchargement en est rapide; pour les déchargements importants, on peut utiliser les plateaux basculants, à commande mécanique à l'extérieur de la touraille, qui déversent directement le malt dans des trémies situées en dessous.

Le combustible employé est le coke. La consommation de coke est particulièrement réduite, car, pendant la plus grande partie du touraillage, l'air sort de la touraille entièrement saturé et à basse température; en outre, les pertes par rayonnement sont fortement diminuées. La durée du touraillage est seulement de treize à seize heures, grâce au grand volume d'air mis en jeu. Les dimensions très réduites de la touraille Winckler permettent enfin de l'installer aisément à l'intérieur des anciennes tourailles.

Pratique du touraillage. — Examinons d'abord le travail dans une touraille ordinaire à un plateau, qui doit produire, par un touraillage de quarante-huit heures, du malt courant peu coloré. Le malt vert est chargé sur le plateau en couches de 15-20 centimètres; on ouvre tous les registres et on règle le feu de manière à ne pas dépasser 30° à 35°, sous forte ventilation. On monte très lentement, en vingt-quatre heures, jusqu'à 50°-55°, et le malt doit paraître à peu près sec quand on atteint

cette température. On réduit alors peu à peu l'ouverture des prises d'air, et on élève progressivement la température jusqu'à 80°-100°, suivant la nature du malt qu'on veut obtenir : on fait marcher le retourneur mécanique toutes les heures ou toutes les deux heures, ou on procède à de fréquents pelletages à la main. Quand le degré final est atteint, on ferme les registres d'accès de l'air, et on maintient cette température pendant une, deux ou trois heures, en faisant marcher le retourneur d'une façon continue : c'est ce qu'on appelle donner le coup de feu. Cette deuxième phase dure également vingt-quatre heures, soit quarante-huit heures en tout.

Examinons maintenant le cas d'une touraille ordinaire à deux plateaux devant produire, comme dans l'exemple précédent, un malt courant peu coloré, par un tourailage en quarante-huit heures. On charge le plateau supérieur avec du malt vert, sous une épaisseur de 15 à 20 centimètres, et on dessèche le malt sur ce plateau en laissant ouvertes toutes les prises d'air froid de manière à monter lentement à 35°-40°. Quand l'humidité est devenue faible, on élève la température en activant le feu et on monte progressivement à 45°-60° sous forte ventilation. Cette première période dure vingt-quatre heures. On évacue alors le malt sur le plateau inférieur, et on remet du malt vert sur le plateau supérieur. On chauffe de manière à monter lentement, sur le plateau inférieur, de 45°-60° à 80°-100°, comme précédemment, en vingt-quatre heures environ. Quand on atteint la température finale, on y séjourne une à deux heures. Les retournages se font sur le plateau inférieur, à intervalles d'une ou deux heures. Pendant ce temps, on surveille la marche du plateau supérieur, qui doit être celle que nous venons d'indiquer pour la première période. Ce réglage est évidemment assez difficile avec les tourailles dont les deux plateaux sont solidaires : on risque alors de donner au plateau supérieur une température trop élevée si on monte sur le plateau inférieur au point voulu, ou, inversement, d'avoir sur le plateau inférieur une température trop basse si on donne à la couche supérieure la température qui lui est favorable.

Il faut surtout surveiller la marche des températures sur le

plateau supérieur, car les fausses manœuvres y sont particulièrement dangereuses. L'indépendance des deux plateaux facilite beaucoup le travail. Pendant toute l'opération, la ventilation et la température doivent être réglées non pas par la température de l'air sur le plateau inférieur, comme on le fait trop souvent, mais par la température du malt sur ce plateau et par la température de l'air qui traverse le plateau supérieur, qui doit dépendre elle-même du degré d'humidité du malt vert.

Il est préférable de choisir une température finale de touraillage assez élevée : on obtient ainsi des produits de caramélisation qui donnent à la bière du moelleux et la font paraître plus corsée. Cet avantage est perdu avec les malts touraillés à trop basse température. Les orges à enveloppes épaisses, telles que les orges d'Algérie, demandent au coup de feu une température finale plus élevée que les orges à enveloppes fines.

Avec les tourailles à trois plateaux, le travail comporte ordinairement un chargement toutes les douze heures : le malt séjourne douze heures sur chaque plateau, et la durée normale du travail est de trente-six heures.

Tourailage des malts foncés, genre Munich. — Le mode de travail que nous venons de décrire comporte certaines modifications pour la production des malts foncés, genre Munich. Le point important de cette fabrication réside dans la température du malt sur le plateau supérieur : ce malt demande un fanage à 55°-65° assez prolongé quand le grain contient encore 18 à 25 p. 100 d'eau, qui détermine une formation abondante de sucres et une dégradation des matières azotées : nous avons vu que ces réactions sont indispensables pour l'apparition ultérieure, à 95°-100°, de l'arome et de la coloration de ces malts.

Le malt vert est chargé sur le plateau supérieur en couches de 23 à 24 centimètres, et on fait d'abord un fanage à basse température, variant de 25° à 37°, sous forte ventilation, jusqu'à ce que le grain ne renferme plus que 18 à 25 p. 100 d'eau. On élève alors rapidement la température à 55°-65°, en réduisant la ventilation, et on maintient cette tempéra-

ture pendant quelques heures pour produire les modifications nécessaires à la production de l'arome et de la couleur. On fait fonctionner le retourneur d'une façon continue dès que la température atteint 50°. On évacue alors le malt sur le plateau inférieur, et on élève peu à peu la température, avec reprise de la ventilation, jusqu'à ce que le grain ne renferme plus que 7 à 8 p. 100 d'eau. On diminue alors progressivement la ventilation de manière à atteindre la température finale de 90° à 100°. On maintient ordinairement trois ou quatre heures cette température, tous les registres étant fermés, de manière à développer l'arome et la coloration.

Touraillage des malts, genre Pilsen. — Pour ces malts, la durée de vingt-quatre heures est préférable à celle de quarante-huit heures, car la présence du grain humide, pendant vingt-quatre heures, sur le plateau supérieur de la touraille conduit à une désagrégation exagérée et à un malt forcé. On place le grain en couches de 12 à 15 centimètres sur le plateau supérieur, et on monte rapidement à 30°-35°. On maintient cette température sous forte ventilation de manière à dessécher le grain jusqu'à 25-28 p. 100 d'eau sans dépasser cette température. On monte alors très lentement jusqu'à 47°-50°, et cette dernière température ne doit être atteinte que quand le malt ne renferme plus que 8 à 10 p. 100 d'eau. Certains praticiens conseillent même de ne pas dépasser 40° dans toute cette phase. Quand le malt est ainsi presque complètement desséché, on l'évacue sur le plateau inférieur, où on le chauffe dans un courant d'air modéré jusqu'à 80°-85°, qu'on maintient pendant deux heures. Il est utile de laisser refroidir complètement le malt avant de l'emmagasiner en silos.

Touraillage en tambours. — On a également cherché, notamment dans les malteries montées en tambours Galland, à opérer le touraillage du malt en tambours à l'aide de la vapeur. L'opération se fait alors dans deux tambours, à cause de la variation de volume considérable que le malt vert subit pendant le touraillage. Le premier tambour est appelé tambour de fanage; le second, plus petit, est le tambour de touraillage proprement dit.

Le tambour de fanage est construit comme un tambour de germination, système Galland, avec tubes perforés au centre et à la périphérie, par lesquels l'air chaud est aspiré à travers le malt

nar un ventilateur. Le tambour de fanage est ventilé par de l'air qui sort du tambour de touraillage, par de l'air chauffé par un radiateur et par de l'air froid extérieur. On peut ainsi régler aisément la température. Pour le tambour de touraillage, l'air est pris dans une chambre où se trouve un appareil de chauffage à la vapeur. Dans l'intérieur du tambour se trouvent, en outre, des radiateurs qui reçoivent de la vapeur à haute pression, pour pouvoir élever facilement la température à la fin du touraillage, tout en réduisant la ventilation. Le grain séjourne vingt-quatre heures dans le tambour de touraillage, et les températures sont réglées par la nature du malt à obtenir. La rotation des appareils est généralement continue, à la vitesse ordinaire des tambours de germination.

Bleisch a remarqué que le séchage s'effectue dans le tambour de fanage à température très basse, et cette observation a été confirmée par Briant et Vaux. D'après les principes que nous avons exposés plus haut au sujet des nouveaux systèmes de touraillage il semble tout à fait rationnel de faire en tambours le fanage à basse température et même l'étuvage à 55-65° spécial aux malts Munich. Pour le touraillage proprement dit, l'avantage du tambour n'est pas bien établi : les dépenses d'installation sont certainement plus élevées que celles d'une touraille simple à un plateau, analogue à celles que nous avons décrites, et la dépense en combustible n'est pas diminuée.

V. — TRAITEMENT DU MALT APRÈS TOURAILLAGE

Dégermage. — Le malt sortant de la touraille doit être débarrassé des radicelles qui adhèrent encore au grain. Ces radicelles se détachent très facilement aussitôt après le touraillage, quand le malt est encore chaud; mais, comme elles sont très hygroscopiques, elles perdent vite leur rigidité et deviennent difficiles à enlever, si on attend trop longtemps. Quelques brasseurs conservent cependant le malt avec ses radicelles et ne le dégerment qu'au moment de l'emploi. C'est là une mauvaise pratique, car les radicelles absorbent de l'humidité, rendent le grain humide et se détachent ensuite très difficilement.

Le déchargement de la touraille peut se faire à la pelle ou avec un baudet mécanique. Dans certains systèmes, le déchargement se fait par simple ouverture des plateaux à jalousies : le malt tombe alors dans une trémie, d'où une vis sans fin le

conduit au dégermeur. Parfois on réserve le long de la touraille un grand coffre métallique dans lequel se réunit le malt qu'on vient de décharger.

Cette pratique présente certains avantages au point de vue de l'arome, qui devient plus prononcé pendant ce long refroidi-

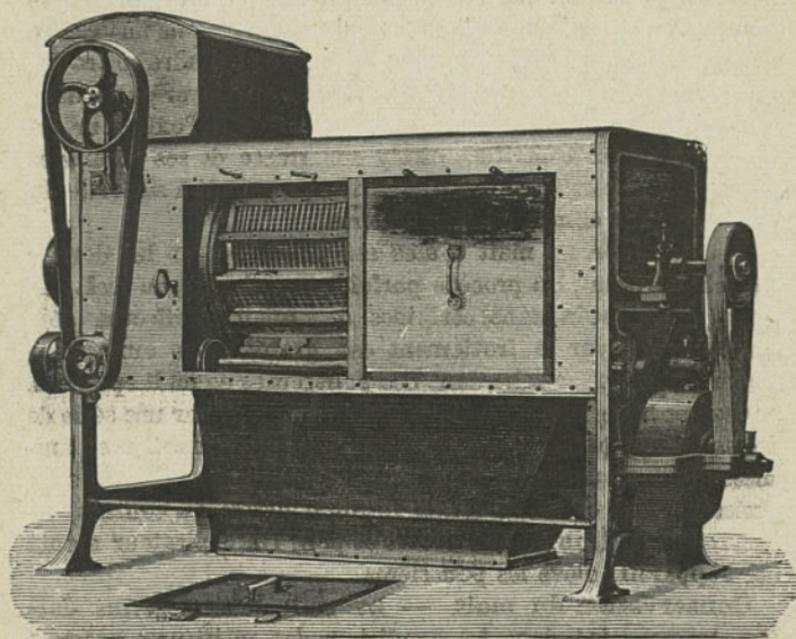


Fig. 27. — Machine à dégermer et à polir le malt.
(Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville.)

dissement ; mais elle peut présenter certains inconvénients dans la fabrication des malts très pâles, car elle entraîne toujours une légère augmentation de la coloration.

Le dégermage se fait dans un appareil dégermeur composé ordinairement d'un tambour en tôle perforé dans lequel tourne dans le même sens que celui-ci, mais beaucoup plus vite, un batteur à lames hélicoïdales d'acier. Cet agitateur exerce sur le malt une friction énergique et détache les radicelles. Celles-ci passent par les fentes du tambour perforé et tombent au fond

de l'appareil. A la sortie du cylindre, le malt est exposé à un courant d'air provenant d'un aspirateur qui élimine toutes les poussières qui se trouvent encore mélangées au malt après le passage dans le cylindre.

La figure 27 représente une machine à dégermer basée sur le même principe : elle se compose d'un cylindre garni extérieurement de toile métallique et qui travaille dans une caisse en tôle tout à fait close. A l'intérieur de ce cylindre se trouve un tambour à force centrifuge. Le malt à nettoyer passe dans l'espace formé à l'intérieur du cylindre et à l'extérieur du tambour à force centrifuge et s'y débarrasse de ses germes et de ses poussières. Un aspirateur agit sur le malt à sa sortie du cylindre pour éliminer les poussières.

Pour enlever au malt toutes ses poussières et lui donner un éclat brillant, on procède parfois au polissage du malt. Le passage du grain dans certaines dégermeuses effectue déjà un polissage par le frottement des grains entre eux ; mais l'opération peut se faire dans des polisseuses de malt spéciales.

Ces appareils sont constitués ordinairement par une série de brosses superposées, les unes fixes, les autres mobiles et animées d'un mouvement de rotation rapide. Ces brosses sont fixées sur des cônes en fonte. Le malt arrive au contact des brosses et se trouve ainsi frotté et poli. Un aspirateur monté sur l'appareil enlève les poussières.

Conservation du malt. — Le malt bien dégermé doit être emmagasiné dans les conditions les meilleures pour sa bonne conservation. Le malt peut être conservé soit en silos, soit en tas. Quand on doit conserver le malt longtemps, les silos sont bien préférables, car les tas offrent une trop grande surface à l'air ; le grain y devient trop humide et perd son arôme ; en outre, il est beaucoup plus exposé à être envahi par les insectes et les souris. La conservation du malt en sacs présente les mêmes inconvénients : les brasseurs qui achètent du malt doivent donc limiter leur provision le plus possible et conserver les sacs dans une chambre sèche.

Les deux principales causes de la reprise de l'humidité dans le malt sont le renouvellement de l'air et le voisinage des murs. Il faut donc maintenir l'air aussi immobile que possible

à la surface des malts et éviter le contact avec les murs qui apportent de l'humidité de l'extérieur vers l'intérieur. Si on ne peut pas installer des silos en métal ou en béton armé, il faut avoir soin de placer le malt dans des locaux fermés, en condamnant complètement les fenêtres par une double paroi de planches garnie de papier imperméable et en veillant aussi à l'étanchéité du plancher et du plafond.

Les silos doivent être placés dans un endroit parfaitement sec. Ils peuvent être en bois, en métal ou mieux en ciment armé. Leur section est généralement rectangulaire, et ils se terminent le plus souvent à la partie inférieure par une pyramide au sommet de laquelle se trouve un registre d'ouverture. La fermeture, à la partie supérieure, se fait au moyen d'une trappe. Souvent, pour assurer la siccité des silos en bois, on les double intérieurement avec de la tôle.

L'accès de l'air dans le malt ne doit pas être complètement supprimé, surtout au début. La pratique a appris en effet que la qualité du malt s'améliore après quelques semaines de contact limité avec l'air. Il se produit une légère fixation d'eau, qui donne au grain l'humidité nécessaire pour qu'il subisse sa maturation. Il faut donc que les silos ne ferment pas tout à fait hermétiquement. La teneur en eau remonte ainsi à 3 ou 4 p. 100.

Pendant la conservation du malt, il se produit des transformations importantes. De même que le grain d'orge, le grain de malt est le siège d'actions diastasicues, et leur activité dépend surtout de la teneur en eau et de la température finale de touraillage. Schönfeld a constaté notamment qu'un malt conservé humide renferme moins d'azote coagulable que le malt conservé sec : il y a donc diminution de l'azote coagulable, quand on conserve le malt à l'humidité, par suite de l'action des diastases protéolytiques, et c'est là une transformation défavorable qu'il faut éviter. D'après les recherches de Brand et d'Aubry, l'extrait du malt diminuerait faiblement ; par contre, Schjerning n'a pu constater aucune perte appréciable pendant la conservation. L'acidité et la quantité de matières minérales solubles augmentent, et on peut en conclure à l'augmentation de la quantité des phosphates pri-

maires. Schulte im Hof a montré, en outre, que pendant la conservation du malt le pouvoir diastasiqne semble s'élever; les rendements en extrait et en maltose diminuent pour le malt touraillé à basse température et augmentent pour le malt touraillé à haute température; la teneur en azote albuminoïde diminue plus rapidement dans le malt touraillé bas que dans le malt touraillé haut: enfin, les amides diminuent dans le malt touraillé bas et augmentent dans le malt touraillé haut.

VI. — MALTS COLORANTS

Dans la fabrication des bières foncées, la couleur naturelle du malt ne suffit pas pour obtenir la coloration désirée. Pour donner à la bière la teinte voulue, on a recouru souvent à l'addition de malts *noirs* ou *colorants* et de malts *bruns* ou *caramels*.

Préparation du malt colorant. — Le malt noir colorant se prépare parfois en chauffant du malt ordinaire dans des torrificateurs analogues à ceux qui servent à torrifier le café. Ils sont tantôt sphériques, tantôt cylindriques: la forme sphérique est préférable, car elle permet de maintenir plus facilement tout le malt en mouvement. On y chauffe le malt lentement et avec une précaution jusqu'à une température voisine de 200°, en donnant à l'appareil un mouvement de rotation continu. Le chauffage se fait soit au bois, soit au charbon, parfois au gaz: le chauffage au bois paraît donner les résultats les meilleurs.

Parfois on part, non pas du malt touraillé sec, mais du malt trempé dans l'eau. Quand on emploie cette méthode, on fait d'abord tremper le malt de manière à lui laisser absorber de l'eau. On remplit alors avec ce malt le tambour de torrification aux deux tiers, et on chauffe lentement à 68°-70°. Il se produit pendant ce chauffage une saccharification partielle du contenu du grain. On élève ensuite doucement la température à 90°, puis on continue à griller prudemment, en tournant sans cesse, jusqu'à une température voisine de 200°. On laisse alors la température s'abaisser, sans cesser de tourner, puis on vide le grain et on l'étale en couche mince afin que son refroidissement s'achève. Pour rendre le malt brillant, on procède parfois au glaçage en introduisant dans le torrificateur, avant la fin du grillage, un peu d'eau sucrée: le sucre en fondant se colle aux grains et leur donne du lustre.

Les expériences de Jacob et Rausch ont montré que la meilleure méthode pour préparer le malt colorant consiste à utiliser le malt partiellement séché à 7 ou 8 p. 100 d'eau, pris au plateau supérieur

dé la touraille. On obtient ainsi de bien meilleurs résultats qu'avec le malt sec humidifié. La température peut être élevée à 160°-170° assez rapidement, et la coloration ne se manifeste pas sensiblement à ces températures, mais elle devient forte si on les maintient pendant plusieurs heures. Le degré optimum pour la torréfaction est à 220°-223°, d'après Jacob et Rausch. On laisse le malt plus ou moins longtemps à cette température suivant la teinte qu'on désire. Le tambour doit être chauffé avant d'y introduire le malt : on le remplit à moitié ou aux trois quarts, et on le fait tourner à raison de douze tours par minute. La cheminée doit être munie d'un bon tirage. La perte normale à la torréfaction est de 10 à 12 p. 100.

Cette préparation du malt noir est assez difficile, et il faut beaucoup de soin et de surveillance pour obtenir un produit régulier. Aussi les malts obtenus par la première méthode sont-ils assez fréquemment plus ou moins charbonnés. La méthode préconisée par Jacob et Rausch permet, au contraire, d'éviter une décomposition trop profonde de l'enveloppe, et on obtient un brunissement plus régulier du corps farineux.

Préparation du malt caramel. — Le malt caramel est un malt colorant brun, plus riche en extrait que le malt noir, mais dont le pouvoir colorant est plus faible. On peut l'obtenir en chauffant simplement du malt vert dans un torréfacteur à la température de 160°. Mais on a le plus souvent recours à du malt touraillé qu'on mouille au préalable dans l'eau froide jusqu'à ce qu'il contienne environ 50 p. 100 d'humidité. On chauffe ce malt lentement pendant quatre heures, en agitant, dans un torréfacteur. A la fin de l'opération, on envoie dans le torréfacteur de l'air pour donner au grain l'arome voulu. Le malt est alors touraillé à 80°-85° dans une touraille spéciale, puis remis dans un torréfacteur où on le porte à une température maxima de 160°-180°.

On obtient ainsi un produit brun, d'un goût exquis et très riche en sucre.

Composition des malts colorants. — Les malts colorants noirs renferment encore beaucoup d'amidon, qui peut être saccharifié par le malt ordinaire. Leur rendement atteint 60 à 73 p. 100 quand ils sont de bonne qualité, mais il peut tomber à 35 à 40 p. 100 s'ils ont subi une torréfaction exagérée. Leur pouvoir colorant est très considérable. On le détermine en comparant la coloration du liquide qu'ils fournissent avec celle d'une solution décimale d'iode. Il varie de 10.000 à 12.000 de cette solution d'iode.

Les malts caramélisés sont plus riches en extrait que les malts noirs, et cet extrait peut contenir plus de 50 p. 100 de sucre, tandis qu'il n'en contient guère plus de 20 à 25 p. 100 dans les malts colorants. Mais le pouvoir colorant du malt caramel est beaucoup plus faible que celui du malt noir; il atteint environ le huitième ou le dixième du pouvoir colorant d'un malt noir. En outre, quand on emploie le malt caramel en quantité notable, il

donne à la bière une saveur mielleuse et douce et abaisse l'atténuation. Il est en outre, moins avantageux au point de vue économique que les malts colorants.

Emploi des malts colorants. — La dose de malt colorant à employer est évidemment variable avec la nature du malt, le mode de travail et le degré de coloration à atteindre. Les doses moyennes sont de 1 à 4,5 p. 100 du malt mis en œuvre, pour le malt noir, et de 7 à 9 p. 100 pour le malt caramel.

On peut employer ces malts, soit en mélange avec le malt ordinaire en cuve-matière, soit en les ajoutant dans la chaudière à trempes. On peut également préparer à part, à 70°. une infusion de malt colorant : on filtre la solution obtenue et on l'ajoute au moût en chaudière. On peut enfin préparer avec le malt colorant une bière noire qu'on utilise ensuite pour renforcer la couleur des bières. Cette bière s'obtient en brassant par décoction à une température de saccharification de 60° le malt colorant avec un tiers de malt ordinaire, et en faisant fermenter le moût obtenu. On la conserve dans des caves très froides, où elle peut séjourner longtemps sans altération.

VII. — CONTROLE DE LA MALTERIE

Pertes au maltage. — Si on compare les chiffres donnés pour les pertes au maltage dans diverses usines, on trouve souvent des valeurs très différentes. Ces différences tiennent non seulement au mode de travail de l'usine, mais aussi à la manière de compter ces pertes. Dans beaucoup de malteries, on part de l'orge brute et on compte dans la perte au maltage les déchets du nettoyage, ce qui n'est pas rationnel, car il s'agit ici d'une perte inhérente à la qualité de l'orge et non pas au travail du maltage. En outre, on évalue la perte en prenant pour produit final le malt, tantôt à la sortie de la touraille, tantôt après conservation. Or ces deux chiffres peuvent différer sensiblement. Il importe donc de préciser ce qu'on doit entendre par pertes au maltage : ce sont celles qui se produisent depuis le trempage jusqu'à la sortie de la dégermeuse.

Pour évaluer ces pertes, il faut d'abord tenir compte de ce fait que l'orge renferme en moyenne 14 p. 100 d'eau, tandis que le malt après dégermage n'en contient plus que 1 à 3 p. 100, ce qui correspond à une perte de poids sensible. Le seul moyen de déterminer la perte réelle en matière sèche consisterait donc

à comparer le poids d'orge *sèche* introduite au poids de malt *sec* obtenu. Mais, dans la pratique, on se contente ordinairement de comparer le poids d'orge utilisé au poids de malt obtenu, sans s'inquiéter de l'humidité, et il faut alors tenir compte de la perte occasionnée par les différences de teneur en eau de l'orge et du malt. Cette perte s'élève déjà à 11-12,5 p. 100 du poids de l'orge employée.

Dans le trempage, la perte par dissolution des éléments du grain atteint 0,5-1 p. 100 ; elle s'élève à 1,5-2 p. 100 si on y ajoute celle qui provient des grains légers éliminés à la surface des cuves à tremper.

Pendant la germination, la perte par gazéification atteint 6,5 à 7,5 p. 100, dans un travail normal, pour les malts pâles ; elle s'élève à 9-10 p. 100 dans la fabrication des malts foncés bavarois à cause de la température plus élevée de la germination. Mais cette perte par gazéification peut être beaucoup plus forte dans les malteries où le travail est mal conduit.

Enfin, les radicelles représentent une perte moyenne de 4 p. 100, mais qui peut s'élever à 6-7 p. 100 pour les malts bavarois, où les radicelles sont très fortes.

Sur la touraille et pendant le traitement du malt après touraillages les pertes en matière sèche sont peu sensibles.

Nous voyons donc, en résumé, que les pertes, rapportées à 100 kilogrammes d'orge nettoyée, peuvent se résumer ainsi pour un travail normal :

Perte en eau	11,0 à 12,5 p. 100
— au trempage	1,5 à 2,0 —
— par respiration	6,5 à 7,5 —
— par les radicelles	3,4 à 4,0 —
— totale	<u>22,5 à 26,0 p. 100</u>

La perte atteint donc 22,5 à 26 p. 100, et 100 kilogrammes d'orge nettoyée donnent pratiquement 74 à 77 kilogrammes de malt touraillé frais. Comme le malt reprend un peu d'eau pendant sa conservation, on obtient finalement, par 100 kilogrammes d'orge, 78 à 80 kilogrammes de malt. Pour les malts foncés, genre Munich, la perte est plus élevée ; elle atteint 25 à 27 p. 100, et l'augmentation de perte correspond surtout

à une gazéification plus active et à des radicelles plus fortes. Le rendement n'est donc plus que de 73 à 75 kilogrammes de malt touraillé par quintal d'orge.

La perte en eau, les pertes par le trempage et par les radicelles ne sont pas susceptibles de grandes modifications et restent sensiblement les mêmes partout : c'est donc surtout la perte par respiration qui donne lieu à des différences d'une usine à l'autre. Le but du malteur doit être évidemment de réduire cette perte au minimum, tout en assurant la désagrégation du grain et la vie du germe : nous avons vu qu'une germination chaude, accompagnée de fréquents pelletages, exagère ces pertes par respiration. Le meilleur moyen de diminuer la perte consiste donc à germer à basse température. Un trempage trop prolongé donne aussi au grain une croissance trop rapide, augmente l'activité de la respiration et élève la perte, comme le montrent les chiffres suivants, dus à Luff :

Durée du trempage.	Teneur en eau de l'orge trempée. p. 100.	Perte en mat. sèche au maltage. p. 100.	Germes secs. p. 100.	Perte par gazéification. p. 100.	Extrait du malt. p. 100.
48 h 1/2. . .	43,9	8,94	3,42	5,52	68,50
73 h. 1/2. . .	46,4	10,91	4,43	6,48	67,28
113 h. . . .	47,9	12,61	5,13	7,48	65,10

Les expériences de Windisch ont montré que le trempage avec aération permet de réduire la perte au maltage. Bleisch, qui a vérifié ce fait sur les malts bavarois, est arrivé aux résultats suivants :

Trempage ordinaire.

	Essai				
	n° 1.	n° 2.	n° 3.	n° 4.	n° 5.
Perte au maltage rapportée à la matière sèche	43,60	42,88	43,76	44,60	44,47
Rendement en extrait rapporté au malt sec.	75,65	75,01	70,92	71,57	74,46

Trempage avec aération.

Perte au maltage rapportée à matière sèche	42,48	42,08	43,06	42,34	42,46
Rendement en extrait rapporté au malt sec.	76,40	75,10	71,92	74,50	75,17

On voit que la perte au maltage est toujours inférieure d'environ 1 p. 100 pour les grains trempés avec aération. En outre, le rendement en extrait de ces grains est un peu plus élevé : le trempage avec aération est donc un mode de travail avantageux.

Les considérations qui précèdent se rapportent au mode de maltage ordinaire, avec germination froide et lente. Nous avons vu qu'il est possible de réduire la perte au maltage par germination à plumule courte, réduction de développement des radicelles et de gagner ainsi 2 à 3 p. 100. La germination partielle sous acide carbonique par le procédé Kropf permet également de réduire la perte au maltage de 1,5 à 3 p. 100. On peut arriver ainsi à produire 82 à 83 kilogrammes de malt par 100 kilogrammes d'orge mise en œuvre.

Contrôle de la malterie. — Le contrôle des pertes totales peut se faire aisément en pesant le grain mis en œuvre et le malt obtenu. La perte atteint alors en moyenne 20 à 22 p. 100 pour les malts pâles et 24 à 26 p. 100 pour les malts colorés.

Pour contrôler les pertes en matière sèche, il est indispensable de tenir compte de l'humidité de l'orge et du malt. Si a est l'humidité, exprimée en kilogrammes, d'un quintal d'orge, la matière sèche totale de P quintaux d'orge mis en œuvre sera évidemment $P(100-a)$ kilogrammes. De même, si a' est l'humidité, exprimée en kilogrammes, d'un quintal de malt, la matière sèche totale des P' quintaux de malt obtenus avec les P quintaux d'orge sera $P'(100-a')$ kilogrammes. La perte en matière sèche, pour P quintaux d'orge, sera donc représentée, en kilogrammes, par la différence $P(100-a) - P'(100-a')$. Donc, par quintal d'orge, la perte en matière sèche, exprimée en kilogrammes, sera donnée par la formule :

$$Q = 100 - a - \frac{P'}{P} (100 - a').$$

Cette perte en matière sèche, dans un travail normal, doit être environ de 10 à 12 p. 100.

On cherche parfois à déterminer la perte totale au maltage par la comparaison du poids de 1.000 grains d'orge au poids de 1.000 grains de malt. Des vérifications expérimentales de cette méthode ont été faites par Jalowetz et par Regensbur-

ger, qui ont constaté des différences qui varient entre 0,5 et 2 p. 100 avec la détermination par pesée directe. En réalité, il résulte des expériences de Moufang que cette méthode peut cependant donner des résultats satisfaisants, à condition de trier au préalable l'orge et le malt qui en résulte. On détermine le poids de 1.000 grains de chaque catégorie de grosseur ; on multiplie ensuite ce poids par la proportion centésimale que représente chaque catégorie, et on additionne les chiffres ainsi obtenus pour avoir le poids relatif de 1000 grains d'orge ou de malt. Voici un exemple de ce contrôle pour une orge à 14,25 p. 100 d'eau : grains de la catégorie I (2^{mm},8), 33,65 p. 100 dont le poids de 1.000 grains est de 54^{sr},39 ; grains de la catégorie II (2^{mm},5), 38,76 p. 100 dont le poids de 1.000 grains est de 47^{sr},12 ; grains de la catégorie III (2^{mm},2), 26,83 p. 100 dont le poids de 1.000 grains est de 39^{sr},83.

Le poids relatif de 1.000 grains d'orge humide est donc de :

$$0,3365 \times 54,39 + 0,3876 \times 47,12 + 0,2683 \times 39,88 = 48^{sr},902.$$

Rapporté au grain sec, ce chiffre devient 41^{sr},933.

En opérant de même sur le malt qui provient de cette orge, on a trouvé :

Grains de la catégorie I, 65,71 p. 100 dont le poids de 1.000 grains est de 40^{sr},62 ;

Grains de la catégorie II, 26,63 p. 100, dont le poids de 1.000 grains est de 34^{sr},81 ;

Grains de la catégorie III, 7,26 p. 100, dont le poids de 1.000 grains est de 28^{sr},70.

Le poids relatif de 1.000 grains de malt humide est donc de :

$$0,6571 \times 40,62 + 0,2663 \times 34,81 + 0,0726 \times 28,70 = 38^{sr},828.$$

Rapporté au malt sec, ce chiffre devient 36^{sr},828.

La perte est donc de $41,933 - 36,828 = 5^{sr},105$ de matière sèche pour 41^{sr},933 d'orge, c'est-à-dire 12,17 p. 100 de l'orge sèche. La détermination directe a donné, pour 6.366^{kg},9 d'orge sèche, 5.602 kilogrammes de malt sec, ce qui correspond à une perte de 12 p. 100. La méthode donne donc des résultats satisfaisants.

Le contrôle des diverses opérations du maltage demande

la tenue de livres spéciaux. Pour le trempage, on note la nature du grain, son poids, la durée du trempage, la température. Pour la germination, on note la durée, les températures du germe et du malt, l'heure des pelletages, etc. Pour le touraillage, on note l'heure du chargement, les températures aux diverses périodes, l'heure du déchargement, le poids de malt obtenu. On peut ainsi retrouver facilement les causes d'une diminution de qualité du malt et y remédier.

VIII. — INSTALLATION D'UNE MALTERIE

Nous avons déjà donné, à propos du nettoyage et de la conservation des orges, quelques notions sur la disposition des bâtiments dans cette partie de la malterie.

Pour les installations de faible importance, susceptibles de produire moins de 1.000 quintaux, la méthode la plus économique consiste à conserver le grain en grands tas dans les greniers. On dispose alors une trémie à l'arrivée des grains; on y vide les sacs, et une simple chaîne à godets monte les orges au grenier. Dans les installations plus importantes, il est préférable de conserver le grain en silos. Ceux-ci doivent alors être disposés comme nous l'avons précédemment indiqué : ils reçoivent les orges qui ont subi, dès leur arrivée, un nettoyage préalable pour les aérer et les débarrasser de leurs poussières. Une vis sans fin ou un transporteur à courroie reprend les grains à la base du silo pour les envoyer soit au nettoyage définitif et à la trempé, soit dans un autre silo quand l'aération est nécessaire.

Les appareils de nettoyage doivent être autant que possible superposés dans des étages successifs. Il est très utile de disposer deux bascules automatiques : l'une enregistre les pesées du grain qui sort du nettoyage préalable et va aux silos; l'autre fait connaître le poids du grain nettoyé qui va à la trempé. On a ainsi tous les éléments pour connaître la freinte au nettoyage, et les proportions de mauvais grains, de grains cassés, de pailles et de poussières de chaque sorte d'orge.

Les cuves à tremper sont généralement disposées au-dessus des germeoirs, pour qu'on puisse évacuer directement les orges

après la trempe. Les germoirs sont placés soit au rez-de-chaussée, soit au sous-sol; souvent les tourailles sont placées à l'extrémité des bâtiments, du côté opposé aux cuves à tremper. Dans ce cas, on fait avancer les couches peu à peu à chaque pelletage, suivant toute la longueur du germoir, de manière à arriver au voisinage de la touraille quand la germination est achevée. Dans d'autres dispositifs, le germoir est divisé en secteurs, et on traite une même couche toujours dans le même secteur, en l'étendant plus ou moins et en la déplaçant de la droite vers la gauche ou inversement. Quand la germination est suffisante, le malt vert est chargé sur des berlines qui le conduisent à l'élévateur qui alimente la touraille. On utilise beaucoup dans ce but des chaînes à larges godets.

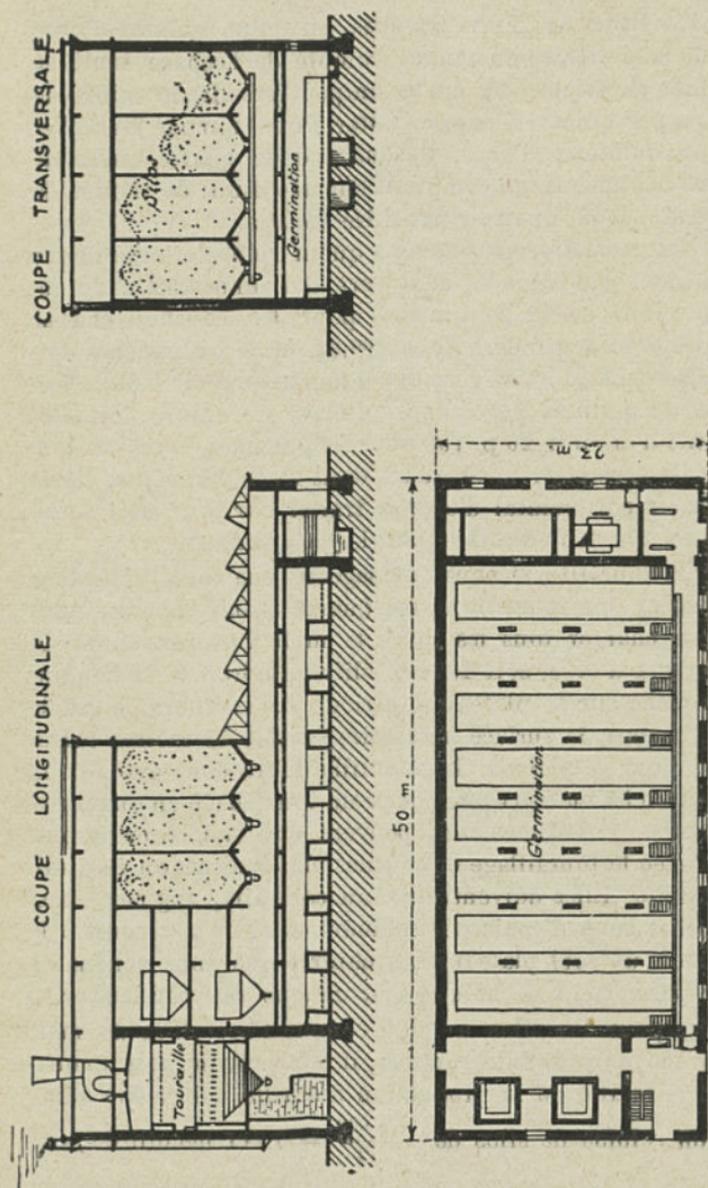
Le malt déchargé de la touraille passe au dégermeur, et il est alors conduit dans les silos ou les greniers à malt au moyen d'un transporteur à courroie ou d'une vis.

Pour l'établissement de la dimension des locaux, il faut se baser sur les chiffres suivants. On doit pouvoir produire en huit ou neuf mois la quantité de malt à obtenir annuellement, car le maltage au germoir est très difficile dans les mois d'été; on doit compter, en outre, que le rendement en malt par rapport à l'orge est d'environ 76 à 78 p. 100 : il faudra donc prévoir le traitement de 133 kilogrammes d'orge pour produire 100 kilogrammes de malt.

Dans ces conditions, supposons qu'on ait à installer une malterie de 7.500 quintaux de malt : il faudra compter sur 10.000 quintaux d'orge à traiter. La campagne étant de 250 jours environ, il faudra traiter 40 quintaux d'orge pour produire 30 quintaux de malt par jour.

Pour les greniers, on peut tabler en moyenne sur une surface de $0\text{m}^2,20\text{-}0\text{m}^2,30$ par quintal d'orge. La surface à prévoir dépendra de la quantité d'orge à conserver : pour pouvoir emmagasiner la moitié de la consommation annuelle, il faudra donc environ 2.000 mètres carrés de greniers.

Si on installe des silos, le volume à prévoir doit être sensiblement de 150 litres par quintal d'orge à emmagasiner, soit 750 mètres cubes par 5.000 quintaux.



PLAN DU REZ-DE-CHAUSSEE

Fig. 28. — Malterie en cases Saladin; production 36.000 quintaux en malt. (Diebold et Cie, Nancy.)

Pour les cuves à tremper, on compte qu'un hectolitre d'orge

donne 150 litres de grains trempés, ou qu'un quintal d'orge demande 225 litres ; en tenant compte de l'espace inutilisé à la partie supérieure des cuves, on peut prendre le chiffre de 240 litres par quintal d'orge à traiter. Pour tremper journellement 40 quintaux d'orge, il faudra donc quatre cuves de 96 à 100 hectolitres, en comptant sur une durée de trempé de soixante-douze à quatre-vingt-seize heures.

Pour les germoirs, nous savons qu'un quintal d'orge donne sensiblement 340 litres de malt vert. En admettant une hauteur moyenne de 12 centimètres pour les couches, chaque quintal d'orge demandera donc $2^{\text{m}^2},83$, et, si les couches doivent rester neuf jours au germoir, il faudra prévoir $2,83 \times 9 = 25^{\text{m}^2},47$ de germoir par quintal d'orge. Ce chiffre doit être augmenté d'environ 20 p. 100 pour les passages. Dans ces conditions de germination, il faudra donc avoir 30 mètres carrés de germoir par quintal d'orge à traiter par jour, soit sensiblement 1.200 mètres carrés pour les 40 quintaux.

Pour la touraille, si nous envisageons une touraille à deux plateaux et un touraillage en quarante-huit heures, nous aurons à charger tous les jours le malt vert provenant de 40 quintaux d'orge, soit 136 hectolitres environ. Si la hauteur de la couche sur le plateau supérieur de la touraille est de 25 centimètres, la surface nécessaire sera de 55 mètres carrés environ pour ce plateau. La touraille devra donc avoir deux plateaux de 55 mètres carrés, pour un touraillage en quarante-huit heures. Ces dimensions peuvent être notablement plus faibles avec le touraillage en couches plus épaisses ou de durée plus réduite. Elles doivent être, au contraire, augmentées si les couches sont d'épaisseur moindre et si on a recours à la touraille à un seul plateau. Les chiffres que nous venons de donner permettent de solutionner chaque cas particulier.

Enfin, pour les silos à malt, comme l'hectolitre de malt pèse en moyenne 52 kilogrammes, il faut prévoir, pour emmagasiner la moitié de la production annuelle, soit 3.750 quintaux, un volume de silos de $\frac{375.000}{52} = 7.211$ hectolitres, soit sensiblement 720 mètres cubes. On peut utiliser dans ce but les silos à orges, au fur et à mesure de leur vidange, pour

réduire les dépenses d'installation et la superficie couverte.

Une malterie pneumatique permettrait de produire la même quantité de malt sur une surface beaucoup plus réduite, à cause de la germination sous forte épaisseur en cases, et de la répartition de la production sur une période beaucoup plus longue, le travail restant possible à peu près toute l'année.

La figure 28 représente une malterie pneumatique de 36.000 quintaux en malt, avec huit cases de germination, touraille à couche épaisse et silos à malt et à orges.

IX. — COMPOSITION ET APPRÉCIATION DU MALT

Composition du malt.

Si on compare le poids volumétrique de l'orge à celui du malt, on constate que la différence entre le poids d'un hectolitre d'orge et le poids d'un hectolitre de malt oscille généralement entre 15 et 17 kilogrammes. Le poids moyen d'un hectolitre de malt est d'environ 52 kilogrammes.

La comparaison du volume de l'orge au volume du malt qui en résulte montre qu'il y a à peu près équivalence : un hectolitre d'orge fournit environ un hectolitre de malt d'humidité normale.

Si on rapproche maintenant la composition chimique du malt de celle de l'orge, on constate qu'un bon malt ne contient plus que 3 à 5 p. 100 d'eau, tandis que l'orge en renferme environ 14 p. 100. La richesse en amidon est de 10 à 12 p. 100 plus faible dans le malt que dans l'orge, par suite de la perte par respiration et de la formation des sucres, mais la quantité de sucres préformés est plus considérable dans le malt que dans l'orge. La présence du saccharose dans le malt a été signalée d'abord par Kuhnemann, puis confirmée par Brown et Héron, Kjeldahl, O'Sullivan et d'autres. Jalowetz a rencontré aussi la dextrine et le maltose, mais la présence de ces deux corps n'est pas admise par tous les auteurs, très probablement à cause de la différence de la nature des malts expérimentés. O'Sullivan, sur vingt malts, a trouvé pour les sucres les chiffres suivants :

Saccharose	2,8 à 6 p. 100
Maltose	1,3 à 5 —
Dextrose	1,5 à 3 —
Lévilose	0,7 à 1,5 —

Ces chiffres ne sont qu'approchés, car toutes les précautions n'ont pas été prises, dans ces recherches, pour exclure complètement

l'action des diastases sur l'amidon. Mason, qui a repris cette étude en supprimant totalement l'action diastasique dans les dosages, a constaté dans le malt la présence de dextrose et de lévulose, de saccharosé et d'hydrates de carbone réducteurs, mais non fermentescibles. Il a trouvé, par exemple, dans divers malts touraillés, les chiffres suivants :

	Sucre réducteur en dextrose. p. 100.	Saccharose. p. 100.	Matières réductrices en dextrose. p. 100.
Malt de Munich pâle.	4,51	6,18	0,47
— foncé	4,57	6,47	0,70
Malt anglais.	2,32	7,41	0,90
—	4,93	5,73	0,54
Malt séché à l'air	1,85	6,98	0,59
Orge	—	1,92	—

Sous le rapport des matières azotées, le malt est un peu moins riche en azote que l'orge, à cause de la perte de matière azotée occasionnée par les radicelles. Mais, pendant la germination, les diastases protéolytiques solubilisent des matières azotées; le touraillage en coagule une autre partie. Finalement, si on examine la richesse du malt en azote total, on trouve qu'elle est en moyenne de 1,3 à 1,8 p. 100 du poids du malt sec, ce qui correspond à 8-11 p. 100 de matières azotées. Mais la nature de ces diverses matières azotées n'est plus la même que dans l'orge. En soumettant divers malts à la saccharification par la méthode conventionnelle, Fernbach a constaté que la proportion d'azote soluble ou solubilisé par la saccharification dans ces malts varie de 20 à 40 p. 100 de l'azote total, le chiffre le plus fréquent étant de 33 p. 100. Kukla a trouvé de même que la matière azotée soluble d'un malt peut varier entre 3 et 5 p. 100, et que dans les bons malts il y a 30 à 35 p. 100 de l'azote total à l'état soluble, ce qui correspond bien aux chiffres moyens de Fernbach. Ce chiffre peut s'élever à 40 p. 100 et plus, quand on exagère, par une germination forcée, le développement de la plumule aux dépens de la croissance naturelle des radicelles, ou quand l'orge est très pauvre en azote total. Dans ce dernier cas, la proportion centésimale d'azote soluble est forcément plus élevée qu'avec un malt riche en azote total. La proportion centésimale d'azote solubilisé peut, au contraire, descendre au-dessous de 25 p. 100 si le malt est mal désagrégé par une germination trop courte ou parfaitement désagrégé par une germination froide très longue ou si le grain est riche en azote total. Kukla a montré, en outre, que les matières azotées solubles coagulables des malts varient entre 0,4 et 0,6 p. 100: elles représentent donc 4 à 6 p. 100 de l'azote total et 3 à 12 p. 100 de

		GERMINATION NATURELLE					
		Courte.		Prolongée.		Très prolongée.	
		Orge.	Malt.	Orge.	Malt.	Orge.	Malt.
POUR 100 DE GRAIN SEC							
matières azotées totales.		12,68	9,99	9,84	9,38	11,26	9,62
— insolubles		11,03	6,59	7,99	5,64	9,66	7,68
— solubles		1,65	3,40	1,85	3,74	1,60	1,94
— coagulables		0,46	0,23	0,44	0,12	0,47	0,64
— non coagulables		1,19	3,17	1,41	3,62	1,13	1,30
		GERMINATION FORCÉE					
		Bonne désagrégation.		Bonne désagrégation.		Mauvaise désagrégation.	
		Orge.	Malt touraillé à 58° R.	Malt touraillé à 62° R.	Malt.	Orge.	Malt.
POUR 100 DE GRAIN SEC							
matières azotées totales.		6,02	5,51	5,49	6,97	9,48	8,40
— insolubles		1,99	3,90	3,93	2,92	8,21	5,72
— solubles		0,34	0,11	0,41	4,05	1,27	2,68
— coagulables		0,70	3,79	3,47	0,17	0,14	0,15
— non coagulables					3,88	1,13	2,53

l'azote soluble. Cette proportion d'azote coagulable décroît quand la germination a lieu rapidement et à haute température.

Si donc on compare les matières azotées de l'orge à celles du malt, on constate que le malt est plus pauvre que l'orge en matières azotées totales et en matières azotées insolubles, mais il est plus riche en matières azotées solubles. Quant aux matières azotées solubles coagulables, elles sont tantôt plus abondantes, tantôt moins abondantes dans le malt que dans l'orge, suivant les modes de travail. Quelques exemples, empruntés aux travaux de Kukla (tableau p. 185), indiquent ces variations suivant les divers modes de germination et de touraillage.

On voit par les chiffres de ce tableau que la nature des diverses matières azotées du grain varie beaucoup suivant le mode de travail de l'orge à la germination et au touraillage. La proportion de matières azotées solubles coagulables est beaucoup plus forte avec la germination froide, lente et prolongée, qu'avec la germination rapide et chaude. La germination forcée augmente également la richesse du malt en azote soluble incoagulable. Le touraillage à température élevée permet d'augmenter la proportion d'azote coagulable. Il peut donc y avoir, suivant les conditions de travail, une augmentation ou une diminution de l'azote coagulable contenu primitivement dans l'orge.

H. T. Brown a étudié les diverses formes des matières azotées solubles des malts, en préparant à froid des extraits de malt et en soumettant ces extraits à l'ébullition et à la filtration. Il a trouvé que la proportion d'amides et d'acides aminés présents dans le malt est beaucoup moins élevée qu'on ne le croit. Brown a constaté que, dans un extrait de malt préparé à froid, puis bouilli et filtré, les proportions des diverses formes de matières azotées sont les suivantes :

Azote ammoniacal	3,5	p. 100
— des albumoses	20,0	—
— des peptones	31,0	—
— des amides et acides aminés	8,5	—
— des bases organiques	4,0	—
— indéterminé	33,0	—

Les bases organiques sont surtout constituées par de la bêtaïne et de la choline. Les albumoses et les peptones semblent dériver de l'hordéine : elles ont des caractères particuliers qui les différencient nettement des albumoses et peptones animales. Les albumoses du malt sont précipitables par le sulfate d'ammoniaque et le sulfate de zinc, mais elles ne donnent pas la réaction du biuret : les peptones du malt restent en solution après l'action du sulfate d'ammoniaque ; elles ne donnent pas la réaction du biuret et ne précipitent pas par l'alun de fer ammoniacal. En outre, ces albumoses et ces peptones fournissent toutes, par l'acide nitreux naissant,

sant, une certaine quantité d'azote libre, et on peut démontrer que cette propriété n'est pas due à la présence d'acides aminés en nature qui donnent cette réaction, mais à des groupes aminés qui font partie intégrante de la molécule. Brown a pu ainsi classer les albumoses et les peptones du malt par leur *indice aminé*, qui est la proportion centésimale d'azote total qui existe en apparence sous forme d'acides aminés, telle qu'elle est mise en évidence par la réaction avec l'acide nitreux. Il a pu ainsi extraire l'albumose I, insoluble dans l'alcool à 85°, produisant en solution aqueuse une mousse persistante, et dont l'indice aminé est de 4; l'albumose II, soluble dans l'alcool à 85°, ne produisant pas de mousse en solution aqueuse, et dont l'indice aminé est de 5; l'albumose III, dont l'indice aminé est de 20; la peptone I dont l'indice aminé est de 40,9; la peptone II dont l'indice aminé est de 49,3.

Winkelmann a montré que les matières solubles des enveloppes représentent de 0,6 à 4 p. 100 et plus de l'extrait total du malt. Cette dose varie avec la nature de l'orge et le travail du maltage. Ces matières sont constituées principalement par des sucres en proportion moindre que dans l'extrait de malt et des matières azotées en proportion plus grande que dans cet extrait. La saveur amère n'est sensible que sur l'infusion très concentrée d'enveloppes.

Au point de vue des matières minérales, il importe de remarquer que les composés phosphorés insolubles de l'orge se transforment en partie, pendant le maltage en combinaisons solubles. Ce sont ces corps qui donnent au malt une acidité apparente au tournesol. Fernbach a montré, en effet, que le malt exige l'addition d'une certaine quantité d'acide avant d'avoir une réaction acide au méthylorange, qui vire cependant en présence de la plus petite trace d'acide libre. Moritz a constaté que le malt est d'autant plus riche en composés phosphorés solubles que la germination a été plus forcée.

Appréciation du malt.

L'emploi d'un bon malt est une condition essentielle pour fabriquer une bière de bonne qualité. L'appréciation du malt est donc une opération de la plus haute importance. Elle doit comprendre d'abord l'examen des caractères externes et internes du grain, ou examen physique, et l'analyse chimique. L'analyse chimique du malt n'est, en effet, qu'un essai de brassage qui n'est pas suffisant pour permettre de porter sur le malt un jugement complet : elle doit être complétée par l'examen physique.

Examen physique du malt. — L'examen physique com-

prend l'étude des caractères internes et externes du grain. Parmi les caractères extérieurs, il y a lieu d'examiner la pureté, la couleur et l'odeur; l'analyse mécanique permet d'envisager, en outre, le poids de l'hectolitre, le poids de 1.000 grains, la dimension des grains, la longueur de la plumule et l'état de l'amande.

Prélèvement de l'échantillon. — L'échantillon de malt à examiner doit représenter véritablement un échantillon moyen. Comme les diverses parties d'un tas de malt présentent des différences, il faut prélever des échantillons en dix ou vingt points, à l'intérieur et à l'extérieur du tas, et mélanger toutes ces prises. On prend alors dans ce mélange l'échantillon destiné à l'examen. Quand le malt est en sacs, il faut prélever à l'aide d'un échantillonneur des portions de grains dans les différentes couches du sac et faire cette opération sur dix sacs au moins. On mélange ces divers échantillons pour constituer l'échantillon moyen.

Pureté. — La pureté se détermine en établissant la proportion de radicules, de grains cassés ou moisis et de graines étrangères que renferme le malt. Un malt, pour être acceptable, ne doit pas renfermer plus de 0,5 p. 100 de grains cassés, de 0,5 p. 100 de grains moisis et de 0,5 p. 100 d'impuretés.

Couleur. — La couleur du malt lui-même a beaucoup moins d'importance que celle du moût qu'il donne. Elle doit être cependant régulière, jaune clair ou jaune foncé suivant les types; la couleur terne et grise est défectueuse.

Odeur. — L'odeur doit être franche et saine; l'arôme de torréfaction doit être nul pour les malts du type Pilsen, faible pour les malts du type Vienne, accentué pour les malts du type Munich.

Poids de l'hectolitre. — Le poids de l'hectolitre de malt se détermine comme celui de l'orge. Il est influencé par l'humidité de l'air du local et par sa température, par l'humidité du malt lui-même et par la manière dont on verse le grain dans le vase mesureur. En général, le poids de l'hectolitre augmente par fixation d'eau, car l'augmentation de volume du grain par l'humidité est plus faible que l'augmentation de poids due à cette absorption d'eau. En versant lentement et en

mince filet le grain dans le vase mesureur, on obtient un poids plus élevé qu'en le versant rapidement et en gros jet.

Ce caractère d'appréciation n'a qu'une valeur réduite. Il ne faut le considérer comme trop élevé que lorsque la désagrégation est en même temps défectueuse, car on fabrique aujourd'hui des malts dont le poids de l'hectolitre est élevé et qui sont cependant excellents. On admet cependant, en général, que les malts pâles ne doivent pas peser plus de 56 kilogrammes à l'hectolitre, les malts foncés plus de 54 kilogrammes. Les chiffres extrêmes sont de 48 kilogrammes pour un malt très léger, de 60 kilogrammes pour un malt très lourd.

Poids de 1.000 grains. — Le poids de 1.000 grains peut s'obtenir en comptant au moins deux fois 500 grains et en rapportant le poids obtenu au malt sec. Mais il est plus exact de peser 200 ou 300 grammes de grains et de les compter ensuite, ce qui permet de déterminer le poids de 1.000 grains.

Ce caractère n'a également qu'une valeur relative, car certains malts, provenant d'orges lourdes, peuvent avoir un poids de 1.000 grains élevé, sans que la désagrégation laisse à désirer. On peut cependant reconnaître par cette méthode si le malt livré est plus humide que l'échantillon reçu et soumis à l'analyse, ce qui arrive souvent. Le poids de 1.000 grains secs oscille ordinairement entre 29 et 36 grammes. On admet, en général, que les malts dont le poids de 1.000 grains est inférieur à 30 grammes sont pauvres en extrait, et que ceux qui dépassent 38 grammes sont trop humides ou insuffisamment désagrégés; mais ces conclusions ne sont pas toujours exactes.

Dimensions des grains. — La dimension des grains se détermine, comme nous l'avons vu pour les orges, au moyen des tamis trieurs, à mailles de 2^{mm},8, 2^{mm},5 et 2^{mm},2. Elle doit être aussi uniforme que possible, car la qualité d'un malt dépend beaucoup de la régularité de grosseur de ses grains. Il doit y avoir le moins possible de grains dont les dimensions sont inférieures à 2^{mm},2, car ils sont sans valeur pour la fabrication. Le calibrage est également utile pour reconnaître les mélanges de malts à gros et à petits grains.

Longueur de la plumule. — La longueur de la plumule se détermine en classant les grains dans six catégories, d'après

la longueur de leur plumule, et on cherche sur 200 grains au moins la proportion centésimale de grains compris dans chacune des catégories suivantes :

1. Plumule plus petite que $\frac{1}{2}$ de la longueur du grain.
2. — égale à $\frac{1}{2}$ de longueur du grain.
2. — — $\frac{2}{3}$ — —
4. — — $\frac{3}{4}$ — —
5. — — à toute la longueur du grain.
6. — supérieure à toute la longueur du grain.

Cet examen est assez délicat ; les catégories sont trop rapprochées, et certains expérimentateurs classent des grains dans la catégorie 3, d'autres classent les mêmes grains dans la catégorie 4. Les résultats peuvent donc différer sensiblement d'un opérateur à l'autre. En outre, on sait bien que le développement de la plumule est en relation avec l'état de désagrégation. Mais il ne faut pas perdre de vue que le mode de germination influe sur la plumule : si la germination a été chaude et rapide, la plumule peut être longue sans que la désagrégation soit complète, et inversement si la germination a été froide et lente, la plumule peut être courte, avec une désagrégation parfaite. Donc certains malts à plumule normalement développée sont mauvais ; d'autres malts à plumule courte sont excellents.

Il est donc préférable de ne faire intervenir ce caractère dans l'appréciation du malt que si une croissance trop courte de la plumule a entraîné une désagrégation insuffisante. On doit cependant préférer les malts germés régulièrement, c'est-à-dire ceux dont les grains présentent des plumules presque entièrement classées dans deux catégories voisines. On doit également tenir compte du nombre de grains non germés ou manquants : un bon malt d'orge ne doit pas en renfermer plus de 4 p. 100 ; ce chiffre s'élève à 7 à 8 p. 100 chez les malts d'Afrique.

État de l'amande — L'état de l'amande s'observe en coupant au moyen d'un farinatome 200 grains au moins et en déterminant la proportion centésimale de grains farineux, demi-vitreux et vitreux dans chacune des catégories de couleur blanche, jaune ou brune de l'amande.

Cet examen complète celui de la plumule, et il est beaucoup plus important. L'amande doit être friable et blanche, la désagrégation normale, sans exagération; il ne doit pas y avoir de grains brunis ou brûlés. Il importe de remarquer que, quand on emploie les farinatomes qui coupent le grain transversalement dans sa partie médiane, on obtient des résultats toujours trop favorables. Il faut que la germination soit très défectueuse pour que le grain ne soit pas friable en son centre; et quand la désagrégation est imparfaite, les points mal désagrégés se trouvent toujours à l'extrémité opposée de l'embryon, vers le bout du grain. Il est donc préférable de recourir exclusivement aux farinatomes qui coupent le grain longitudinalement, comme celui de Kickelhayn. On se rend compte alors sur la coupe jusqu'à quelle distance le grain est farineux et friable, et on détermine la proportion centésimale de grains à bouts durs.

Pour apprécier la désagrégation, on peut aussi effectuer l'essai du plongeon, qui est basé sur ce fait que les grains vitreux ont une densité plus élevée que celle de l'eau et tombent au fond quand on les plonge dans ce liquide. D'après Meacham, il suffit de jeter dans l'eau additionnée de 5 p. 100 d'alcool méthylique 300 grains, et, après agitation de trente secondes, d'étaler les grains immergés sur une feuille de buvard pour les examiner et les classer dans une des catégories suivantes : grains non germés, grains complètement vitreux, grains partiellement vitreux et grains à bouts durs. Cet essai ne donne pas des résultats toujours exacts; mais, effectué avec soin, il peut cependant donner quelques indications.

Prior a proposé de déterminer la friabilité du malt en faisant une mouture au moulin étalon de Seck, suivie d'un tamisage au tamis trieur de Vogel, et en établissant la proportion de farine obtenue. Cette proportion diminue à mesure que le nombre des grains vitreux et durs augmente. Prior distingue ainsi :

1°	Les malts très friables qui donnent plus de 40 p. 100 de farine.				
2°	— friables	—	35-40	—	—
3°	— durs	—	30-35	—	—
4°	— très durs	—	moins de 30	—	—

Mais les expériences de Bode ont montré que la teneur du malt en eau influe sur la proportion de farine. A mesure que la teneur en eau augmente de 1 p. 100, la proportion de farine diminue aussi de 1 p. 100. Il est donc nécessaire, pour faire l'essai de Prior, d'admettre, par exemple, une teneur moyenne du malt en eau de 5 p. 100, et, pour chaque variation de 1 p. 100 dans la richesse en eau, de corriger de 1 p. 100 le chiffre obtenu pour la farine, en retranchant quand l'humidité est au-dessous de 5 et en ajoutant quand elle est au-dessus.

Pouvoir germinatif des malts touraillés. — Les malts touraillés possèdent encore un pouvoir germinatif qui varie surtout avec le degré de touraillage. Dans les malts Pilsen, on trouve souvent un certain nombre de grains encore susceptibles de germer; on en trouve, au contraire, très peu dans les malts Munich. La détermination de ce caractère peut rendre certains services pour reconnaître si un malt a été touraillé à une température finale assez élevée.

Appréciation d'un malt par l'analyse chimique. — L'examen physique ne suffit pas pour apprécier un malt; on doit joindre un examen chimique, qui est un essai de brassage en petit susceptible de donner au brasseur des renseignements très importants, sur la valeur pratique de son malt. Cette analyse se fait par des méthodes conventionnelles qui ont été étudiées dans un autre volume de cette *Encyclopédie*¹. Elle comprend généralement les déterminations suivantes : humidité, durée de saccharification, rendement en extrait, couleur du moût, proportion de maltose que renferme l'extrait, acidité, matières azotées totales, matières azotées solubilisées par le brassage par la méthode conventionnelle, pouvoir disassiatique.

Les principales règles d'appréciation du malt d'après son analyse chimique sont les suivantes :

Humidité. — L'humidité normale d'un malt est de 3 à 5 p. 100. Les malts plus humides présentent de graves inconvénients. Au point de vue économique, il n'est pas avantageux pour l'acheteur de payer l'eau au prix de la matière première. Au point de vue technique, le malt humide est le siège de trans-

(1) Voir GUILLIN, *Analyses agricoles*.

formations continues, par réveil de l'activité des diastases. Ce sont surtout les diastases protéolytiques qui interviennent en dégradant les matières azotées dans un sens défavorable à la stabilité et au moelleux de la bière. L'excès d'humidité présente également de gros inconvénients pour la mouture : un moulin bien réglé ne donne une mouture uniforme que si le grain a une teneur constante en eau; la finesse de la mouture va en diminuant quand le taux d'humidité du malt s'élève. Il faut alors rapprocher les cylindres : ceux-ci s'échauffent, déchirent trop les enveloppes, et la filtration s'en ressent.

Toutes ces raisons obligent le brasseur à se montrer sévère au sujet de la teneur des malts en eau. On peut admettre, dans la période qui s'étend du 1^{er} octobre au 1^{er} avril, une teneur maxima de 4,5 p. 100; en été, les malts anciens ont forcément repris de l'humidité, mais le taux de 5 à 5,3 p. 100 d'eau ne doit pas être dépassé. Les contrats d'achats de malt devraient toujours comporter des garanties à ce sujet, en prévoyant une pénalité ou une prime au-dessus ou au-dessous des chiffres précédents, et en donnant à l'acheteur la faculté de refuser la livraison si le taux d'humidité dépasse 6 p. 100. Les mauvais résultats qu'on obtient avec les malts trop humides, sous le rapport du moelleux et de la stabilité des bières, justifient pleinement ces précautions.

Durée de saccharification. — La durée de saccharification du malt est très variable : on considère qu'elle est courte quand elle ne dépasse pas quinze minutes, moyenne quand elle atteint vingt à vingt-cinq minutes, longue quand elle dure trente minutes et davantage. On admet, en général, qu'elle doit être de quinze à vingt minutes au maximum pour les malts du type Pilsen, de vingt à vingt-cinq minutes pour les malts du type Vienne, de trente à trente-cinq minutes pour les malts du type Munich. Une courte dissolution indique ordinairement une désagrégation très complète et un pouvoir diastasique très élevé. Les renseignements fournis par l'examen de l'amande et par la détermination du pouvoir diastasique permettent ainsi de contrôler les résultats fournis par la durée de saccharification. Quand le malt se saccharifie lentement, on doit en conclure qu'il est peu diastasique, et ce malt

devra être traité, en cuve matière, plus lentement et à plus basse température qu'un malt à saccharification courte.

Rendement en extrait. — Le rendement en extrait dépend essentiellement de la nature de l'orge et de son état de désagrégation. Il faut avant tout le mettre en comparaison avec le prix qu'on paie le malt : à prix égal, le malt le plus avantageux est évidemment celui qui donne le plus fort rendement en extrait. Pour les orges indigènes, le rendement rapporté au malt sec ne doit guère descendre, chez les grains de bonne qualité, au-dessous de 76 à 78 p. 100, suivant les types : les escourgeons d'Afrique, donnent un rendement sensiblement plus faible (71-72 p. 100). Le rendement est ordinairement plus élevé pour les malts pâles que pour les malts foncés : il y a, cependant, des exceptions, et certains malts foncés, touraillés avec soin, peuvent donner autant de rendement que des malts pâles. La comparaison des rendements obtenus avec la mouture fine et la mouture grossière permet de juger de l'état de désagrégation du malt ; la différence est d'autant plus faible que le malt est plus friable : elle peut n'être que de 0,5 p. 100, par exemple, si le malt est de bonne qualité, et atteindre 4 à 5 p. 100 avec les malts mal désagrégés.

Couleur du moût ; limpidité et odeur. — La couleur du moût, exprimé en centimètres cubes d'iode $\frac{N}{40}$ et pour un moût de 10 grammes d'extrait pour 100 grammes de liquide est ordinairement de 3 à 6 pour les malts de fermentation haute. En fermentation basse, elle doit être de 1,7 à 2,6 pour les malts du type Pilsen, de 2,6 à 4,5 pour les malts du type Vienne, de 6 à 14 pour les malts du type Munich.

Il y a lieu de tenir compte également de la limpidité du moût provenant de l'analyse : ce moût doit couler rapidement, être clair, sans voile ni trouble, et donner une bonne cassure par l'ébullition. L'odeur ne doit pas être aromatique pour les malts Pilsen, mais franche et sucrée ; elle doit être faiblement aromatique pour les malts Vienne, fortement aromatique pour les malts Munich.

Teneur du moût en maltose. — La proportion de maltose formé pendant la saccharification du malt par la méthode

conventionnelle dépend du pouvoir diastasique et de l'état de désagrégation. Un malt qui donne beaucoup de maltose peut être attaqué à température élevée et conduit, en général, à une atténuation principale forte. Au contraire, un malt qui donne peu de maltose est moins diastatique; il devra être attaqué avec plus de précautions, à température plus basse. Il importe d'ailleurs de remarquer qu'avec certains modes de brassage la proportion de maltose qui se forme dans la pratique peut être plus ou moins élevée : l'appréciation d'un malt au point de vue de la richesse de l'extrait en maltose dépend donc du mode de travail de l'usine. Par exemple, un malt peut convenir sous le rapport du maltose formé à une brasserie qui emploie le brassage par infusion et se montrer défectueux pour une brasserie qui utilise la décoction à trois trempes. L'emploi plus ou moins considérable de grains crus intervient également : il est préférable, en général, d'avoir un moût assez riche en maltose, indiquant un pouvoir diastasique assez élevé, quand on doit utiliser une forte proportion de grains crus au brassage. Pour les malts de fermentation haute, la moyenne est ordinairement de 66 à 68 de maltose pour 100 d'extrait. Pour les malts de fermentation basse, la proportion de maltose formé doit être, en général, de 66 à 72 p. 100 d'extrait pour les malts Pilsen, de 63 à 66 p. 100 pour les malts Vienne, de 58 à 63 p. 100 pour les malts Munich.

Acidité. — L'acidité des malts joue un rôle important dans la stabilité des bières. Cette acidité varie beaucoup avec la nature des malts, avec les années, avec les procédés de maltage. Les chiffres normaux varient entre 0,3 et 0,7 p. 100 exprimés en acide lactique et rapportés au grain sec. Une acidité plutôt élevée est préférable.

Matières azotées. — Les bases d'appréciation des malts sous le rapport des matières azotées totales sont les mêmes que pour l'orge. On préfère avec raison les malts pauvres en azote qui conduisent toujours à de meilleurs résultats sous le rapport du rendement et de la stabilité de la bière. La teneur convenable du malt sec en matières azotées totales est de 9 à 10,5 p. 100. La provenance du malt intervient d'ailleurs pour faire varier ce chiffre dans de grandes proportions : les malts

d'orges indigènes sont normalement beaucoup plus pauvres en matières azotées que certains malts provenant d'orges exotiques, telles que les orges de Moldavie; dans ces derniers malts, la teneur en matières azotées totales dépasse fréquemment 13 à 14 p. 100.

Le chiffre des matières azotées solubilisées par le brassage lors de l'analyse par la méthode conventionnelle donne des renseignements intéressants sur le mode de travail du grain au germe et à la touraille. Ces matières jouent un rôle important dans les qualités de bouche et de mousseux de la bière; sa stabilité en dépend aussi beaucoup. En général, on trouve dans un malt normal environ le tiers des matières azotées à l'état soluble et incoagulable par la chaleur; en d'autres termes, les matières azotées solubles et incoagulables, rapportées à 100 de malt sec, représentent environ 33 p. 100 des matières azotées totales. Mais il ne faut pas perdre de vue que la nature de l'orge et sa teneur en matières azotées totales interviennent ici. Si la teneur du grain en azote total est faible, la proportion *centésimale* d'azote solubilisé peut s'élever à 40 p. 100 sans que le moût ait une richesse exagérée en azote soluble; inversement, si la teneur du grain en azote total est très forte, la proportion centésimale d'azote solubilisé peut n'être que de 27 à 28 p. 100, bien que le moût soit riche en azote soluble. On ne doit donc pas conclure obligatoirement à une germination chaude et forcée quand la proportion des matières azotées solubilisées dépasse 40 p. 100 des matières azotées totales ou à une germination insuffisante quand ce chiffre n'est que de 27 à 28 p. 100. Il faut faire intervenir dans l'appréciation la teneur du grain en matières azotées totales. En général, les malts normaux renferment de 3 à 3,6 p. 100 de matières azotées solubles et incoagulables par la chaleur, rapportées au grain sec.

Pouvoir diastasique. — Cette détermination a beaucoup plus d'importance qu'on ne le croit, car ses résultats sont indépendants du mode de brassage employé par l'analyse, tandis que le chiffre du maltose pour 100 d'extrait et la durée de saccharification en dépendent essentiellement. Le pouvoir diastasique du malt est surtout utile à connaître quand on

doit employer beaucoup de grains crus, ou pour juger les modifications qu'il est possible d'introduire dans la méthode de brassage. Un malt de pouvoir diastasique élevé peut supporter un brassage rapide, une attaque à haute température et le travail en mélange avec une forte proportion de grains crus. Utilisé seul avec une méthode lente de brassage, un tel malt conduira à un moût trop riche en sucre, à une atténuation trop forte et à une bière sans mousse et sans corps. L'appréciation d'un malt sous le rapport du pouvoir diastasique dépend donc essentiellement des conditions de travail de la brasserie. Le chiffre correspondant à un malt foncé, bien touraillé, est d'environ 25 à 30 en unités Lintner; les malts pâles conduisent à des chiffres plus élevés, qui dépassent ordinairement 50.

IV. — BRASSAGE

Le brassage a pour objet la production du moût sucré aux dépens du malt seul ou associé à des grains crus ou à des sucres. Le but à atteindre consiste évidemment à utiliser de la façon la plus parfaite les matières premières employées, mais en conservant à la bière sa stabilité, son caractère et sa qualité. Les facteurs essentiels qui influent dans cette opération sont la qualité du malt, la nature de la mouture, le procédé de brassage et le mode de soutirage.

Le brassage peut se diviser en deux phases : 1° le concassage du malt; 2° le brassage proprement dit qui comprend l'empâtage du malt, la saccharification, le soutirage du moût et le lavage des drèches.

I. — CONCASSAGE DU MALT

Principes du concassage. — Le concassage du malt a une grande influence sur le rendement pratique au brassage, et on ne saurait attacher trop d'importance à cette partie de la fabrication. On peut dire, en général, que le rendement augmente avec la finesse de la mouture, et cette augmentation

est d'autant plus forte que le malt est moins friable. La différence de rendement entre la mouture à l'état de fine farine et la mouture grossière peut atteindre 5 à 6 p. 100 d'extrait pour les malts durs et glacés ; elle peut s'abaisser à 0,2 p. 100 d'extrait et devenir ainsi presque insignifiante pour les malts parfaitement désagrégés. Comme les malts très friables sont rares, on est donc amené théoriquement à choisir une mouture très fine et à travailler le malt à l'état de farine. Mais la méthode de soutirage intervient alors : si la filtration se fait au filtre à mouls, cette mouture fine peut être employée, et c'est là un des grands avantages de cet appareil ; si au contraire la filtration se fait en cuve, les nécessités du soutirage imposent une limite à la finesse de la mouture. En effet, quand les enveloppes du grain restent entières, elles constituent un filtre à texture lâche et cependant efficace par l'enchevêtrement des éléments qui le forment. Au contraire, avec la mouture trop fine, les éléments ténus se serrent, offrent au passage du moût une résistance de plus en plus grande ; la filtration se fait mal, la masse se laisse difficilement traverser par les eaux de lavage, et l'épuisement imparfait amène une baisse de rendement. En outre, quand on emploie une cuve matière filtrante, la farine fine passe entre le faux fond et le fond de la cuve et échappe à la saccharification.

L'augmentation de rendement provenant d'une mouture plus fine peut donc être compensée, et au delà, par les pertes qu'entraînent les difficultés de soutirage et d'épuisement.

D'autre part, la mouture trop grossière a des inconvénients sérieux ; elle abaisse le rendement, et la filtration des particules fines reste incomplète.

Il en résulte qu'on doit rester, dans le travail qui comporte la filtration en cuve, entre de justes limites, et régler la finesse de la mouture de manière à se rapprocher le plus possible du rendement obtenu au laboratoire, mais sans compromettre le soutirage. Ce résultat est atteint en aplatissant le grain, et en le déchirant ensuite de manière à en faire sortir le contenu sous forme de menus fragments, tout en respectant le plus possible les enveloppes, qui doivent être simplement fendues ou déchirées, mais non moulues. Nous verrons plus loin que

ce résultat est atteint quand la mouture possède une teneur correcte en enveloppes, farines et gruaux, et il est incontestable que les perfectionnements introduits dans ces dernières années dans la construction des moulins ont permis d'améliorer beaucoup, sous le rapport du rendement, les types de mouture grossière qui sont nécessaires à la cuve-filtre.

Pour le soutirage au filtre à mouls, les conditions sont tout à fait différentes : le malt doit être moulu à l'état de farine fine, et il n'y a plus lieu de respecter les enveloppes. Il ne faut cependant pas croire que le concassage soit sans importance pour le travail avec le filtre et qu'il suffise de préparer une mouture fine quelconque. Cette mouture doit d'abord être régulière pour qu'elle puisse se répartir également dans les chambres du filtre : avec une mouture irrégulière, les eaux de lavage passent plus facilement par les parties les plus grossières, et l'épuisement est défectueux. Le degré de finesse de la mouture doit, en outre, être convenable : si la mouture est trop grosse, le brassin ne peut entrer dans le filtre, ce qui entraîne des pertes de rendement ; si elle est trop fine, elle colmate les toiles et rend la filtration difficile. Il faut donc également surveiller la mouture fine destinée au filtre à mouls, mais il est certain que l'influence du concassage sur le travail du soutirage est beaucoup moins grande avec le filtre qu'avec la cuve de filtration.

L'état de finesse de la mouture modifie sensiblement la composition chimique du mout au brassage. En traitant séparément les divers éléments d'une même mouture, après séparation sur des tamis appropriés, Buhler a obtenu les résultats suivants :

	Extrait p. 100 rapporté à la matière. sèche.	Sucre p. 100. d'extrait.	Durée de saccha- rification. Minutes.	Couleur en iode N/100		Atté- nuation à 25°
				du mout. fermenté.	du mout non fermenté.	
Enveloppes	48,22	62,28	5	1,1	1,6	72,75
Gros gruaux I	62,92	64,75	10	0,8	1,2	74,17
— II	76,85	68,55	10-15	0,6	1,0	77,60
Gruaux fins I	88,72	68,32	10-15	0,5	0,5	80,32
— II	90,26	69,00	20	0,3	0,3	79,92
Farine	92,83	69,05	20-25	0,2	0,2	81,41

Ces chiffres montrent d'abord combien le rendement en extrait est plus élevé pour les parties fines que pour les parties grossières de la farine. On voit, en outre, que plus la mouture est fine, plus il y a de sucre dans l'extrait, ce qui confirme des résultats antérieurs de Matthews et Lott. L'état de division de la mouture intervient évidemment dans la marche des transformations diastasiques au brassage. On peut dire, en général, que la mouture fine donne des moûts plus riches en sucre et susceptibles de conduire à des atténuations plus élevées que la mouture grossière. C'est un fait pratique qu'on ne doit pas perdre de vue dans les méthodes de brassage quand on utilise le filtre à moûts pour la séparation des drèches.

Moulins à malt. — Les moulins à malt sont de types assez variés. Ils se composent, en principe, de cylindres dont on peut régler à volonté le degré d'écartement, et entre lesquels passe le malt. Ces appareils sont à deux, à quatre ou à six cylindres.

Le moulin à deux cylindres (fig. 29) se compose d'une trémie G, portant à sa base des distributeurs E à lames de tôle. Au-dessous se trouve un distributeur répartiteur des grains D, qui conduit le malt entre les deux cylindres A et A', dont l'un, A, est à coussinets fixes, et l'autre, A', à coussinets mobiles. Des leviers B à contrepoids C maintiennent les coussinets; enfin un registre H sert de dégorgeoir de malt concassé.

Ces moulins doivent comporter des cylindres de grand diamètre; la vitesse de rotation doit être faible et ne pas dépasser 180 tours à la minute, afin de ne pas déchirer les enveloppes et à serrer assez longtemps le grain entre les cylindres, ce qui constitue les meilleures conditions pratiques de concassage pour la cuve de filtration. Les cylindres de petit diamètre, tournant rapidement, hachent le grain et donnent une mauvaise mouture.

Les moulins à deux cylindres ont l'avantage d'être simples, peu coûteux et faciles à régler. Mais leur rendement est forcément faible, puisqu'une seule paire de cylindres doit faire tout le travail. En outre, le concassage n'est jamais bien régulier: si on règle l'écartement des cylindres de manière à écraser

les petits grains, les gros grains sont trop fortement broyés; si on donne l'écartement qui correspond à la mouture normale des gros grains, les petits grains sont insuffisamment concassés. Enfin, il est impossible de séparer, avec ces appareils, les divers éléments du grain, c'est-à-dire les enveloppes,

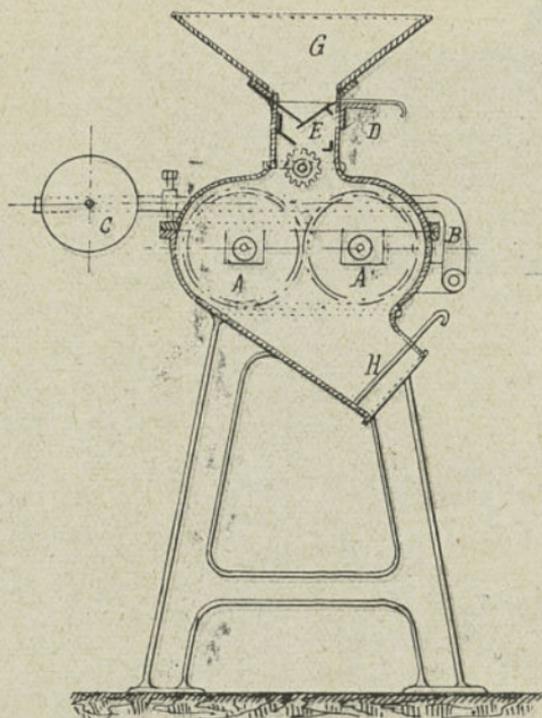


Fig. 29. — Moulin concasseur à une paire de cylindres. (Crépelle-Fontaine, à la Madeleine-lez-Lille.)

les gruaux et la farine et de leur faire subir un deuxième broyage, qui améliore beaucoup la qualité de la mouture.

On donne donc la préférence aux moulins à quatre cylindres qui permettent de mieux régler la nature de la mouture et dont la puissance de travail est plus grande. La première paire de cylindres aplatit simplement le grain; la seconde paire produit un léger déchirement de l'enveloppe qui com-

plète le broyage. Dans ces appareils (fig. 30), les deux paires de cylindres sont superposées. L'écartement entre les cylindres

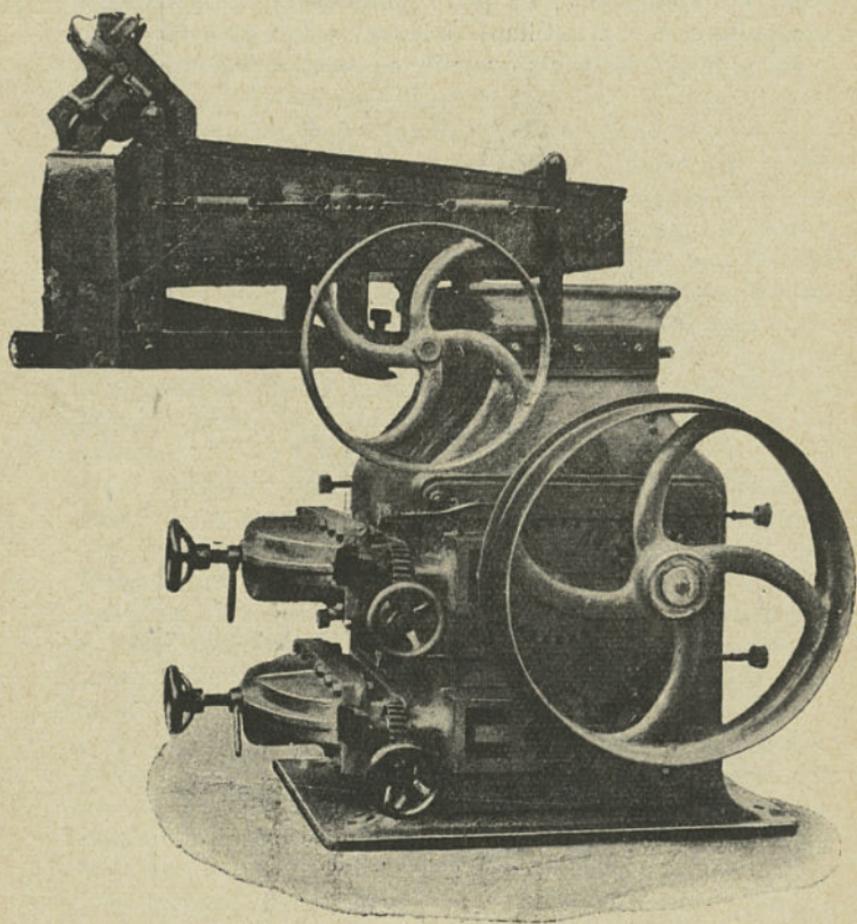


Fig. 30. — Moulin à malt à quatre cylindres.
(Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville.)

peut se régler avec la plus grande précision. A la partie supérieure se trouve un sasseur qui retient les grosses impuretés, telles que pierres et morceaux de bois; on y adjoint parfois

un appareil magnétique pour retenir les fragments de fer.

Le but à atteindre dans le concassage pour la cuve filtrante n'exige pas l'emploi de rouleaux cannelés qui produisent souvent un déchirement trop accentué des enveloppes du grain. Les rouleaux lisses sont donc préférables. Les cylindres

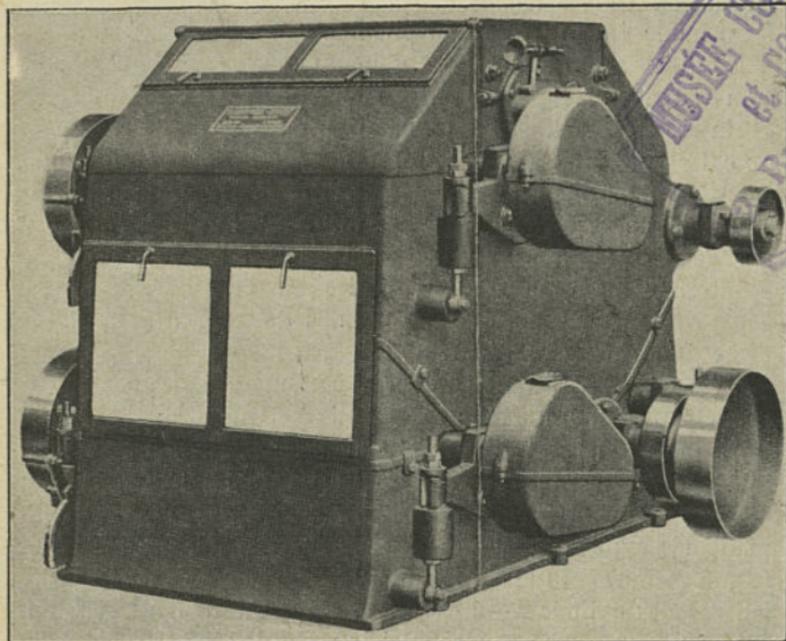


Fig. 31. — Concasseur à malt à six cylindres avec tamis.
(Teisset, Rose, Brault, Poissy.)

lisses tournant à la même vitesse produisent simplement un aplatissage du grain sans froisser l'enveloppe, et ce genre de mouture peut suffire avec les malts très friables, obtenus par une longue germination froide. Il est préférable, en général, que les cylindres d'une même paire tournent avec des vitesses différentielles, ce qui produit le léger déchirement de l'enveloppe qui est nécessaire pour compléter la mouture.

Le tambour régulateur qui modère l'arrivée du grain ne

doit pas avoir des cannelures trop profondes, afin d'éviter un excès d'alimentation des cylindres qui est particulièrement à redouter avec ces appareils et qui nuit beaucoup à la qualité de la mouture.

Les moulins à plusieurs paires de cylindres ont été perfectionnés par l'interposition de tamis sasseurs destinés à séparer les enveloppes, les gruaux et les farines, de manière à pouvoir faire subir ensuite une nouvelle mouture aux gruaux.

Les figures 31 et 32 représentent un concasseur de ce genre, comprenant trois paires de cylindres. Un caisson tamiseur est intercalé dans l'appareil après la première paire de cylindres. Ce caisson permet la séparation des produits du premier concassage opéré par les cylindres supérieurs ; les farines (farine fleur et farine primaire) sont extraites et conduites directement à la sortie, tandis que les deux paires inférieures de cylindres réduisent l'une les écorces, l'autre les gros gruaux. Par ce procédé, les écorces et surtout les pointes dures sont bien vidées (voir figure schématique n° 32).

Le bâti de l'appareil est entièrement métallique ; des portes de visite permettent de sortir les tamis facilement. Les cylindres sont interchangeable, en fonte aciérée, trempée, et extra dure ; leurs cannelures sont appropriées au genre de mouture et au degré de finesse à obtenir. L'éloignement ou le rapprochement des cylindres se font par la manœuvre d'un seul levier sur un secteur gradué à curseurs, sans jamais dérégler le parallélisme des cylindres qui est obtenu horizontalement et verticalement avec une grande précision. La distribution est faite à l'entrée de l'appareil par deux rouleaux à marche différentielle. Son réglage se fait par un volant agissant sur un secteur, au moyen d'un mécanisme micrométrique déplaçant une aiguille sur une graduation. Par un autre levier, la distribution peut être arrêtée et remise en marche sans toucher au réglage de celle-ci.

La commande des cylindres de chaque paire se fait l'un par l'autre à l'aide d'engrenages à denture hélicoïdale. Tous les mécanismes sont renfermés dans des carters étanches permettant de les lubrifier et de les isoler de la poussière. Enfin, un dispositif spécial permet la prise d'échantillons à la

sortie de chaque paire de cylindres, sans avoir à ouvrir les portes de visite de l'appareil.

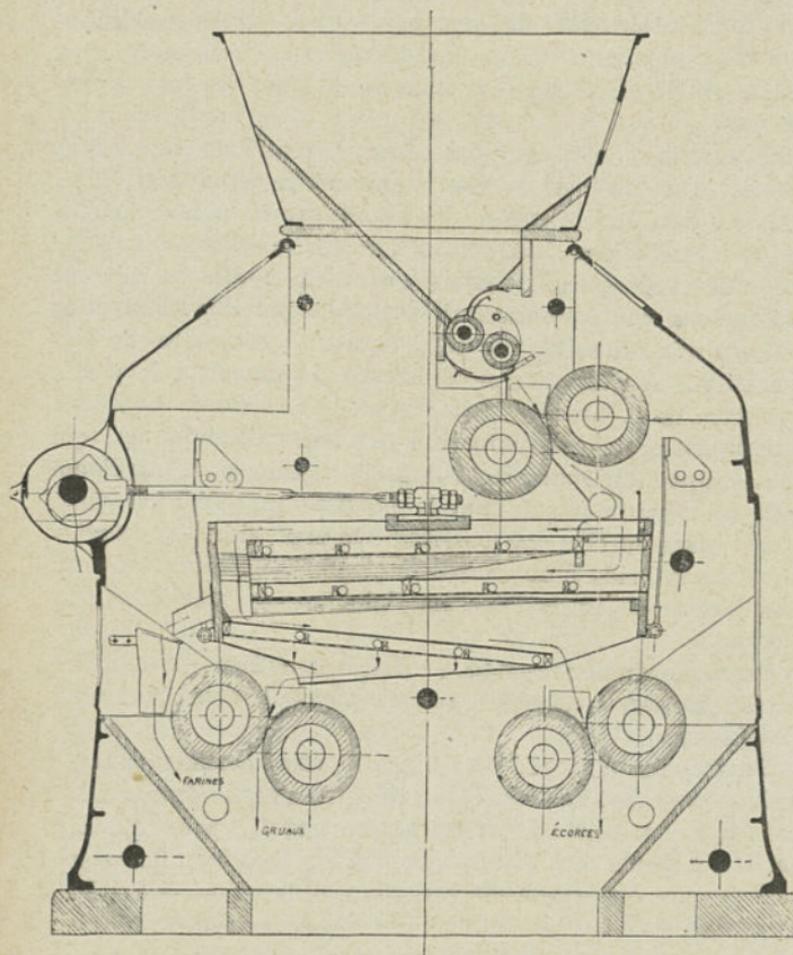


Fig. 32. — Coupe schématique d'un concasseur à malt à six cylindres. (Teisset-Rose-Brault, Poissy.)

On emploie aussi, surtout dans les petites installations, des moulins constitués par deux coquilles cannelées, dont l'une est animée d'un mouvement de rotation rapide : le malt est

introduit entre ces deux meules métalliques et transformé en mouture fine. Ces appareils peuvent donner une bonne mouture pour le filtre, ils ont, par contre, l'inconvénient de s'échauffer rapidement, ce qui force à interrompre parfois le concassage, et ils ne conviennent pas pour les fortes productions.

Les moulins constituent une source permanente de dangers d'infection à cause de la masse énorme de poussières qu'ils déversent dans l'air. Ces poussières sont formées non seulement par de la farine fine, mais aussi par des microbes adhérents aux grains, des spores de moisissures, etc. : elles se glissent partout, et il faut par suite éloigner le plus possible les moulins des bacs refroidisseurs, des réfrigérants et des salles de fermentation. La place des moulins est évidemment à la partie supérieure de la brasserie, au-dessus de la salle de brassage, et pour éviter la contamination des bacs refroidisseurs, qui sont presque toujours placés dans le voisinage, la meilleure méthode consiste à enfermer le moulin dans un local aussi hermétiquement clos que possible. On peut alors évacuer les poussières à l'aide d'un ventilateur, qui les entraîne dans un canal traversé par de l'eau en pluie fine, de manière à les abattre.

Pratique du concassage. — Un bon réglage du moulin est la première condition à remplir pour avoir une mouture satisfaisante.

Envisageons d'abord le cas d'une mouture destinée au travail de cuve de filtration. Il y a lieu, d'abord, de donner aux cylindres un degré d'écartement convenable, pour que le malt soit moulu sans que les enveloppes soient trop finement divisées. Cet écartement est variable avec la nature des malts et surtout avec leur état d'humidité. Quand le malt est friable et sec, il suffit d'un effort minime exercé par le moulin pour faire sortir le corps farineux de l'enveloppe, et il n'est pas nécessaire de rapprocher autant les cylindres, pour avoir une bonne mouture, qu'avec un malt dur ou humide. Les malts trop humides s'aplatissent sans se déchirer si l'écartement des cylindres est trop grand. Dans beaucoup de brasseries, on ne tient pas suffisamment compte de cette action

et on règle le concasseur soigneusement, sans se préoccuper par la suite des changements que l'état du malt peut amener dans le degré de finesse de la mouture. Cependant, un concasseur réglé pour un malt bien sec donnera une mouture trop grosse avec un malt humide; si le réglage a été fait avec un malt humide, on obtiendra une mouture beaucoup trop fine en employant par la suite un malt très sec.

Il y a donc lieu de veiller au réglage fréquent du concasseur et de s'assurer en même temps du parallélisme des cylindres en passant entre eux un carton flexible, d'examiner s'il n'y a pas d'ovalisations ou de déformations locales des cylindres, en les faisant tourner lentement à la main, de vérifier les boutons de scellement pour éviter toute trépidation susceptible de dérégler l'appareil. L'usure des cylindres vers le centre est fréquente; il faut alors les faire repasser au tour.

Le grain doit être déversé uniformément et lentement sur toute la longueur des cylindres : le registre de la trémie doit donc être convenablement réglé. On a malheureusement, presque toujours, une tendance à concasser trop vite, par suite d'une alimentation trop rapide. Dans ces conditions, on obtient une mauvaise mouture, même avec des cylindres très rapprochés. La quantité exagérée de grain qui arrive écarte peu à peu les cylindres, et les grains se présentent alors à la mouture dans toutes les positions, ce qui conduit à un broyage irrégulier, avec enveloppes hachées. Il ne faut donc pas chercher à concasser trop vite.

Avec les moulins à quatre cylindres, on doit avoir un rapport convenable entre l'écartement des cylindres supérieurs et celui des cylindres inférieurs. Il ne faut pas que la mouture produite par la première paire de cylindres soit trop grossière, car on demanderait à la seconde paire de cylindres un travail trop considérable.

Dans une mouture normale destinée à la cuve de filtration, les enveloppes doivent être bien séparées du corps farineux, autant que possible entières et déchirées seulement dans le sens longitudinal. Les pointes dures de l'amande doivent être sorties des enveloppes, et le corps farineux doit être transformé en gruaux fins, sans qu'il y ait cependant d'exagération

dans la finesse, car on s'exposerait à des difficultés de filtration. Le contrôle de la mouture donne des indications pratiques précieuses sur le fonctionnement du moulin. Il faut pour cela prélever d'abord correctement un échantillon. Cet échantillon ne doit jamais être pris dans la mouture achevée, car les divers éléments s'y séparent trop aisément les uns des autres. Il faut le recueillir à droite, au milieu et à gauche des cylindres, afin de tenir compte des défauts possibles de parallélisme ou de l'ovalisation ; on glisse dans ce but un plateau sous les cylindres, le moulin étant en marche. On prélève ainsi trois échantillons successifs en chaque point des cylindres ; les neuf portions ainsi obtenues sont mélangées pour constituer l'échantillon moyen.

Le contrôle se fait en passant cet échantillon dans des tamis qui en séparent les divers éléments. On peut employer dans ce but les cinq tamis de Buhler, qui sont superposés et comportent respectivement 16, 36, 64, 144 et 196 mailles au centimètre carré. Ces tamis, disposés dans une boîte munie d'un couvercle et d'un fond, permettent de trier la mouture en enveloppes, gros gruaux I, gros gruaux II, fins gruaux I, fins gruaux II et farine. Une bonne mouture, provenant d'un malt normalement désagrégé, doit donner 15 p. 100 d'enveloppes, 41 p. 100 de gruaux I, 13 p. 100 de gruaux II, 20 p. 100 de gruaux fins I, 9 p. 100 de gruaux fins II, et 32 p. 100 de farine.

Pour simplifier l'opération, on peut n'employer pour le triage que deux tamis renfermant l'un neuf mailles et l'autre trente-six mailles au centimètre carré. On sépare ainsi la mouture en trois lots : enveloppes, gros gruaux, fins gruaux et farine. Une mouture normale doit renfermer 16 à 20 p. 100 d'enveloppes, 20 p. 100 de gros gruaux, 30 p. 100 de fins gruaux et 30 p. 100 de farine. D'une façon générale, la mouture est satisfaisante quand la somme des gruaux fins et de la farine représente deux fois et demie à trois fois le chiffre des gros gruaux, la proportion d'enveloppes intactes étant de 16 à 18 p. 100.

Pour la mouture destinée à la filtration au filtre à moûts, les observations générales que nous avons faites au sujet du

réglaage des cylindres et de la vitesse du concassage sont également applicables. Le réglage doit être fait de manière à obtenir une mouture régulière et fine, et il importe de ne pas donner à l'appareil une alimentation exagérée. Il n'y a plus lieu ici d'envisager la proportion d'enveloppes intactes dans la mouture, puisque celles-ci sont broyées finement comme le corps farineux. La marche pratique de la filtration et les facilités d'admission complète de la masse dans le filtre sont les meilleurs critères pour apprécier si le degré de finesse de la mouture est convenable.

On a préconisé, dans certains systèmes de fabrication, la mouture humide, pour éviter les poussières, respecter les enveloppes et améliorer l'état des parties dures de l'amande. Cette méthode, qui comporte une trempe du malt, suivie d'un broyage du grain trempé, expose à l'infection par les microbes, entraîne une perte d'au moins 0,3 p. 100 d'extrait par la trempe et ne présente pas d'avantages sensibles sur les concasseurs modernes sous le rapport de l'élimination des poussières et de l'intégrité des enveloppes. Elle ne s'est pas répandue.

Il est bon de recueillir la mouture dans une trémie en tôle, assez grande pour la contenir tout entière. Cette trémie permet de conserver la matière à l'abri de l'humidité, pendant le temps qui s'écoule entre le concassage et le brassage. Elle est ordinairement placée au-dessus du macérateur ou de la cuve matière ; un tuyau métallique muni d'un registre permet de vider peu à peu la matière dans les appareils de brassage. La trémie peut être montée sur un chariot et amenée au-dessus du macérateur, quand la disposition des bâtiments ne permet pas de placer le moulin immédiatement au-dessus de la salle de brassage, ou quand cette salle comprend deux séries d'appareils. Parfois le chariot forme bascule, qui enregistre le poids mis en œuvre : c'est une excellente disposition qui permet d'avoir une base précise pour l'appréciation du rendement. Pour le volume de la trémie, on peut compter que la mouture grossière ordinaire occupe un volume de 280 litres par quintal de malt ; la mouture fine de filtre à moûts permet de réduire ce volume à 210 litres.

II. — BRASSAGE

L'opération du brassage ne consiste pas en une simple extraction à l'eau des substances solubles du malt. En effet, les éléments utiles ne sont pas, pour la plupart, à l'état soluble, et il faut, pour les extraire, les solubiliser sous l'action des diastases. Comme ces transformations diastasiques sont variables avec les conditions de travail, et notamment avec les températures, on conçoit que le mode de brassage puisse faire varier la composition du moût et le caractère de la bière.

On peut distinguer dans le travail quatre phases principales : l'empâtage du malt, le brassage proprement dit, le soutirage du moût et le lavage des drèches. L'*empâtage*, ou *hydratation*, ou *salade*, a pour but le mélange intime du malt et de l'eau; il s'effectue soit directement dans la cuve matière ou le macérateur, soit au moyen d'un *hydrateur*. Le *brassage* proprement dit correspond aux transformations diastasiques de l'amidon, des sucres et des matières azotées. Il consiste à amener progressivement la masse à la température convenable pour produire ces transformations. Les méthodes de travail, ou *méthodes de brassage*, sont ici très nombreuses et se distinguent surtout par la rapidité de l'élévation de température, le degré initial et le degré final, les procédés employés pour élever la température de la masse. Le *soutirage* a pour objet la séparation du moût clair des parties insolubles ou *drèches*. Il peut s'effectuer de deux manières, par filtration en cuve ou par filtration au filtre à mouës. La filtration en cuve peut elle-même se faire dans la cuve matière, qui est alors munie d'un faux fond perforé, ou dans une cuve spéciale à filtrer. Enfin les *lavages* assurent l'extraction du moût qui imbibe encore les drèches après le soutirage; ils se font par arrosage des drèches à l'eau chaude et déplacement progressif du moût sucré qui reste dans la masse.

Nous étudierons d'abord les principales diastases qui interviennent dans le travail du brassage et qui produisent les transformations de l'amidon et des matières azotées. Nous décrirons ensuite le matériel employé pour le brassage et les

principales méthodes de travail, dont nous ferons l'étude théorique et pratique.

Étude des principales diastases qui interviennent dans le brassage.

Les principales diastases qui interviennent dans le brassage sont celles qui produisent la saccharification de l'amidon et celles qui dégradent les matières azotées.

1^o Saccharification diastasique de l'amidon. — Historique. — Les diastases qui produisent la liquéfaction et la saccharification de l'amidon ont été mises en évidence pour la première fois en 1832 par Payen et Persoz. En précipitant par l'alcool une macération de malt, ils ont obtenu un précipité qu'ils ont recueilli et séché dans le vide. Ce précipité se présente alors sous l'aspect d'une poudre blanche amorphe, qui contient les substances actives. Cette poudre, dissoute dans l'eau et ajoutée en petite quantité à une solution d'empois d'amidon, à la température de 60°, a la propriété de liquéfier l'empois et de transformer l'amidon en maltose et en d'autres corps, encore mal définis, auxquels nous donnerons provisoirement le nom global de « dextrines ».

Étudiée la première de toutes les actions diastasiques, la saccharification de l'amidon en est devenue le type, et le nom de *diastase* donné par Payen et Persoz à la substance qui transforme l'amidon a été appliqué ensuite, comme terme générique, aux autres substances qui provoquent d'autres actions diastasiques. Sous le nom d'*amylase*, on a désigné et on désigne encore les diastases qui produisent la saccharification de l'amidon. Mais à la conception ancienne qui ne voyait dans l'amylase qu'une seule diastase, on a substitué aujourd'hui presque partout la conception qui envisage sous le nom d'amylase une série de diastases distinctes qui font passer successivement l'amidon à l'état d'amidon soluble, puis de dextrines et enfin de maltose. Les derniers travaux effectués sur la saccharification diastasique de l'amidon permettent de la considérer comme étant l'œuvre d'au moins trois diastases : une diastase liquéfiante qui solubilise l'amidon, une diastase dextrinisante qui fait passer l'amidon soluble à l'état de dextrines, à laquelle on donne souvent aujourd'hui l'ancien nom d'amylase, et enfin une diastase saccharifiante proprement dite, souvent appelée aujourd'hui dextrinase, qui transforme les dextrines, par fixation d'eau, en maltose.

État naturel. — Ces diastases amylolytiques sont extrêmement répandues. Elles se produisent en abondance dans la germination de l'orge, du blé, du riz, du maïs, de l'avoine, et nous avons étudié spécialement cette sécrétion à propos du maltage. Nous savons, en outre, que l'orge renferme, avant germination, une diastase capable de saccharifier l'amidon liquéfié, mais que le pouvoir liquéfiant

des extraits d'orge vis-à-vis de l'empois d'amidon est assez faible. Nous ne reviendrons pas ici sur cette question des diastases amylolytiques de l'orge, que nous avons étudiée page 39 à propos de cette matière première.

L'amylase existe également, en petites quantités, dans les graines de plusieurs plantes (Green). Brocq-Rousseu et Gain ont trouvé de la diastase dans de vieilles graines datant de cinquante ans et ayant perdu leur pouvoir germinatif. On la trouve aussi dans les feuilles et dans les jeunes pousses (Brasse, Kossmann et Krauch). Dans le règne animal, on la rencontre dans la salive humaine, dans le suc pancréatique, dans le sang, dans l'urine. Elle est également sécrétée par un grand nombre de microbes et, en particulier, par beaucoup de moisissures et de bactéries.

Préparation de l'amylase. — Pour extraire l'amylase à l'état purifié, on a ordinairement recours à l'extrait de malt, en employant une des méthodes suivantes :

Procédé Lintner. — Faire macérer pendant vingt-quatre heures une partie de malt broyé avec 2 ou 4 parties d'alcool à 20 p. 100, presser, filtrer le liquide, et le précipiter par 2 à 2 fois et demie son volume d'alcool absolu. Le précipité gélatineux qui contient la diastase est recueilli, lavé à l'alcool absolu, puis à l'éther, et séché dans le vide sur l'acide sulfurique. On obtient ainsi une poudre presque blanche, amorphe, soluble dans l'eau et qui saccharifie activement l'amidon.

Procédé Osborne. — Faire macérer pendant vingt-quatre heures une partie de malt broyé avec 2 parties d'alcool à 45°. La diastase se dissout dans l'alcool faible. Le liquide de macération, après filtration, est précipité par l'alcool à 96°. Le précipité recueilli est dissous dans un peu d'eau, et le liquide est saturé par du sulfate d'ammoniaque. La diastase se précipite ; on la recueille, on la dissout et on soumet le produit à la dialyse. Le résidu est traité par précipitations fractionnées au moyen de l'alcool, et le précipité recueilli finalement est lavé à l'alcool et à l'éther et desséché dans le vide.

Nature de l'amylase. — Il est établi aujourd'hui que, dans les phénomènes diastatiques, il entre en jeu un système complexe de deux substances complémentaires : l'une, la complémentaire active ou coenzyme, souvent de nature minérale, met la réaction en marche ; l'autre, la complémentaire activante, de nature organique, facilement altérable par la chaleur, est inactive par elle-même et vient seulement amplifier la vitesse de la réaction. On peut souvent séparer ces deux complémentaires par la dialyse ; on obtient ainsi la substance activante, déminéralisée, complètement inactive ; le phénomène diastatique réapparaît par addition des sels minéraux appropriés.

Nous pouvons envisager aujourd'hui l'agent qui saccharifie l'amidon soluble comme constitué par l'association d'une matière

azotée, inactive par elle-même, et de certains électrolytes jouant le rôle de coenzymes très simples, et permettant à la première d'agir comme catalyseur dans des conditions très étroites de réaction de milieu. L'amylase, telle qu'elle existe dans les graines, est différente de celle qu'on trouve dans les solutions. Dans le premier cas, elle se trouve partiellement à l'état de proferment insoluble, en combinaison avec des matières protéiques et attaquant par la pepsine. Dans le second cas, elle est libre et inattaquable, mais elle est précipitable, comme les matières protéiques, par l'acide phosphotungstique : elle est d'ailleurs d'autant plus active qu'elle est plus riche en azote. Cette complémentarité azotée possède un caractère amphotère : elle fonctionne comme base vis-à-vis des acides et comme acide vis-à-vis des bases, à l'instar de l'albumine, des peptones et de véritables amino-acides. La partie minérale est indispensable à la manifestation de ses propriétés spécifiques ; cette nécessité ne se montre, cependant, en milieu amphotère, que dans des limites assez étroites de concentration de l'électrolyte. Au delà d'une certaine teneur en sels neutres, une augmentation notable de la concentration électrolytique reste sans action sur l'activité du ferment. La complémentarité azotée et l'amidon soluble doivent se dissoudre mutuellement au début de la réaction, et c'est ici qu'interviennent les petites quantités d'électrolytes : une fois cette dissolution effectuée, toute augmentation de la concentration de la solution en sels neutres ne produit plus d'effet, à moins que le milieu ne soit acide au méthylorange ou que les concentrations salines ne soient exagérées : dans ces derniers cas, la diastase se précipite.

Propriétés de l'amidon. — Avant d'étudier l'action des diastases amylolytiques, il est indispensable d'étudier brièvement les propriétés de l'amidon sur lequel elles agissent.

L'amidon existe dans toutes les plantes et notamment dans la plupart des grains. Examiné au microscope, il se présente sous l'aspect de granules de forme sphérique, elliptique ou irrégulière, suivant l'espèce de la plante dont il provient. Souvent on distingue, dans ces granules, des couches concentriques groupées autour d'un point appelé *hile* ; ces couches paraissent correspondre à des degrés divers d'hydratation et de compacité du grain d'amidon.

L'amidon est insoluble dans l'eau froide. Chauffé avec de l'eau, il se gonfle et se transforme en une gelée qu'on appelle *empois*. La température à laquelle l'amidon se transforme en empois varie avec sa provenance, avec son état physique et avec les propriétés du milieu dans lequel se fait le chauffage. La formation d'empois n'est complète qu'à une température qui varie de 65° à 85°. Boidin, puis Fernbach et Wolff ont montré que la viscosité des empois de féculé est influencée par des modifications très minimes dans la nature des sels qui accompagnent l'amidon et dans la réaction du milieu ; par exemple, la présence de la chaux, de la soude, de la

magnésie, de l'ammoniaque augmente la viscosité des empois.

Quand on abandonne à lui-même un empois d'amidon transparent, on constate qu'au bout d'un certain temps il devient opaque. Ce phénomène a été observé pour la première fois par Maquenne, qui lui a donné le nom de *rétrogradation* : il est dû à une précipitation lente qui s'effectue en dehors de toute action biologique, et par laquelle l'amidon ainsi rétrogradé tend à reprendre une forme voisine de celle qu'il présente à l'état cru. En outre, Fernbach et Wolff ont démontré l'existence, dans le malt et dans les céréales vertes, d'une diastase particulière, l'*amyl-coagulase*, qui a la propriété de coaguler l'empois de fécule liquéfié par la diastase, et de précipiter rapidement de l'amidon sous une forme qui présente beaucoup d'analogie avec l'amidon rétrogradé de Maquenne.

Certains traitements peuvent rendre l'amidon soluble dans l'eau. Si l'on fait agir sur de l'amidon un acide minéral à 7 à 8 p. 100 à la température ordinaire, on obtient un amidon qui se dissout complètement dans l'eau chaude sans donner d'empois. Si on sèche pendant huit à dix jours à 46° ou pendant une heure à 110° de l'amidon bien lavé, il suffit d'une solution d'acide chlorhydrique à 0,1 p. 100 pour obtenir la solubilisation complète (Fernbach). On peut avoir également de l'amidon soluble en chauffant une solution à 2 p. 100 d'amidon sec pendant trois heures à l'autoclave à 2,5 atmosphères de pression (Thomas). Fernbach a obtenu de l'amidon soluble dans l'eau chaude et dans l'eau froide et complètement dénué de pouvoir réducteur en deshydratant l'empois d'amidon par l'acétone pure. On verse un grand excès d'acétone dans un empois d'amidon à 1 ou 2 p. 100; on recueille le précipité floconneux, on le broie avec de l'acétone pure, on l'essore et on le dessèche dans le vide.

On ne doit pas comprendre sous le nom d'amidon soluble un corps unique et homogène. Fouard, en filtrant des solutions d'amidon soluble sur des sacs de collodion diversement préparés, a obtenu des filtrats possédant des pouvoirs rotatoires différents. Chaque amidon soluble est donc vraisemblablement constitué par un mélange.

L'amidon ($C^6H^{10}O_5$) appartient, avec les dextrines et la cellulose, au groupe des polysaccharides complexes, dont le poids moléculaire est encore inconnu, et qui se dédoublent sous l'action des acides en plusieurs molécules de sucres réducteurs. L'amidon n'est pas un corps homogène au point de vue chimique. Negeli a distingué le premier deux substances dans le grain d'amidon : la *granulose*, qui forme la majeure partie du grain, soluble dans l'eau, bleuisant par l'iode et se saccharifiant facilement par la diastase, et l'*amyl-cellulose*, beaucoup moins abondante, insoluble dans l'eau, difficilement attaquant par la diastase et ne bleuisant pas par l'iode. Maquenne et Roux ont considéré l'amidon

naturel comme un mélange de deux substances différentes : l'*amylose* et l'*amylopectine*. L'amylose ou amidon vrai est identique à l'amylocellulose de Nœgeli; il est entièrement soluble dans l'eau surchauffée à 150° sans fournir jamais d'empois; à l'état dissous, il bleuit par l'iode et se transforme entièrement en maltose sous l'action de la diastase à basse température; à l'état solide, il résiste sans altération ni changement de couleur à ces deux réactifs. Il est très abondant et constitue 80 p. 100 du grain d'amidon. En réalité, cet amylose est formé par une série de composés très voisins qui diffèrent entre eux par leur solubilité plus ou moins grande dans l'eau. L'amylopectine est un corps mucilagineux, appartenant à la classe des maltosanes, non colorable par l'iode même à l'état liquide. C'est elle qui se gonfle et cause la formation d'empois sous l'action de l'eau bouillante. Maquenne et Roux avaient d'abord pensé que cette amylopectine ne pouvait fournir que de la dextrine sous l'action de la diastase; mais des travaux ultérieurs ont montré que dans les conditions favorables de réaction de milieu, l'amylopectine peut être, elle aussi, intégralement transformée en maltose. On ne peut donc plus la considérer aujourd'hui comme étant de nature essentiellement différente de l'amylose.

Le grain d'amidon renferme du phosphore, et les gros granules sont beaucoup plus riches en phosphore que les petits. L'amidon, qui est un colloïde, a, en effet, la propriété d'entraîner avec lui, en se formant, certains corps étrangers. Ces combinaisons phosphorées jouent, comme nous le verrons plus loin, un rôle important dans la saccharification diastasique. On peut débarrasser complètement l'amidon de toute matière étrangère et notamment de sels en chauffant trois heures à l'autoclave à 130° un empois à 1 p. 100 de fécule, décantant à froid et congelant la masse. En laissant fondre la masse congelée, il se sépare un liquide, qui renferme la plus grande partie des sels, et des flocons d'amidon qu'on recueille et qu'on soumet 4 ou 5 fois au même traitement, mais en chauffant seulement au bain-marie. Le produit est finalement séché à 125. (Malfitano et Moschkoff). Cet amidon déminéralisé est insoluble dans l'eau froide et donne par chauffage des liqueurs limpides et peu visqueuses. Les modifications que présente l'amidon dans les grains naturels semblent provenir de l'association de cet amidon pur avec des composés minéraux variés.

Samec, se basant sur les résultats d'expériences concernant l'action des acides et des alcalis sur la viscosité des empois d'amidon, considère que l'amidon naturel présente le caractère physico-chimique d'un acide. Wolff et Fernbach ont d'ailleurs montré que l'amidon a une faible réaction acide, et ce caractère semble dû à une combinaison de l'amidon avec l'acide phosphorique. Cette combinaison, ou acide amylophosphorique, aurait

pour formule générale, d'après Samec, $R-CH^2O-P \begin{matrix} \diagup O \\ \diagdown OH \\ \diagdown OH \end{matrix}$ et causerait la viscosité des empois d'amidon.

Les acides étendus, à l'ébullition, transforment l'amidon d'abord en amidon soluble, puis en dextrines, en maltose et, enfin, en glucose, avec de petites quantités d'isomaltose. Toutefois, dans l'hydrolyse par l'acide oxalique, Ost n'a pas pu constater la présence de l'isomaltose signalé par Lintner et Dull.

Action générale des diastases amylolytiques sur l'amidon.

— Quand on traite à une température de 60-65° de l'empois d'amidon par une solution de diastase, ou, ce qui revient au même, par une infusion à froid d'orge germée, on voit d'abord la masse pâteuse se liquéfier en quelques minutes; puis la saveur sucrée du liquide augmente, et l'amidon disparaît peu à peu pour donner naissance à du maltose et à des dextrines. Au bout d'un temps variable, l'amidon est totalement saccharifié, et on n'en retrouve plus dans le liquide. Il est facile de se rendre compte de la marche de cette transformation au moyen d'une solution d'iode. Au début, le liquide à froid donne avec l'iode une coloration bleue; puis la couleur passe au violet, au rouge et, enfin, au jaune quand la saccharification est terminée.

La diastase liquéfie donc au début presque instantanément l'empois d'amidon. Elle a également la propriété de dissoudre l'amidon cru de certaines plantes, à des températures inférieures à celles de l'empesage, et ce fait présente une grande importance dans le travail industriel. Lintner a montré qu'aux températures de 55°, 60° et 65°, les proportions p. 100 d'amidon cru attaqué sont les suivantes, pour les diverses substances :

	Températures d'attaque.			Températures de gélification.
	55°	60°	65°	
Pomme de terre	5	52,7	90,3	65°
Orge.	53,3	92,8	96,2	80°
Malt vert	58,6	92,1	96,2	—
Froment.	62,2	91,1	94,6	71 à 80°
Riz	9,7	19,7	31,1	80°
Maïs.	»	18,5	54,6	75°

Il résulte de ce qui précède que la transformation préalable de l'amidon du riz et du maïs en empois est indispensable pour assurer sa saccharification complète. D'autres matières amylacées, comme l'orge, le blé, ont un amidon plus attaquable, et une forte proportion de l'amidon peut déjà être dissoute par la diastase au-dessous de la température d'empesage, mais l'action diastasique est d'autant plus rapide et plus complète que la transformation en empois est plus parfaite. D'ailleurs, d'après les essais de J. Wolff; les diverses

variétés de riz et de maïs présentent des différences considérables sous le rapport de l'attaque de leur amidon à l'état cru par la diastase : chez certaines variétés de riz, il n'y a que 25 p. 100 d'amidon transformé à 65°; chez d'autres, ce chiffre atteint près de 90 p. 100. Des variations encore plus étendues s'observent chez les maïs. Ces faits tiennent à ce que l'amidon n'est pas un corps homogène : il est composé de granules présentant des couches concentriques, à des états différents de condensation et de coagulation, qui résistent inégalement à l'action des diastases. A ces différences viennent s'ajouter des variations de composition chimique, portant surtout sur la teneur en phosphore : tous les grains d'amidon renferment du phosphore, et les petits grains sont beaucoup plus riches que les gros. Or, ce phosphore a une influence capitale sur l'état de coagulation de l'amidon et, par suite, sur son attaque par les diastases. La réaction de l'amidon et sa richesse en sels interviennent enfin aussi, comme nous le verrons plus loin.

Dynamique de la saccharification diastasique de l'amidon.

— Kjeldahl, Brown et Glendinning, Dubourg, Henri, van Laer ont fait sur la dynamique de la saccharification de l'amidon de très importantes études dont nous allons résumer les principaux résultats, d'après les travaux remarquables que Van Laer a publiés à ce sujet.

La quantité de sucre formée pendant l'unité de temps au cours de la saccharification diastasique de l'amidon, c'est-à-dire la vitesse de cette réaction, paraît, à première vue, comme la plupart des transformations diastasiques, échapper à une loi importante de la chimie physique, connue sous le nom de loi des masses. Celle-ci nous apprend que la vitesse d'une réaction chimique est à chaque instant proportionnelle à la concentration des substances agissantes. Considérons, par exemple, une solution de saccharose additionnée d'une quantité très faible d'acide chlorhydrique et maintenue à une température invariable; le saccharose va s'intervertir et, si cette interversion débute avec la vitesse V , cette vitesse deviendra d'après

la loi des masses $\frac{3V}{4}$, $\frac{V}{2}$, $\frac{V}{3}$, lorsque le poids de saccharose par unité de volume sera tombé aux trois quarts, à la moitié, au tiers de sa valeur initiale. La vitesse diminue donc par le simple fait de la diminution de la concentration, mais sans cesser d'être proportionnelle à celle-ci. Le calcul permet de déduire de la loi des masses appliquée aux réactions unimoléculaires (c'est-à-dire aux réactions où il n'y a qu'une seule espèce de molécule qui se modifie), évoluant à température constante, une conséquence intéressante. Soit θ le temps écoulé depuis le commencement de la réaction, a la concentration initiale de la substance qui se transforme, x le poids des produits transformés pendant le temps θ , l'expression :

$$k = \frac{1}{\theta} \log \frac{a}{a+x}$$

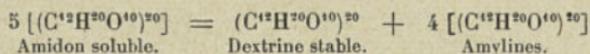
reste constante pendant toute la durée de la transformation, quelle que soit la valeur de α . Cette constante K est désignée sous le nom de coefficient de vitesse. Si on calcule les valeurs de K pour certaines réactions diastasiques, on constate que ce coefficient de vitesse n'est pas constant; il va ordinairement en diminuant, parfois en augmentant; il varie même avec une même diastase suivant les conditions d'action. Les réactions diastasiques semblent donc ne pas être régies par la loi logarithmique ci-dessus. Brown et Glendinning, en appliquant cette loi à la saccharification diastatique de l'amidon, ont constaté que le coefficient K augmente, en général, depuis le début jusqu'à la fin de la réaction. Au contraire, Victor Henri a trouvé que le phénomène suit bien la loi logarithmique. Van Laer a démontré que le désaccord existant entre les résultats de Brown et Glendinning et ceux de V. Henri s'explique par ce fait qu'un grand nombre d'actions secondaires sont susceptibles de modifier la courbe de vitesse de la saccharification. Sous certaines influences, la réaction s'accélère et la courbe devient une droite ou une autre courbe à croissance moins rapide; sous d'autres influences, la réaction va en se ralentissant. Parmi ces actions, on peut signaler la vitesse même avec laquelle la saccharification s'accomplit, l'hétérogénéité de l'amidon, l'atténuation de la diastase par la chaleur, le rôle des agents chimiques, les coagulations qui s'accomplissent au cours de la réaction. Mais, en réalité, les recherches de Van Laer ont montré que, toutes choses étant égales, la loi logarithmique des réactions unimoléculaires est bien applicable à la saccharification diastatique de l'amidon jusqu'à une concentration d'au moins 4,5 p. 100. Au delà de cette concentration, la vitesse de la transformation augmente légèrement. Kjeldahl, puis Dubourg avaient constaté autrefois que l'action de l'amylase est indépendante de la quantité d'amidon mise en œuvre. Ce fait tient à ce que ces auteurs n'ont pas employé, comme Van Laer, des systèmes de même charge diastatique, c'est-à-dire déterminés par un rapport identique entre la quantité de diastase agissante et celle de la matière sèche en solution. Or, c'est ce rapport qui gouverne le phénomène. L'action diastatique débute par la formation de combinaisons entre la diastase et l'amidon: ce sont ces combinaisons et non la matière amylicée même qui se saccharifient ensuite, en suivant toujours, d'une façon apparente ou déguisée, la loi logarithmique des réactions unimoléculaires. Des liqueurs iso-diastasiques, renfermant des quantités différentes d'amidon par unité de volume, contiennent en réalité des combinaisons dont les vitesses de saccharification ne sont pas comparables. Si, en même temps qu'on fait varier la concentration en amidon, on maintient constantes les charges diastasiques, on a alors le même complexe colloïdal à des états de dilution différents. La quantité de diastase qui se fixe sur une partie d'amidon est d'ailleurs essentiellement variable; il ne peut donc être question de combinaisons

définies entre l'amidon et l'amylase. La démonstration de la formation de ces complexes amidon-diastrate dès le début de l'action peut se faire aisément : une solution diastatique accuse, en effet, immédiatement une réduction de son pouvoir diastatique, si on la met en contact avec la matière amylacée dans des conditions où la saccharification ne peut s'effectuer et si on l'en sépare rapidement ensuite.

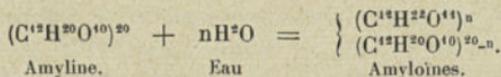
En somme, d'après Van Laer, la saccharification diastatique de l'amidon suit bien les lois de la chimie générale, et, quand elle semble s'en écarter, c'est qu'il intervient des influences secondaires qui modifient l'allure de la transformation. Nous reviendrons sur cette question en étudiant la marche de la saccharification.

Théories de la saccharification. — Plusieurs théories ont été proposées pour l'explication des phénomènes de la saccharification. Pour Payen, l'amidon se transforme d'abord en dextrine par un simple phénomène d'isomérisation, puis cette dextrine donne ensuite graduellement du maltose en fixant une molécule d'eau. Pour Musculus, l'amidon se dédouble en donnant à la fois des dextrines et du maltose : la molécule d'amidon est composée d'un ensemble de feuillettes qui se détachent : les uns sont des feuillettes de dextrine, les autres se transforment en maltose par hydratation : c'est la théorie de l'*effeuillement*.

Brown et Morris considèrent la molécule d'amidon soluble comme constituée par cinq groupements amyloïnes $(C^{12}H^{20}O^{10})^{20}$; sa formule serait donc $5 [(C^{12}H^{20}O^{10})^{20}]$. Quatre de ces groupements sont disposés symétriquement autour du cinquième, qui forme le noyau central. Au début de l'action, la diastase disloquerait cette molécule en mettant en liberté les cinq groupes amyloïnes. Le cinquième groupe, qui constitue le noyau central, résiste à l'action de la diastase et formerait la *dextrine stable* ou dextrine résiduelle de la saccharification :



Les quatre amyloïnes mises en liberté sont capables de se transformer complètement en maltose en donnant, comme produits intermédiaires, une série d'*amyloïnes* ou malto-dextrines constituées par des combinaisons de dextrines et de maltose en proportions variables suivant le nombre n de molécules d'eau fixées :



Lintner ne considère pas cette théorie de Brown et Morris comme exacte : il admet que l'amidon est d'abord complètement transformé en dextrines par la diastase ; ces dextrines sont elles-mêmes transformées en isomaltose et finalement en maltose.

D'après Duclaux, la diastase de l'orge serait composée de deux diastases différentes : l'une, l'*amylase*, est une diastase décoagulante qui liquéfie l'empois d'amidon et le transforme en dextrines ; l'autre, la *dextrinase*, est hydrolysante et transforme les dextrines en maltose. Le grain d'amidon présente des différences de compacité qui persistent encore, bien qu'atténuées, dans l'empois. L'*amylase* liquéfie d'abord les parties de l'amidon les moins résistantes et en fait de la dextrine que la *dextrinase* transforme en maltose. Puis vient le tour des parties un peu plus résistantes. Il se forme ainsi sous l'action de l'*amylase* des dextrines plus ou moins résistantes que la *dextrinase* saccharifie avec une difficulté de plus en plus grande. L'hétérogénéité des dernières dextrines, qui sont très résistantes, l'affaiblissement de la diastase et l'influence paralysante du maltose formé amènent forcément un état d'équilibre et de repos auquel la réaction s'arrête. Pour Duclaux, les maltodextrines, amyloïnes, amylo-dextrines ne sont que des mélanges et nullement des composés définis : toutes les dextrines ont la même formule chimique brute et ne diffèrent que par leur état de compacité, de résistance et peut-être d'arrangement moléculaire.

Pour Maquenne et Roux, la saccharification serait l'œuvre de trois diastases agissant sur les deux produits qui constituent, d'après ces auteurs, le grain d'amidon : l'amylose et l'amylopectine. L'une, l'*amylase*, attaquerait l'amylose, en fournissant dès le début une grande quantité de maltose ; l'autre, l'amylopectinase, liquéfierait l'amylopectine ; enfin, la *dextrinase* saccharifierait les produits de liquéfaction de l'amylopectine, beaucoup plus lentement et dans des conditions de milieu particulièrement favorables.

On voit par ce qui précède que la théorie de la saccharification de l'amidon n'est pas encore bien établie. Aucune des théories proposées ne peut expliquer tous les phénomènes. Celle de Payen ne permet pas de comprendre pourquoi toutes les dextrines ne sont pas transformées en maltose. Celles de Musculus et de Brown et Morris sont plus satisfaisantes, mais certaines observations relatives à l'action de la chaleur sont difficilement explicables par ces théories ; en outre, l'existence de tous ces produits de doublement de l'amidon est incertaine. Celle de Lintner a été combattue par Brown, dont les travaux ont démontré qu'il ne se forme pas d'isomaltose dans la saccharification diastasique.

Nous verrons plus loin que le fait de la possibilité d'une transformation à peu près intégrale de l'amidon en maltose ne permet plus de considérer aujourd'hui l'amylopectine de Maquenne et Roux comme ayant une nature chimique différente de l'amylose, et un des principaux appuis de la théorie de ces savants disparaît ainsi. Les idées de Duclaux semblent celles qui sont les plus conformes aux faits qu'on observe dans la saccharification :

en appliquant à cette théorie les résultats qui découlent des travaux effectués dans ces dix dernières années sur la question, on considère la saccharification diastasique de l'amidon comme étant l'œuvre de trois diastases : une diastase liquéfiant qui transforme l'empois d'amidon en amidon soluble, une diastase dextrinisante ou amylase qui transforme l'amidon soluble en dextrines et une diastase saccharifiante ou dextrinase qui hydrolyse les dextrines à l'état de maltose.

Action de la chaleur sur les diastases amylolytiques et sur leurs réactions. — L'action de la chaleur sur les diastases amylolytiques est très complexe, et les résultats en sont fort variables suivant les conditions de l'expérience et suivant le phénomène envisagé ; liquéfaction de l'empois ou formation de maltose. En règle générale, si on considère en bloc ce phénomène de la saccharification, on constate qu'il commence à se manifester au voisinage de 0° ; son activité croît jusqu'à un optimum situé à 50°-57°, puis diminue lentement jusqu'à 60°-64°, rapidement à partir de 64° et s'arrête à 75°-81°. Si on envisage seulement la liquéfaction de l'empois, on constate qu'elle se produit jusqu'à 81°, et qu'elle est beaucoup plus active à 70° qu'à 50°. Au contraire, la formation de maltose s'arrête à 75°, et sa température optima se trouve aux environs de 50°-57°. On voit donc qu'à 80° la formation de maltose est arrêtée et que la liquéfaction seule subsiste. Ce fait est difficile à expliquer par les théories qui n'admettent pour la saccharification qu'une seule diastase donnant à la fois de la dextrine et du maltose.

Il s'explique facilement avec la théorie de la pluralité des diastases amylolytiques : l'amylase liquéfiant est plus résistante à la chaleur que la dextrinase saccharifiante ; elle n'est détruite qu'à 81°, tandis que la dextrinase l'est déjà à 75°.

L'optimum de la température que nous venons de signaler pour la liquéfaction et la saccharification diastases de l'amidon ne doit pas être considéré comme une particularité de l'action des diastases. Si ces diastases ne se modifiaient et ne se détruiraient constamment sous l'action de la chaleur, et cela à des températures relativement basses, le phénomène suivrait les lois des réactions chimiques. On sait qu'il résulte des travaux de Van t'Hoff et d'Arrhénius, relatifs à l'accroissement des vitesses de réaction en fonction de la température, que d'une manière générale, au cours des réactions chimiques en système homogène, le coefficient de température qu'on désigne par $\frac{Kt + 10}{Kt}$ augmente dans la proportion de 2 jusqu'à 3,5 fois, pour une élévation de température de 10°. Si donc une réaction chimique évolue avec une vitesse de 2 à la température de 10°, cette vitesse sera de 4 à 20°, de 8 à 30°, et ainsi de suite. Cette règle ne s'observe pas seulement chez les réactions chimiques ordinaires, mais aussi chez beaucoup de trans-

formations diastasiques s'accomplissant en système homogène. Ce que nous considérons comme l'optimum de température résulte de ce que, jusqu'à un certain degré, l'accroissement de vitesse qui est dû à l'augmentation de température est plus que suffisant pour contre-balancer la destruction de la diastase, rapide à température élevée, inappréciable à basse température.

Cet affaiblissement des diastases amylolytiques est plus ou moins marqué suivant la température et la composition chimique du milieu. Bourquelot a montré que, par un chauffage prolongé à 68°, l'amylase s'atténue progressivement. Delbrück et Petzhold, puis Lintner ont constaté que la diastase résiste à des températures d'autant plus élevées que la solution est plus concentrée en sucre, ce qui s'accorde bien avec certaines observations de la pratique industrielle. Wohl et Glimm ont montré que, de tous les sucres, le maltose est le meilleur protecteur : ils ont vu, en outre, que le maltose retarde la coagulation des matières albuminoïdes, et on sait, par les travaux de Brown et Héron, que la diminution d'activité de la diastase marche de pair avec la coagulation des albuminoïdes par la chaleur.

Van Laer a montré que si, avec un extrait de malt normal, agissant sur une solution d'amidon, les valeurs du coefficient de vitesse K sont, comme nous l'avons vu, ordinairement constantes ou croissantes, elles deviennent décroissantes avec un extrait de malt chauffé au préalable à une température suffisante, et ce fait se produit en présence ou en l'absence de maltose. Ce sucre protège, cependant, dans une certaine mesure, la diastase contre l'action destructive de la chaleur, probablement par suite de la formation d'une combinaison entre le maltose et la diastase, analogue à celle qui se produit au début avec l'amidon dissous.

La réaction du milieu intervient aussi dans la résistance des diastases amylolytiques à l'affaiblissement par la chaleur. Fernbach et Schoen ont montré que la neutralisation de l'extrait de malt au méthyl-orange, qui augmente, comme nous le verrons bientôt, l'activité saccharifiante de la diastase, diminue notablement sa résistance à la chaleur ; d'autre part, la neutralité à la phtaléine, qui est très défavorable à la production du maltose, confère à la diastase une stabilité beaucoup plus grande vis-à-vis des températures élevées.

Le mécanisme de l'action des hautes températures sur les diastases n'est d'ailleurs pas bien élucidé. Gramenitzki a constaté, en effet, que l'amylase de certaines mucédinées, rendue inactive par chauffage à 100°, reprend ses propriétés spécifiques par chauffage à 115°. Il y a donc là un phénomène de thermorégénération de la diastase, et tout se passe comme s'il se produisait entre 80° et 115° une combinaison inactive qui se détruit à température plus élevée en régénérant la diastase. Des constatations analogues ont été faites par Bertrand et Rosenblatt sur une autre diastase, la sucrase, qui transforme le saccharose en glucose et lévulose.

Ce que nous venons d'exposer se rapporte aux diastases amylolytiques en solution. A l'état sec, la résistance de ces diastases est beaucoup plus grande, et on peut dépasser notablement 100° sans les détruire. Ce fait présente, comme nous l'avons vu, une importance pratique considérable dans le touraillage du malt.

Envisageons maintenant l'influence de la chaleur sur les réactions données par les diastases amylolytiques. Les produits qui se forment sont essentiellement variables avec les températures d'action. D'une façon générale, on peut dire qu'au-dessous de 60°, il se forme beaucoup de maltose, et il ne reste que peu de dextrines non hydrolysées. A mesure que la température s'élève au delà de 60°, on constate que le maltose diminue, tandis que les dextrines augmentent. Au voisinage de 75°-76°, la formation de maltose est arrêtée; seule la liquéfaction de l'amidon persiste pour disparaître elle-même aux environs de 81°.

O'Sullivan représentait ce phénomène par quatre équations chimiques variables avec les températures, et conduisant aux proportions relatives suivantes de maltose et de dextrine dans le liquide saccharifié :

	Maltose p. 100 de produits formés.	Dextrine p. 100 de produits formés.
Au-dessous de 63°	67,85	32,15
Vers 64° (?) environ	51,72	48,28
De 64° à 68°-70°	34,54	65,46
Au-dessus de 70°	17,40	82,60

Brown et Héron ont admis, pour les températures comprises entre 40° et 60°, une équation différente de la première d'O'Sullivan, et conduisant à 81,3 de maltose et 18,7 de dextrine pour 100 de produits formés. Ils ont donné à la dextrine ainsi obtenue le nom de dextrine stable, car elle résiste, au moins dans les conditions ordinaires, à l'action de la diastase. Les malto-dextrines obtenues se transforment d'autant plus facilement en maltose que la température de saccharification s'élève davantage.

Il est très probable que cette variation des produits, sous l'influence de la température, au moins au-dessus de 60°, se fait non pas par échelons auxquels correspondent des formules déterminées, mais suivant un plan incliné continu, le maltose diminuant pendant que la dextrine augmente. D'ailleurs les recherches de Maquenne et Roux ont montré que, dans des conditions de milieu favorables, sur lesquelles nous reviendrons plus loin, la proportion de maltose qui se forme à 50° peut être beaucoup plus considérable que ne l'indiquent les chiffres de Brown cités ci-dessus et atteindre presque la quantité théorique que peut donner l'amidon, la dextrine ne représentant plus que 3 à 8 p. 100 et le maltose 92 p. 100 à 97 p. 100.

La chaleur exerce sur les réactions de l'amylase une autre in-

fluence. Brown et Morris ont constaté que, si on chauffe à une température déterminée, par exemple à 70°, un extrait de malt, et si on le ramène ensuite à une température inférieure, par exemple à 60°, la saccharification ultérieure donne toujours naissance aux mêmes proportions de maltose et de dextrines, quelle que soit cette température inférieure choisie, et cette proportion est celle qui correspond à la température maxima du chauffage. Dans l'exemple actuel, les produits formés à 60° seront donc les mêmes que si on saccharifiait à 70°. La théorie de Duclaux permet d'expliquer parfaitement ce phénomène. L'amylase liquéfiante est plus résistante à la chaleur que la dextrinase saccharifiante; et si on chauffe la dextrinase à une température suffisante pour l'affaiblir, elle demeure affaiblie quand on la ramène à une température plus basse, et son action reste celle qui correspond à la température maxima de chauffage. Un autre phénomène a été signalé par Ling et Davis. L'amylase non altérée par la chaleur donne comme sucre du maltose et pas trace de glucose aux dépens de l'amidon. Mais une diastase chauffée au préalable à 66°-67° se comporte différemment: on constate la formation de glucose, et ce sucre semble être un produit invariable de l'action prolongée de l'amylase sur l'empois lorsque la solution diastasique a été chauffée au-dessus de 60°. La proportion de glucose ne dépasse pas 12 p. 100 de la totalité des substances, et ce sucre n'apparaît que quand l'action diastasique s'est prolongée pendant plusieurs heures.

Marche de la saccharification par l'amylase. — Kjeldahl a énoncé, sous le nom de loi de proportionnalité, la loi suivante qui régit d'après lui la marche de la saccharification par l'amylase: le rapport entre la teneur en diastase de deux dissolutions d'extrait de malt peut être exprimé par le pouvoir réducteur qu'elles produisent, lorsqu'elles agissent toutes les deux sur un même poids d'amidon, à la même température et pendant le même temps, le pouvoir réducteur ne dépassant pas 25 à 30 (45 p. 100 de maltose environ). En d'autres termes, les quantités de substance transformée sont proportionnelles à la quantité de diastase présente, à condition d'examiner les réactions au début du phénomène, la loi n'étant vraie que dans certaines limites de concentration en sucre. Van Laer a constaté que la loi de Kjeldahl peut se maintenir bien en deçà et bien au delà des limites fixées par son auteur. A une faible concentration le maltose exerce bien une action retardatrice sur la diastase, mais cette influence est presque négligeable quand on opère avec des systèmes amylicés peu concentrés. Il y a toute une série d'actions les unes accélératrices, les autres retardatrices, capables de modifier les limites de la loi de proportionnalité. Parmi celles dont l'influence est le plus sensible, il faut citer la décroissance plus rapide de la concentration en amidon dans les solutions les plus diastasiques. La vitesse de la saccharification dépend à chaque instant de la charge diastasique par unité de poids de subs-

trat maltose + dextrines encore transformables, c'est-à-dire du rapport entre la masse de la diastase fixée sur le substrat et celle du maltose qui reste à produire. Toutes les variations de vitesse d'une saccharification s'expliquent par les combinaisons que les diastases contractent d'une part avec le substrat, d'autre part avec les produits de la réaction, maltose et dextrines. C'est ainsi que l'accroissement de vitesse positif ou négatif que subit la production du maltose résulte de l'apport ou de l'enlèvement aux matières restant à saccharifier de nouvelles quantités de ferment. Si l'enzyme reste entièrement fixée sur le maltose au moment où celui-ci se sépare, la réaction suit la loi logarithmique que nous avons précédemment étudiée. Si l'on considère une solution colloïdale d'amidon en voie de saccharification par l'enzyme, la matière amylicée non transformée au bout d'un temps donné et les dextrines présentes fixent une partie de la diastase remise en liberté par la séparation du maltose : l'augmentation de vitesse résultant de cet accroissement de charge diastasique pourra compenser le ralentissement provoqué par la diminution de la concentration en amidon, l'affaiblissement de la diastase et l'action paralysante du maltose, de telle façon que la courbe de vitesse se confonde, au moins sur une partie de son parcours, avec une droite. Avec une quantité de diastase agissante faible, celle qui devient libre par la séparation du maltose reste fixée sur le sucre ; il en résulte que l'amidon non transformé et les dextrines conservent leur charge primitive. Dans ces conditions, c'est toujours le même complexe amidon + diastase qui se transforme, et la vitesse de l'action ne dépend à chaque instant que de la concentration en ce complexe. La formation du maltose suit alors la loi logarithmique des réactions unimoléculaires. Avec une quantité de diastase plus forte, le complexe amidon + diastase ne reste pas identique à lui-même au cours de la transformation. Le système se modifie, et l'accroissement de vitesse est dû à des augmentations parallèles à la charge diastasique de l'amidon et des dextrines saccharifiables. Des influences étrangères, agissant au cours de la réaction, peuvent également détacher de l'amidon ou des dextrines une partie de la diastase fixée au début et entraîner ainsi un ralentissement de l'action. Ce cas se présente, entre autres, avec des extraits de malt atténués par la chaleur ; ceux-ci ont subi un commencement de coagulation ; la diastase fixée par les mycelles amylicés se trouve à l'état de particules plus grosses, moins solidement retenues par l'amidon et qui s'en séparent, en partie, au fur et à mesure que la quantité de substrat diminue. En opérant la saccharification à basse température, de façon à éviter toute déchéance de l'enzyme, le ferment devra se retrouver à la fin de l'action sous le même état qu'au début : avec la mise en liberté de la dernière molécule de maltose toute la diastase non fixée sur le sucre et sur les dextrines restantes devra être devenue libre et prête à agir avec une intensité égale à celle

de la même quantité de diastase fraîche. C'est ce que Effront a constaté à la température de 30°. Au contraire, à 60°-68°, on observe un ralentissement important pour l'enzyme qui a déjà opéré (Van Laer).

On a depuis longtemps observé que la saccharification de l'amidon s'accomplit en deux phases distinctes : la première est pour ainsi dire explosive et très rapide, la seconde est beaucoup plus lente. Maquenne et Roux, qui ont étudié ce phénomène, ont constaté que la première phase atteint 75 à 85 p. 100 de l'amidon employé, en un temps qui varie de quinze minutes à deux heures. La saccharification est donc extrêmement rapide dans le début. La seconde phase, capable d'atteindre encore 15 p. 100 de l'amidon total, est lente, et l'action se poursuit pendant plusieurs jours pour arriver finalement, si les conditions de réaction du milieu sont favorables, à un chiffre de maltose pour cent d'amidon voisin du chiffre théorique : Maquenne et Roux pensent que la phase rapide correspond à l'hydrolyse de l'amylose et à la fluidification de l'amylo-pectine, la phase lente à l'hydrolyse des dextrines très résistantes résultant de la liquéfaction de l'amylopectine.

Ces faits peuvent également s'expliquer par l'action paralysante du maltose formé et la résistance plus grande des dextrines résiduelles à l'action de la dextrinase.

Arrêt de la saccharification. — Dans les conditions ordinaires, il reste toujours dans le liquide saccharifié une certaine proportion de dextrines qui ne se transforment pas en maltose. Nous avons vu que Brown et Morris expliquent ce phénomène par la formation d'une dextrine stable, qui résiste à l'action de la diastase. Duclaux l'attribue d'une part à l'action paralysante du maltose formé sur la diastase et, d'autre part, à l'hétérogénéité des dextrines présentes.

On sait que le maltose formé exerce bien une action paralysante sur la marche de la diastase. Wohl et Glimm ont constaté que le ralentissement de l'action provient de la formation de combinaisons qui fixent l'amylase sur les produits d'hydrolyse. Il suffit de faire disparaître le maltose soit par précipitation chimique (Lindet), soit par fermentation alcoolique, pour voir reprendre la saccharification interrompue. Mais cette explication est insuffisante, et la cause principale de l'arrêt vient de l'hétérogénéité des dextrines présentes et de la réaction plus ou moins favorable du milieu. Les dextrines les plus attaquables sont transformées les premières, et c'est au moment où la diastase est affaiblie qu'elle doit transformer les dextrines les plus résistantes.

L'action s'arrête donc fatalement, puisque la puissance diminue pendant que la résistance augmente.

La réaction du milieu joue un rôle très important. Les recherches de Maquenne et Roux et de Fernbach et Wolf ont montré en effet qu'aux basses températures (50°) la transformation de l'amidon

en maltose peut être à peu près intégrale et atteindre sensiblement la quantité théorique, si on donne au milieu la réaction optima, comme nous allons le voir maintenant.

Influence de la réaction du milieu. — L'amylase présente une sensibilité extrême aux moindres variations dans la réaction du milieu. On a cru pendant longtemps que de petites doses d'acide libre favorisent la saccharification. Kjeldahl a le premier remarqué qu'en additionnant de quantités d'acide sulfurique croissantes un extrait de malt en saccharification, le phénomène est nettement favorisé jusqu'à une dose d'acide sulfurique voisine de 20 milligrammes par litre. Au-dessus de cette dose, la saccharification est de plus en plus ralentie et s'arrête pour une proportion de 100 milligrammes d'acide sulfurique par litre.

Fernbach a montré ensuite que l'extrait de malt est alcalin à l'hélianthine, et que l'expérience de Kjeldahl ne doit pas être interprétée dans le sens d'une action favorable des acides libres. Fernbach a constaté que les acides libres gênent nettement la saccharification et que celle-ci s'effectue dans les conditions optima quand on rend le milieu neutre à l'hélianthine. Le rôle favorisant observé pour les petites doses d'acide provient de ce qu'elles effectuent la transformation des phosphates neutres, qui retardent le phénomène de la saccharification, en phosphates acides qui la favorisent; mais la réaction ne doit jamais être acide à l'hélianthine.

Maquenne et Roux, en opérant dans des conditions un peu différentes (et notamment avec beaucoup plus d'extrait de malt et beaucoup moins d'amidon que Fernbach), ont montré qu'il est préférable de se tenir en deçà de la neutralité et de conserver une réaction légèrement alcaline. Les conditions optima de réaction de milieu sont réalisées en saturant exactement avec l'acide sulfurique l'empois d'amidon qui est alcalin, puis en ajoutant à l'extrait de malt les deux tiers de la quantité d'acide nécessaire pour le saturer complètement. L'indicateur employé doit être l'hélianthine. Maquenne et Roux ont mis en évidence ce fait très intéressant que, dans ces conditions, on augmente beaucoup la proportion de maltose formée, qui atteint à peu près le chiffre théorique que peut donner l'amidon, la proportion de dextrine résiduelle étant extrêmement faible.

Ces dernières expériences montrent que la dextrine *stable* de Brown peut être parfaitement transformée en maltose dans des conditions favorables de réaction de milieu.

Van Laer a recherché les modifications du coefficient de vitesse K sous l'action de l'addition de quantités variables d'acide ou d'alcali. Il a constaté que, quand ces produits atteignent une certaine concentration, les saccharifications sont caractérisées par un coefficient de vitesse décroissant. Pour des quantités équivalentes d'acide sulfurique et de soude mises en œuvre, la nocivité relative de ces agents dépend de la nature des sels qui accompagnent la

diastase, ce qui correspond bien aux observations de Fernbach. Les phosphates secondaires des métaux alcalins sont toujours nocifs; les phosphates primaires activent ordinairement la saccharification; ils peuvent cependant la ralentir en entrant en réaction avec certains autres sels contenus dans la liqueur.

Action des diastases protéolytiques. — Nous avons vu, en étudiant page 39 les diastases de l'orge, que l'activité amylolytique est fortement augmentée quand on soumet au préalable l'orge finement moulue à une macération de quelques heures à 35°. Il en est de même quand on ajoute à la macération des diastases protéolytiques et en particulier de la papaine. Ces diastases protéolytiques semblent agir en dissolvant les matières azotées insolubles sur lesquelles l'amylase est fixée physiquement ou chimiquement et mettent ainsi cette amylase en liberté.

L'amylase dans les graines au repos est en grande partie associée aux matières azotées en formant un complexe insoluble: les diastases protéolytiques libèrent l'amylase en puissance; en outre, elles entraînent des modifications dans la réaction du milieu, en donnant des acides aminés et amidés qui diminuent l'alcalinité et rapprochent ainsi la réaction de l'optimum.

Maquenne et Roux ont montré de même que l'activité d'un extrait de malt préparé rapidement à froid augmente par le repos. Cette auto-excitation est du même ordre que la précédente, et elle est attribuable au jeu des diastases protéolytiques du malt.

Action des sels et de certaines substances chimiques sur la saccharification. — Certains sels ont une action sensible sur la saccharification. Duclaux a montré que le chlorure de calcium à 1 p. 100 et le bichlorure de mercure à 1 p. 1.000 nuisent à la marche du phénomène. D'après Lintner, le sulfate de cuivre arrête la saccharification à la dose de 0,1 p. 100, l'ammoniaque à la dose de 0,2 p. 100, le carbonate de soude à la dose de 0,5 p. 100. Ce dernier sel, à la dose de 0,05 p. 100 d'empois d'amidon, diminue beaucoup la production de maltose: il augmente en effet l'alcalinité du milieu, et le résultat obtenu est bien d'accord avec ce que nous avons vu plus haut au sujet de l'influence de la réaction du milieu sur la saccharification. Effront a signalé l'action favorisante des phosphates monobasiques d'ammoniaque et de chaux, de l'acétate d'alumine, de l'alun de potasse. Les fluorures à faible dose agissent favorablement en conservant la force de la diastase et en prolongeant son action. D'après Kjeldahl, les sels des métaux lourds ont une influence défavorable. Effront a montré aussi que l'asparagine favorise beaucoup la saccharification à la dose de 5 centigrammes par 100 grammes d'empois.

Il est certain que, dans ces expériences, les effets observés doivent varier avec la réaction plus ou moins alcaline à l'hélianthine de l'extrait de malt et de l'amidon, et la sensibilité de la diastase aux moindres changements de réaction permet d'expliquer

les résultats contradictoires obtenus avec les mêmes sels par différents expérimentateurs.

Le chloroforme et le phénol, qui sont si actifs contre le développement des microbes, n'agissent sur la diastase qu'à des doses très élevées. Cependant, l'aldéhyde formique et l'alcool paralysent nettement la saccharification.

Dans l'étude de l'action des sels minéraux sur la saccharification diastasique de l'amidon, il faut faire une place à part aux sels qui jouent le rôle de coenzymes. Bierry, Henri et Giaja ont vu que l'amylase du pancréas, rendue inactive par dialyse, récupère son activité par l'adjonction de certains sels neutres, les chlorures par exemple. Lisbonne a vu que l'addition de phosphates secondaires, d'arséniates, de carbonates, de bases, de citrates, acétates, formiates, oxalates, rend rapidement son activité à l'amylase salivaire dialysée, rigoureusement inactive sur l'amidon déminéralisé. Au contraire, les chlorures, les bromures, les iodures, les sulfates, les nitrates sont sans action réactivante. Les sels activants restituent à l'amidon sa réaction amphotère primitive dont il avait été privé par son mode de préparation. Il ne s'agit donc pas ici d'activation d'une diastase inactive par des électrolytes, mais de la substitution d'une réaction de milieu favorable (réaction amphotère) à une réaction inhibitrice.

Au contraire, si, à des mélanges d'amylase salivaire dialysée et d'amidon déminéralisé, on ajoute en même temps du phosphate bibasique de soude et du chlorure de sodium, on observe une augmentation considérable du pouvoir diastasique (Lisbonne). Les divers chlorures alcalins et alcalino-terreux sont doués de la même propriété activante quand on les fait agir en présence de phosphate bibasique. Il s'agit là d'une action vraie de certains sels. Les sels qui accompagnent normalement les diastases amylolytiques et dont on peut les séparer par dialyse ont donc une très grande importance. Lisbonne a ainsi montré qu'en l'absence de sels les amylases salivaire et pancréatique sont absolument inactives sur l'amidon déminéralisé; l'addition de chlorures les rend de nouveau actives. On a cru pendant quelque temps que ces phénomènes d'inactivation par la dialyse et d'activation par les chlorures ne s'observaient qu'avec les amylases animales, les amylases végétales exerçant leur activité en l'absence d'électrolytes. Mais les travaux de Lisbonne et Vulquin ont montré que les différences observées entre les amylases animales et végétales provenaient de l'imparfaite déminéralisation des diastases. En soumettant la diastase du malt à la dialyse électrique, ces auteurs ont vu que cette diastase est incapable, comme les amylases salivaire et pancréatique, d'exercer son action en l'absence rigoureuse d'électrolytes.

Produits de la saccharification diastasique. — On voit, par les théories qui ont été données pour l'explication des phénomènes de la saccharification, que les auteurs ne sont pas d'accord sur la

nature des produits qui se forment. L'amidon se transforme d'abord en amidon soluble, dont le pouvoir réducteur est nul et dont le pouvoir rotatoire est de $[\alpha]_D = +195^\circ$ d'après Brown et Héron. La présence du maltose dans les produits de la saccharification est certaine, mais les divergences d'opinions sont très accentuées au sujet de la nature des dextrines.

On a distingué parmi elles les *érythro-dextrines* et les *achroo-dextrines*, suivant l'action de l'iode qui colore les premières en rouge et ne colore pas les dernières.

Mais, d'après Duclaux, ces distinctions ne paraissent pas correspondre à des différences d'ordre chimique, mais simplement à des différences dans l'état physique, de sorte qu'il ne faut pas leur attribuer trop d'importance.

Les *érythro-dextrines* se forment au début de la saccharification de l'amidon par la diastase. Plusieurs érythro-dextrines ont été décrites notamment par O'Sullivan, Bondonneau, Lintner et Düll; mais Ost et beaucoup d'autres auteurs considèrent ces corps comme de simples mélanges d'amidon soluble et d'achroo-dextrines, et il est probable que cette dernière opinion est exacte.

Les *achroo-dextrines* se forment dans l'attaque plus prolongée de l'amidon par la diastase. On en distingue également plusieurs. O'Sullivan a décrit l'achroo-dextrine β dont le pouvoir rotatoire $[\alpha]_D = +222^\circ$ et dont le pouvoir réducteur est nul. Bondonneau en a signalé deux. Musculus et Gruber distinguent trois achroo-dextrines différentes dont les pouvoirs rotatoires $[\alpha]_D$ sont respectivement $+210^\circ$, $+190^\circ$ et $+150^\circ$. Lintner et Düll en ont également décrit deux : l'achroo-dextrine I ($C^{12}H^{20}O^{10}$)⁶ + H²O, dont le pouvoir rotatoire $[\alpha]_D = +192^\circ$ et dont le pouvoir réducteur est de 42, celui du maltose étant pris égal à 100; et l'achroo-dextrine II ($C^{12}H^{20}O^{10}$)³ + H²O, dont le pouvoir rotatoire $[\alpha]_D = +180^\circ$ et dont le pouvoir réducteur est de 26,5. Prior et Weigmann en ont décrit une troisième : l'achroo-dextrine III, dont le pouvoir rotatoire $[\alpha]_D = +171^\circ,4$ et dont le pouvoir réducteur est de 42,5.

D'après Brown et Millar, la dextrine dite stable qui se forme au début de la saccharification diastasique a pour pouvoir rotatoire $[\alpha]_D = +195^\circ$; son pouvoir réducteur est très faible.

Certains auteurs ont décrit sous le nom de *maltodextrines* des composés définis de maltose et de dextrine qui se forment pendant la saccharification de l'amidon par la diastase du malt. Herzfeld, Brown et Morris, Ling et Baker en ont obtenu plusieurs variétés. On a caractérisé notamment : la maltodextrine α (Brown et Morris, Ling et Baker), dont le pouvoir rotatoire $[\alpha]_D = +180^\circ$ et dont le pouvoir réducteur est égal à 32,8; elle paraît voisine de l'achroo-dextrine II de Lintner et Düll; la maltodextrine β , dont le pouvoir rotatoire $[\alpha]_D = +172^\circ$, dont le pouvoir réducteur est de 43, et qui semble identique à l'achroo-dextrine III de Prior et Weigmann; la

maltodextrine γ , isolée par Grütters, pour laquelle $[\alpha]_D = +170^\circ$ et dont le pouvoir réducteur est égal à 60.

En résumé, les produits de la saccharification seraient, d'après Brown et Morris, l'amidon soluble, la dextrine stable, le maltose et des amyloïnes de types variés, renfermant plus ou moins de maltose et de dextrine, auxquelles s'ajouterait, dans le cas d'une diastase chauffée au-dessus de 60° , d'après Ling, le glucose. D'après Lintner, ils se composeraient d'une érythro-dextrine, de deux ou trois achroodextrines, d'isomaltose et de maltose. D'après Duclaux, il ne se formerait que du maltose et des dextrines présentant simplement entre elles des différences de compacité, de résistance et d'arrangement moléculaires, et ayant toutes comme caractères communs la solubilité dans l'eau, la précipitation par l'alcool fort, le pouvoir réducteur nul et le pouvoir rotatoire voisin de $+202^\circ$. Tous les autres produits désignés sous le nom d'érythro-dextrines, d'achroodextrines, d'amylo-dextrines, de maltodextrines ne seraient, d'après Duclaux, que des mélanges et nullement des composés définis.

2° *Diastases protéolytiques du malt.* — Ces diastases sont encore mal connues, à cause de l'incertitude de nos connaissances sur les matières albuminoïdes et sur leurs produits de dédoublement. Nous savons que ces matières albuminoïdes subissent, sous l'action de ces diastases, une série de dislocations successives, qui les amènent d'abord à l'état de peptones, puis à l'état de corps amidés ou aminés. On peut distinguer ainsi deux modes de décomposition des matières azotées par les diastases. 1° la décomposition *pepsique*, qui aboutit à la formation de peptones, et la décomposition *trypsique*, beaucoup plus profonde, qui conduit à la formation de corps amidés et aminés. Ces diastases, qu'on désigne souvent sous le nom de *diastases protéolytiques* ou *protéases*, sont nombreuses et très répandues dans le règne animal et dans le règne végétal.

Gorup Besanez a entrevu le premier, en 1874, la présence d'une diastase protéolytique dans l'orge germée. Wahl a repris la question en 1893 et démontré que, pendant le brassage, les matières albuminoïdes se transforment partiellement en peptones et corps amidés; puis Wohl et Nilson ont donné, pour le maximum d'action de la diastase qui cause ces transformations, la température de 45° ; cette *peptase* s'affaiblit de 57° à 65° , et son action cesse au-dessus de 60° .

En France, Fernbach et Hubert, Petit et Labourasse ont démontré à peu près en même temps l'existence d'une diastase protéolytique dans le malt. Nous avons vu que cette diastase est très peu abondante dans l'orge non germée, qu'elle augmente beaucoup pendant la germination et s'affaiblit lors du touraillage, mais il en reste toujours dans le malt touraillé. Weiss, qui a étudié sa formation pendant la germination de l'orge, a distingué le pouvoir pepsique,

qui correspond à la formation d'albumoses et de peptones, et le pouvoir trypsique qui correspond à des dédoublements plus profonds, aboutissant à la formation de corps cristallisables, tels que les amides et les acides aminés. D'après Weis, l'orge avant germination ne possède qu'un très léger pouvoir pepsique et pas de pouvoir trypsique. Au quatrième jour de la germination, le pouvoir trypsique apparaît, s'élève très rapidement, atteint un maximum au sixième jour et se maintient constant jusqu'au treizième. Windisch et Schellhorn ont fait des constatations identiques.

Ces phénomènes sont très probablement dus, comme dans la saccharification de l'amidon, à la présence de deux diastases : la *peptase*, qui agit comme diastase décoagulante et transforme les matières albuminoïdes en albumoses et peptones, et la *tryptase* qui agit comme diastase hydrolysante en disloquant les peptones jusqu'aux corps amidés.

Il existe entre l'action des diastases protéolytiques du malt et celle de l'amylase une analogie tout à fait remarquable qui a été signalée pour la première fois par Fernbach et Hubert. Toutes les deux partent d'un corps complexe, l'amidon d'une part, la matière albuminoïde de l'autre, et le dégradent en donnant deux groupes de substances dont les premières sont très voisines du corps primitif, les dextrines pour l'amylase et les peptones pour les diastases protéolytiques, et les secondes très éloignées, le maltose pour l'amylase et les corps amidés pour les diastases protéolytiques. En outre, l'analogie se complète par ce fait que l'influence de la température, de la durée, de la nature du malt et de l'eau se fait sentir à peu près de la même façon pour les deux phénomènes.

Par exemple, sous le rapport de l'influence de la température, Fernbach et Hubert ont montré que la nature des produits de dédoublement des matières azotées varie avec la température à laquelle l'action s'effectue. A 40°, tout l'azote solubilisé passe à l'état de composés amidés. A 60°, on commence à trouver de fortes proportions de peptones (40 à 50 p. 100), et les corps amidés n'atteignent plus que 50 à 60 p. 100. A 70°, il n'y a plus que 40 p. 100 de composés amidés, le reste étant constitué par des peptones. On voit donc l'analogie qui existe entre l'amylase et les diastases protéolytiques du malt, et tout ce qu'on peut dire de l'influence de la température sur l'amylase s'applique aux diastases protéolytiques en substituant le mot de peptones à celui de dextrines et le terme d'amides à celui de maltose.

Weis a trouvé que l'optimum de température est à 35°-48° pour la tryptase et à 52° pour la peptase, ce qui s'accorde bien avec les résultats de Fernbach et Hubert.

Sous le rapport de la réaction du milieu, Fernbach et Hubert ont montré que la neutralité à l'hélianthine représente la réaction optima pour la protéolyse. Nilson a vu que la peptonisation des albuminoïdes du malt augmente, jusqu'à une certaine limite, avec

l'acidité de l'empâtage. Wahl a constaté qu'une acidité initiale de 1 à 2 p. 100, formée par les bactéries lactiques, permet d'obtenir le maximum d'action protéolytique. D'après cet auteur, le phénomène cesse à 50° dans le brassage et s'exerce au mieux entre 25° et 30°. Le rôle de l'acide paraît être de mettre en liberté la peptase combinée dans le malt à certains composés basiques de type albuminoïde. D'autres phénomènes doivent cependant intervenir, car Wahl a constaté que cette activation n'est causée que par l'acidité bactérienne. L'addition d'acides organiques ou minéraux est à peu près sans effet. Nous verrons plus loin les applications auxquelles les observations de Wahl ont conduit dans la pratique du brassage.

Matériel employé pour le brassage.

Les appareils employés pour le brassage sont : pour l'empâtage, l'hydrateur ; pour le brassage, la cuve matière ou le macérateur, parfois le cuiseur, et, dans les procédés de brassage mixtes ou par décoction, la chaudière à trempes ; pour le soutirage, la cuve à filtrer ou le filtre à mouës ; pour les lavages, la croix écossaise.

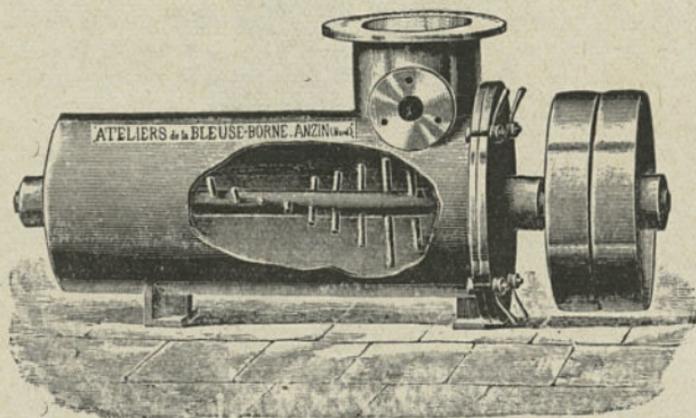


Fig. 33. — Hydrateur mécanique.

Hydrateurs. — On peut distinguer deux types d'hydrateurs : les hydrateurs mécaniques et les hydrateurs automatiques.

HYDRATEUR MÉCANIQUE. — L'hydrateur mécanique (fig. 33)

se compose d'un cylindre métallique muni d'un axe central portant des palettes en hélice. A une des extrémités se trouve l'orifice d'arrivée de l'eau, et, au-dessus, un tuyau qui commu-

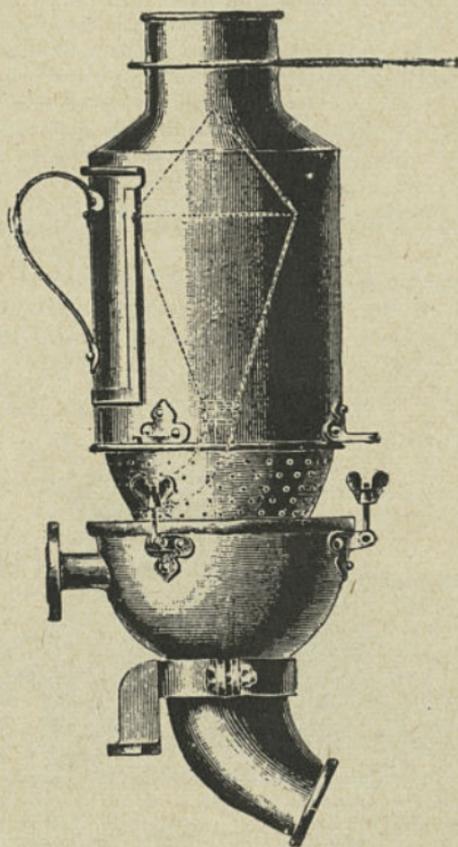


Fig. 34. — Hydrateur automatique. (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville.)

nique avec la trémie à malt. Le malt arrive dans le cylindre, est poussé par la rotation de l'agitateur et mélangé intimement à l'eau.

HYDRATEUR AUTOMATIQUE, — L'hydrateur automatique

(fig. 34) se compose également d'un cylindre communiquant à sa partie supérieure avec la trémie à malt et s'ouvrant à la partie inférieure dans la cuve matière. L'eau arrive soit par des couronnes perforées, soit par une double enveloppe percée de trous et se répartit ainsi parfaitement dans le malt. Pour régulariser la descente du malt et réduire sa vitesse, on place à l'intérieur de l'appareil un cône métallique dont la pointe est tournée vers le haut, ou des cloisons en chicanes.

Cuvé matière. — La cuve matière (fig. 35) peut servir soit seulement pour le travail du brassage, soit à la fois pour le brassage et pour la filtration. Elle est généralement en tôle, recouverte extérieurement de bois ou de liège pour éviter le refroidissement; parfois elle est munie d'une double enveloppe à circulation de vapeur pour permettre de maintenir plus aisément les températures; parfois elle porte un serpentín réchauffeur, appliqué contre ses parois intérieures. Ce dernier dispositif est très recommandable : il permet d'abrégér le travail en décoction en réchauffant en cuve matière pendant qu'une trempe est en chaudière, ce qui supprime une trempe; il permet en infusion de réduire la quantité d'eau chaude et d'avoir des moûts plus concentrés.

La cuve matière est parfois carrée, parfois ovale, le plus souvent ronde. La forme cylindrique est la meilleure, car elle permet un débattage plus régulier.

Quand la cuve ne doit servir qu'au brassage, elle n'a pas de faux fond, et elle porte au fond une ouverture destinée à évacuer la masse dans la cuve à filtrer. Quand elle doit servir à la fois au brassage et au soutirage, elle porte un faux fond perforé, les robinets de soutirage et la croix écossaise : nous retrouverons ces appareils en étudiant la cuve à filtrer. La cuve matière est tantôt ouverte, tantôt fermée par un couvercle mobile.

L'emploi d'un couvercle est préférable, car on peut éviter ainsi le refroidissement de la masse et les vapeurs dans la salle de brassage.

L'agitation est indispensable pour avoir une température bien uniforme et pour favoriser la saccharification. Aussi la cuve matière porte-t-elle un agitateur plus ou moins puissant,

BRASSAGE

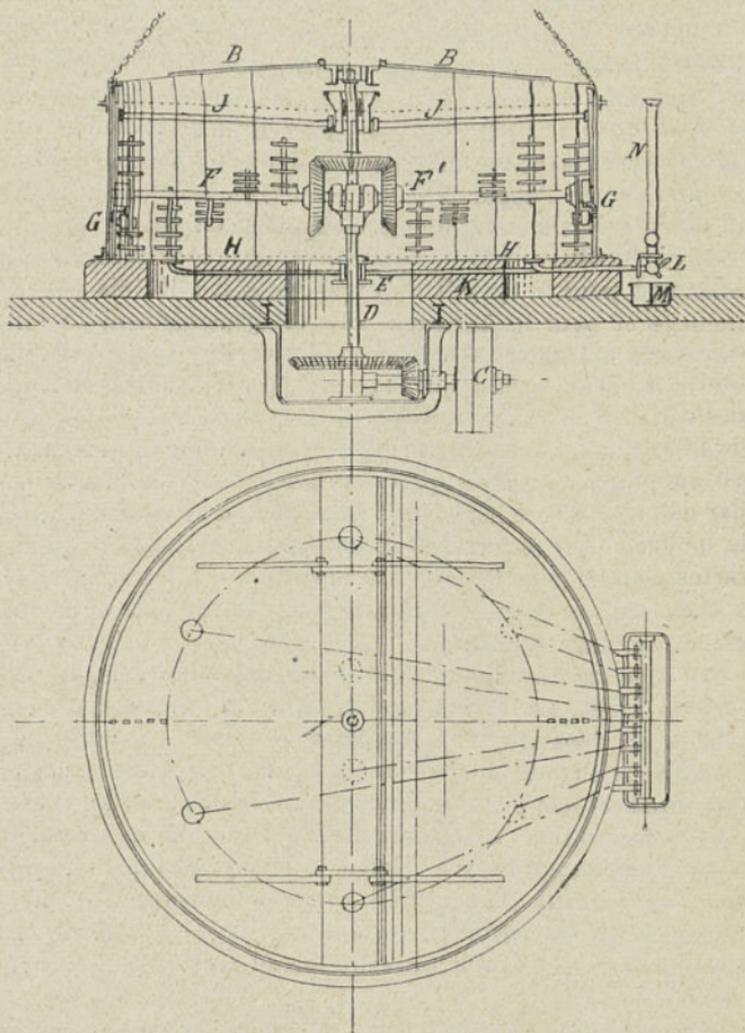


Fig. 35. — Cuve matière filtrante avec vagueur. (Crépelle-Fontaine à la Madeleine-lez-Lille.)

A, cuve proprement dite; B, couvercle; C, poulies; D, arbre vertical; E, boîte à étoupes; F, arbres à fourquets; G, crémaillère circulaire; H, faux fond perforé; I, crois écossoise; J, branches de la crois; K, tuyaux de soutirage; L, robinets de soutirage; M, réservoir à deux compartiments; N, faux-bucq.

dont la forme est très variable. Tantôt il consiste simplement en un arbre vertical portant à sa partie inférieure deux palettes plates inclinées en sens inverse et tournant au fond de la cuve. Cette disposition suffit pour les petits appareils. Pour obtenir une agitation plus parfaite, on utilise, surtout pour les grandes cuves, des vagueurs plus compliqués. Tantôt l'arbre vertical transmet son mouvement de rotation à deux bras horizontaux placés dans la cuve et armés de palettes disposées en hélice (fig. 35). Les arbres horizontaux ont un mouvement de rotation sur eux-mêmes et entraînent par suite les palettes qui tournent perpendiculairement au plan de la cuve; ils ont, en outre, un mouvement de rotation autour de l'axe vertical. Les arbres horizontaux sont soutenus à leur extrémité, dans les installations anciennes, par une crémaillère fixée sur les parois de la cuve. Dans les appareils plus modernes, la crémaillère est supprimée, les bras sont soutenus à la partie supérieure par de fortes entretoises; en outre, les engrenages qui donnent le mouvement de rotation aux palettes sont placés dans un carter pour éviter l'écrasement des grains.

Dans d'autres cuves, l'arbre vertical porte une série d'engrenages qui commandent soit des agitateurs verticaux à bras horizontaux, soit des agitateurs horizontaux à bras verticaux. Ces agitateurs sont animés d'un mouvement de rotation propre autour de leur axe et sont entraînés en même temps dans la rotation de l'axe principal autour de la cuve. Ces dispositifs sont de plus en plus abandonnés, à cause de la force considérable qu'ils consomment. Leur seul avantage est de permettre des empâtages très épais (200 litres par 100 kilogrammes de malt), ce qui est impossible avec les vagueurs à hélice. Mais cet avantage, qui était appréciable lorsqu'on n'utilisait, pour réchauffer la masse au brassage, que de l'eau chaude, est devenu nul aujourd'hui avec l'emploi du chauffage à la vapeur par double fond ou par anneau et avec l'utilisation de plus en plus répandue des trempes de décoction.

Aussi a-t-on beaucoup simplifié, dans ces dernières années, la forme des vagueurs : au lieu des palettes plus ou moins compliquées, on emploie la forme en hélice, qui est beaucoup plus simple et permet plus facilement le nettoyage. Le vagueur

se compose alors simplement de deux palettes contournées en hélice, tournant au fond de la cuve en produisant un débattement parfait et un mélange très homogène. On supprime ainsi tous les engrenages encombrants et difficiles à nettoyer. L'installation de cet appareil demande quelques précautions pratiques importantes. Si sa vitesse de rotation est trop rapide, il se produit une séparation des drèches suivant leur densité, les parties les plus lourdes étant rejetées vers les parois : il en résulte des irrégularités d'épuisement lors de la filtration soit à la cuve-filtre, soit au filtre à mouës. Le vagueur à hélice ne fonctionne bien, en outre, qu'avec les empâtages clairs (au moins 275 litres par 100 kilogrammes de malt); il ne convient donc pas pour les méthodes anciennes de brassage par infusion, avec attaque à basse température et réchauffage par l'eau bouillante, à moins de disposer dans la cuve matière un serpent de chauffage par la vapeur. La cuve doit enfin avoir un assez grand diamètre; on donne ordinairement au vagueur en hélice une longueur égale aux deux tiers du diamètre de la cuve, et la vitesse de rotation doit être convenablement choisie. Si le vagueur en hélice est placé dans une cuve matière qui doit servir aussi à la filtration, il faut lui donner une vitesse plus faible et une courbure différente pour que la couche de drèches soit bien uniforme et que le faux fond ne soit pas déformé.

D'autre part, quel que soit le type de vagueur employé, l'agitation doit être assez énergique pour empêcher les fins débris d'enveloppes de tomber et de s'accumuler entre le fond et le faux fond. Ce fait s'observe parfois avec les vagueurs constitués par de simples palettes verticales, dont on peut faire varier l'inclinaison. L'agitation se borne dans ce cas à une simple rotation de la masse dans la cuve.

La commande de l'agitateur de la cuve matière se fait soit par la partie supérieure; soit par le dessous. Cette dernière disposition est préférable, car les engrenages ne sont pas exposés à la vapeur qui s'élève de la cuve.

La forme du vagueur n'a pas une influence bien marquée sur le rendement, mais il est hors de doute qu'une agitation énergique active la saccharification.

Macérateur. — Quand on dispose d'une cuve à filtrer, on peut employer pour le travail du brassage soit une cuve matière sans faux fond, soit un macérateur.

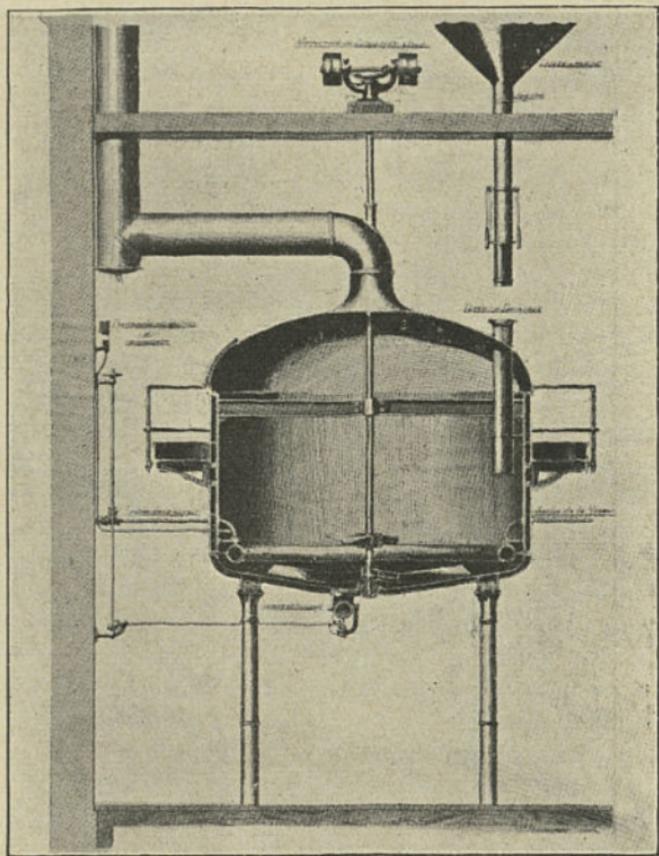


Fig. 36. — Cuve matière macérateur.
(Société strasbourgeoise de constructions mécaniques à Lunéville.)

Le macérateur est constitué par un grand cylindre métallique qui peut être horizontal ou vertical. Dans le premier cas, le cylindre horizontal est muni d'un agitateur à bras ver-

ticaux tournant à trente tours environ à la minute. Ce cylindre est chauffé à la vapeur par un double fond, et il porte à la partie supérieure un ou deux trous d'homme et un orifice pour l'entrée du malt. Ces ouvertures peuvent être fermées par des étriers à vis, de sorte qu'il est possible de chauffer sous pression si on le désire. Une tubulure de vidange permet l'évacuation de la masse.

On utilise aujourd'hui beaucoup les macérateurs verticaux, représentés par les figures 36 et 37. La cuve matière macérateur (fig. 36) est constituée, en principe, par une cuve cylindrique en tôle, à fond bombé, et à coins arrondis, muni d'un propulseur à hélice qui peut être commandé par le haut ou par le bas. Le chauffage est assuré par un anneau de vapeur. Le macérateur est fermé par une coupole emboutie, de forme elliptique portant une cheminée pour l'évacuation des vapeurs et une tubulure pour l'introduction du malt. Un orifice de vidange permet l'évacuation de la masse après saccharification. On donne ordinairement deux vitesses au propulseur, l'une, assez faible, pour l'empâtage, l'autre, plus rapide, pour la rentrée des trempes.

La chaudière d'empâtage représentée par la figure 37 est de forme arrondie; elle est également munie d'un anneau de chauffage; un brise lames empêche la formation de mottes. Un anneau d'arrosage permet de rincer la chaudière aussitôt après l'évacuation des maisches sans qu'il soit nécessaire de faire entrer un ouvrier dans l'appareil. La chaudière peut être suspendue au plancher, comme le montre la figure, ce qui dégage le dessous de la salle de brassage.

Le chauffage des macérateurs peut se faire également par double fond. Parfois on associe, dans les grands appareils, les deux modes de chauffage, par un anneau et par double fond.

Les chaudières à trempes et à houblonner, que nous étudierons plus loin, sont aujourd'hui fréquemment utilisées comme macérateurs pour le travail du brassage. L'emploi du macérateur est bien préférable à celui de la cuve matière filtrante: on peut recourir aisément à tous les modes de brassage, maintenir rigoureusement les températures de travail. On évite, en outre, les dépôts gênants qui se produisent pendant le bras-

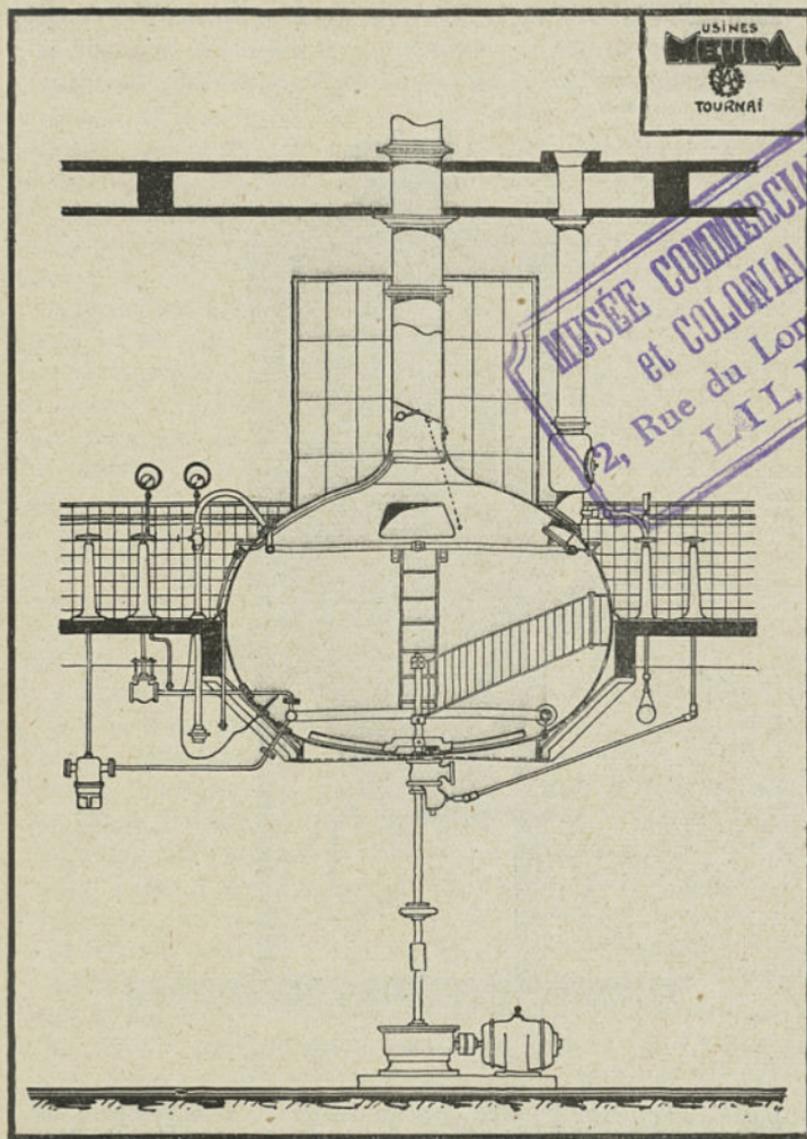


Fig. 37. — Chaudière d'empâtage. (Usines Meura, à Tournai, Belgique).

sage entre le fond et le faux fond de la cuve matière et qui peuvent renfermer des matières incomplètement saccharifiées.

Cuiseur. — Quand on emploie des grains crus, on utilise

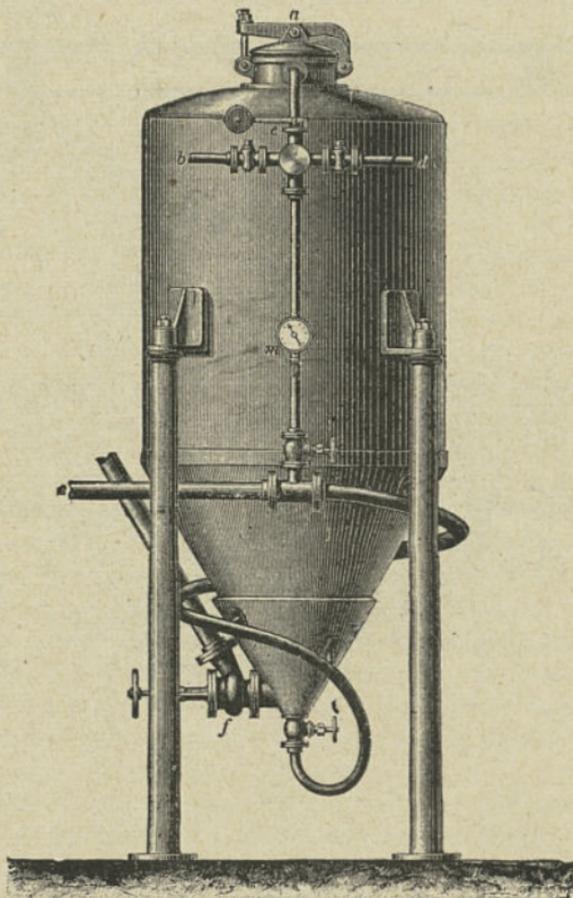


Fig. 38. — Cuiseur vertical.

parfois le cuiseur pour la cuisson des grains sous pression. Le cuiseur (fig. 38) se compose essentiellement d'un réservoir conique ou cylindro-conique en tôle, qui peut résister à une pression de vapeur de 3 ou 4 atmosphères. A la partie supé-

rieure se trouve un orifice de chargement soigneusement assujéti par un étrier à vis. L'admission de vapeur se fait à la base de l'appareil par injection tangentielle de deux côtés opposés, de manière à produire à l'intérieur un tourbillon giratoire qui maintient la masse en mouvement. Certains cuiseurs portent un agitateur. La vidange de la masse s'effectue par la tubulure inférieure de l'appareil. Le cuiseur porte enfin à la partie supérieure un manomètre et une soupape de sûreté.

Chaudière à trempes. — La chaudière à trempes sert, dans les procédés de brassage par décoction ou mixtes, à porter à l'ébullition les trempes. Convenablement agencée, elle constitue un véritable macérateur et peut être utilisée pour tout le travail du brassage. Beaucoup d'installations modernes de salles de brassage comprennent aujourd'hui le brassage en chaudière.

Ces chaudières sont tantôt en cuivre, tantôt en acier et cuivre, tantôt en tôle d'acier. La tôle d'acier est moins coûteuse, mais elle n'est applicable qu'aux chaudières chauffées à la vapeur; son usure serait trop rapide avec le chauffage à feu nu.

Les chaudières à trempes sont assez larges, ordinairement rondes, et elles sont presque toujours recouvertes par un dôme muni d'une cheminée d'appel, afin d'entraîner rapidement les vapeurs. Certaines chaudières peuvent être fermées par un couvercle boulonné et permettent ainsi de cuire sous pression.

Comme la chaudière à trempes doit servir au chauffage d'une masse pâteuse de malt et d'eau, elle doit posséder un agitateur pour éviter l'adhérence de la matière au fond et égaliser les températures. Dans les anciennes chaudières, cet agitateur est composé de deux palettes qui tournent à une très petite distance du fond et sont munies de chaînes de fer qui frottent sur tout le fond de la chaudière pendant la rotation. Dans les appareils modernes, on dispose ordinairement un simple vagueur en hélice. La transmission du mouvement se fait soit par la partie supérieure, soit par le dessous.

Le chauffage des chaudières à trempes se fait tantôt à feu nu (fig. 39) tantôt à la vapeur (fig. 40 et 41). Quand la chau-

dière doit être chauffée à feu nu, elle est disposée sur un massif de maçonnerie qui constitue le foyer. La partie chauffée doit être aussi grande que possible pour utiliser avantageusement

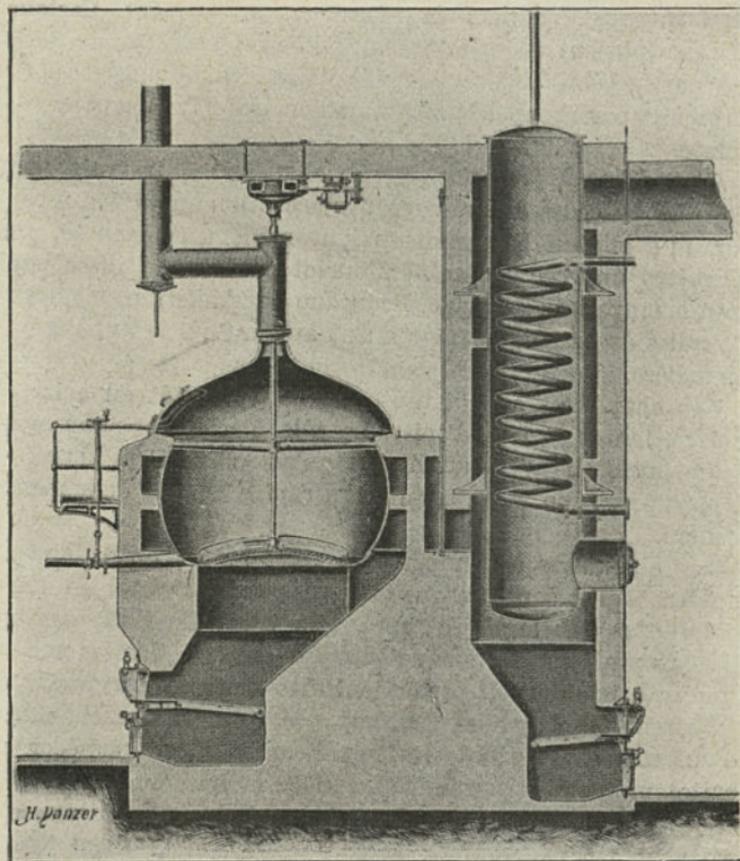


Fig. 39. — Chaudière à feu nu avec réchauffeur. (Diebold, Nancy.)

le combustible. Un agencement de carneaux sur les côtés de la chaudière permet aux gaz de chauffer le pourtour. Ces dispositifs ont été beaucoup perfectionnés et les chaudières à feu nu modernes sont munies d'un système de carneaux et de registres

qui rendent bien meilleure l'utilisation du charbon et permettent un réglage beaucoup plus facile de l'ébullition. Au contraire, dans les appareils anciens, la consommation de combustible est très forte et le réglage difficile. On peut avantageusement

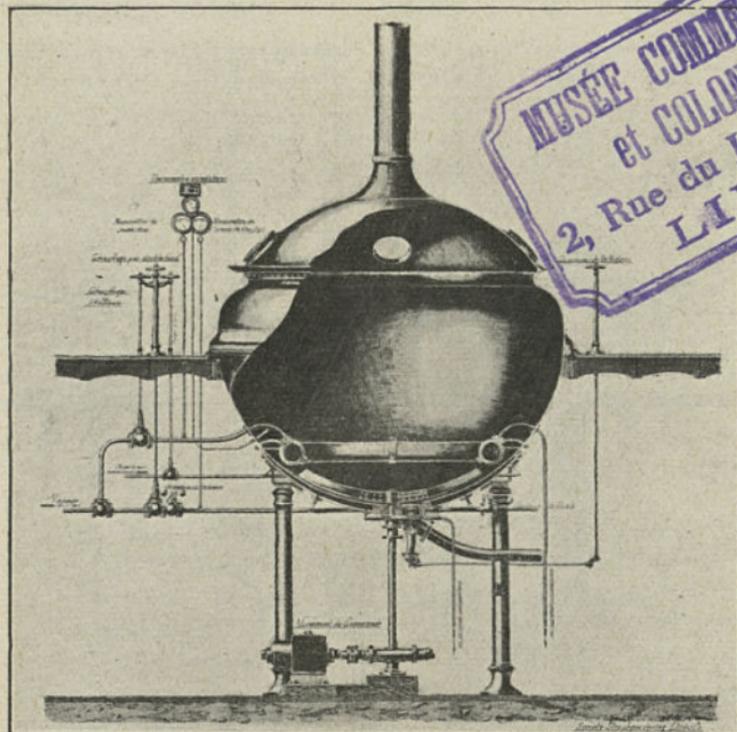


Fig. 40. — Chaudière à brasser, forme américaine. (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville.)

adjoindre à la chaudière à feu nu un réchauffeur d'eau qui utilise une partie des chaleurs perdues du foyer : cette disposition est représentée dans la figure 39.

Quand on chauffe à la vapeur, la chaudière porte soit un ou deux anneaux de chauffage (fig. 40) soit un ou deux double fonds (fig. 41).

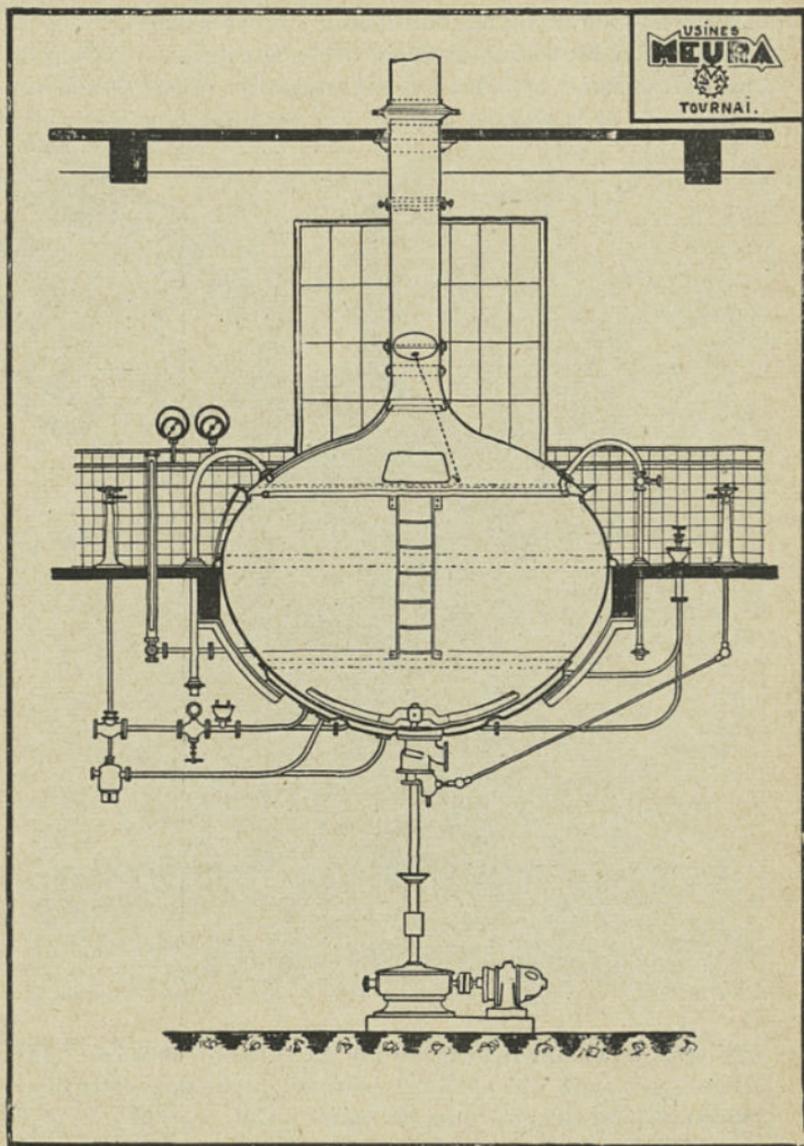


Fig. 41. — Chaudière avec chauffage par deux double-fonds.
(Usines Meura, à Tournai, Belgique.)

Le chauffage par double fond a l'avantage de laisser complètement libre le fond de la chaudière, ce qui facilite les nettoyages ; on évite aussi de percer les parois de la chaudière pour les arrivées de vapeur. La surface de chauffe est placée aussi bas que possible, afin qu'aucune partie du moût n'échappe à la cuisson. On peut, comme le représente la figure 41, disposer le double fond en deux parties. La calotte du centre est prévue pour une pression de 5 kilogrammes, la calotte annulaire pour une pression de 2 kilogrammes, ce qui permet un décalage sensible de température entre le fonds chauffant du centre et la couronne circulaire. L'ascension du moût est ainsi favorisée au centre de la chaudière, la coagulation est facilitée et l'évaporation augmentée.

Les anneaux de chauffage ont l'avantage de bien utiliser la chaleur, de simplifier la construction du fond et de permettre un chauffage plus facile dans les appareils de très grandes dimensions.

L'adjonction d'un anneau à une chaudière à feu nu la transforme, en outre, facilement en chaudière à vapeur. Par contre, le chauffage par anneaux rend les nettoyages un peu moins faciles.

Au lieu des anneaux fixes, on peut employer le serpentín rotatif, qui constitue à la fois un appareil de chauffage à haute pression et un agitateur. Il est constitué par un serpentín de vapeur, plusieurs fois contourné dans divers plans et placé au fond de la chaudière ; il est animé d'un mouvement de rotation. Ce dispositif est excellent, mais il exige une construction très soignée pour éviter les fuites qui pourraient se produire dans le calfat après un certain temps de fonctionnement. Il est surtout avantageux pour les chaudières à houblonner, que nous étudierons plus loin, et qui possèdent déjà un anneau fixe de chauffage ou un double fond, car le serpentín rotatif permet alors d'entretenir l'ébullition par utilisation de la vapeur vive, tout en assurant par l'agitation un meilleur épuisement du houblon.

Dans les grandes chaudières, on combine parfois le double fond avec l'anneau fixe ou le serpentín rotatif. C'est là une disposition coûteuse, mais qui assure un chauffage très rapide

et l'utilisation de la vapeur à haute et à basse pression.

Il faut éviter de placer les anneaux de chauffage à une trop grande distance du fond, surtout dans les chaudières dépourvues de vagueur, car le mout qui se trouve au-dessous de l'anneau se chauffe très lentement et se coagule mal.

Les eaux condensées dans le fond ou dans les anneaux doivent pouvoir faire retour au générateur, et on ne saurait trop insister sur la nécessité d'un bon fonctionnement des purgeurs pour l'élimination de ces eaux. La marche des appareils de chauffage dépend en grande partie de la disposition et du fonctionnement rationnel de ces organes.

La question du meilleur mode de chauffage pour les chaudières a été très discutée. La cuisson à la vapeur a l'avantage d'économiser la main-d'œuvre nécessaire pour l'entretien des foyers, de permettre des installations plus propres; les chaudières peuvent être placées à n'importe quel niveau, ce qui est intéressant quand on veut avoir tous les appareils en cascade complète; enfin l'ébullition se règle beaucoup plus aisément; les risques de coloration des bières pâles sont moindres, et on peut employer sans inconvénients la tôle d'acier, au lieu du cuivre, pour la construction de la chaudière. L'économie de charbon qu'entraîne l'emploi de la vapeur n'existe pas toujours. En général, dans les grandes usines où le générateur est d'un bon rendement, et en marche presque continue, le chauffage à la vapeur procure une meilleure utilisation du combustible que le chauffage à feu nu. Mais, dans les petites brasseries où le générateur est médiocre et ne marche que d'une façon intermittente, il y a souvent avantage à recourir au chauffage à feu nu, avec un foyer rationnellement disposé et un réchauffeur établi dans l'élargissement de la cheminée. Le rendement du foyer peut être porté ainsi à 50 p. 100, et on n'obtiendrait pas de meilleurs résultats avec un générateur médiocre et les pertes par condensation dans les tuyauteries.

On a reproché au chauffage à la vapeur de donner des bières de goût cru, moins aromatiques que le chauffage à feu nu, dans lequel il se produit une surchauffe et un commencement de caramélisation qui influent sur le goût et la stabilité de la bière. De nombreuses expériences entreprises à ce sujet ont

montré, que, dans le chauffage à feu nu, la surchauffe n'a aucune influence. Les différences qui ont été constatées entre les bières cuites à la vapeur et cuites à feu nu tiennent presque toujours aux conditions plus ou moins favorables dans lesquelles on s'est placé pour l'installation de la cuisson à la vapeur. On sait aujourd'hui que l'agitation énergique du liquide pendant la cuisson est une condition très favorable à la formation d'une bonne cassure : or, bien des chaudières à la vapeur, à surface de chauffe insuffisante ou à trop basse pression de vapeur de cuisson, ne permettent pas de réaliser cette condition. Pour les bières de fermentation haute, en particulier, le chauffage par vapeur vive à haute pression dans des anneaux, donne des résultats incontestablement supérieurs à ceux du chauffage par double fond, à basse pression. Ces considérations pratiques font comprendre que certaines brasseries aient pu obtenir par la cuisson à la vapeur une amélioration de leurs bières, tandis que d'autres, après quelques essais peu favorables, sont revenues à la cuisson à feu nu. Mais, d'une façon générale, les différences éventuelles de qualité entre les bières cuites à feu nu ou à la vapeur ne sont pas assez considérables pour faire renoncer au système de chauffage à vapeur, qui est de plus en plus répandu dans les grandes usines.

Cuve à filtrer. — La filtration sur faux fond peut s'effectuer soit avec la cuve matière, soit avec une cuve à filtrer.

CUVE MATIÈRE FILTRANTE. — Quand la cuve matière doit servir à la fois au brassage et au soutirage (fig. 35), elle porte un faux fond mobile, formé de plusieurs secteurs percés d'orifices assez fins pour retenir les drêches et laisser passer le mout.

Le faux fond est tantôt en tôle, tantôt en cuivre, tantôt en bronze.

Les faux fonds en fer ont l'inconvénient de se rouiller, surtout dans les brasseries où le travail n'est pas continu. Les faux fonds en cuivre sont bien meilleurs ; ils sont plus propres, durent beaucoup plus longtemps et conservent une valeur assez grande quand on veut s'en défaire pour les remplacer. Les faux fonds en bronze, qui sont coûteux, ont l'avan-

tage sur les faux fonds en cuivre d'être moins flexibles, plus résistants et de moins s'incurver sous le poids des drèches. Ils permettent aussi d'augmenter beaucoup le nombre des perforations, mais ce n'est pas là un avantage, car l'expérience pratique a démontré que les nouveaux faux fonds à perforations très nombreuses ne donnent pas une filtration plus rapide que les anciens; bien au contraire, il arrive fréquemment, avec les faux fonds en bronze qui portent de 60.000 à 120.000 trous au mètre carré, que les orifices s'obstruent rapidement parce qu'ils sont trop petits. La filtration est plus longue, et on doit procéder fréquemment à des nettoyages très dispendieux.

L'augmentation du nombre des perforations ne paraît donc pas jouer un rôle avantageux dans la vitesse du soutirage, et les anciennes cuves dont les perforations varient de 20.000 à 45.000 trous au mètre carré donnent une filtration au moins aussi rapide que les nouveaux faux fonds à perforations plus nombreuses.

La forme des orifices (fig. 42) est variable. Tantôt le faux fond est percé de trous coniques, évasés vers le dessous, tantôt de fentes de 15 millimètres de long, taillées en biseau, la petite ouverture tournée vers le haut. Les fentes sont préférables: la surface de filtration est plus considérable, les obstructions sont moins à craindre. Elles donnent une filtration plus rapide que les trous, mais elles sont plus difficiles à percer que les trous ronds.

Le faux fond occupe toute la surface de la cuve. Il est entièrement perforé, sauf sur le bord, où on réserve une partie pleine pour éviter que la drèche ne s'écarte des parois. Il doit être parfaitement horizontal. Il est bon de ne laisser entre le faux fond et le fond véritable qu'une distance très faible, 6 à 10 millimètres par exemple, sinon on risque d'y accumuler une grande quantité de boue et de folle farine lors de l'empâtage.

Le fond de la cuve porte un certain nombre d'orifices correspondant à des tuyaux de soutirage qui aboutissent soit à des robinets dits de *mise en perce*, placés au-dessus d'un bac dit *reverdoir*, soit à un tube fermé. Cette dernière disposition n'est pas très recommandable, quand elle ne permet pas de com-

parer les moûts qui s'écoulent des divers tuyaux. Quant au reverdoir, il est constitué par un bac en cuivre, de dimensions variables, tantôt ouvert, tantôt fermé. Il est parfois divisé en deux compartiments par une cloison longitudinale. Dans ce cas, les robinets peuvent couler sur l'un ou l'autre de ces compartiments. Quand le moût coule trouble au début du sou-

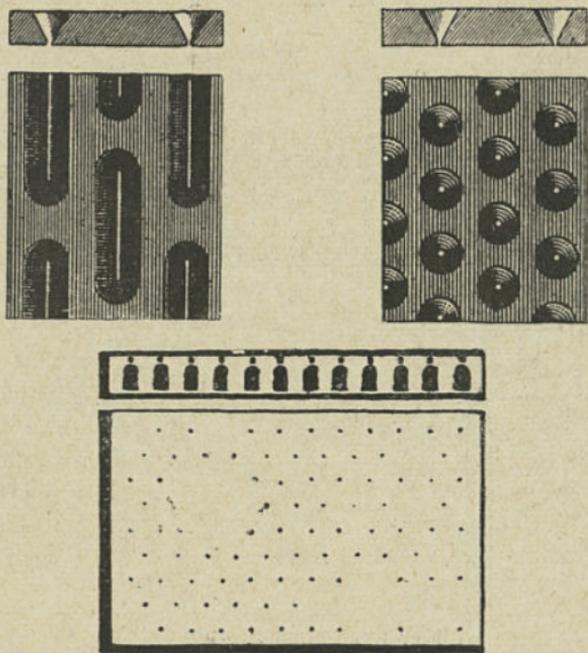


Fig. 42. — Divers modes de perforation de faux fonds.

rage, il se rassemble dans l'un des compartiments, d'où une pompe le renvoie en cuve. Quand il coule clair, on tourne les robinets au-dessus du second compartiment.

On place ordinairement deux orifices par mètre carré de surface, parfois seulement un ou un et demi dans les grandes cuves, et on les dispose le plus souvent sur un ou plusieurs cercles qui divisent la surface en anneaux de surface égale.

Les robinets de mise en perce servent à régler l'écoulement

du moût des différents points de la cuve. Ils ne doivent pas permettre, même quand ils sont trop ouverts, de rentrées d'air sous le faux fond par les tuyaux de soutirage. Il existe un certain nombre de systèmes de robinets pour éviter ces rentrées, mais le moyen le meilleur et le plus simple consiste à bien régler l'ouverture du robinet au point voulu.

Dans les méthodes par infusion, la cuve matière porte

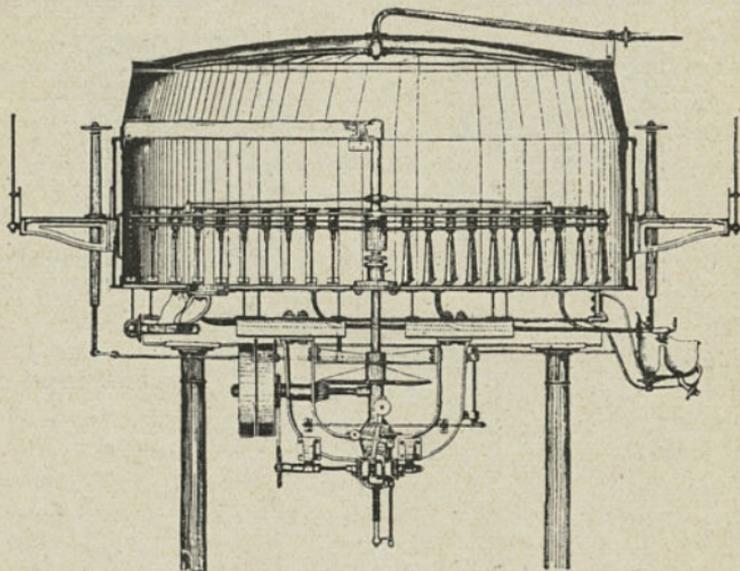


Fig. 43. — Cuve à filtrer avec piocheuse de drèches. (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville.)

un tuyau vertical, appelé *faux bucq*, qui communique par sa partie supérieure avec la bêche à eau chaude et par sa partie inférieure avec un tuyau horizontal qui se raccorde lui-même avec chacun des tuyaux de soutirage. Ce dispositif permet d'envoyer l'eau chaude dans la cuve par le dessous du faux fond.

La cuve matière est enfin munie d'une porte d'évacuation des drèches.

CUVE A FILTRER. — Dans un grand nombre de brasseries,

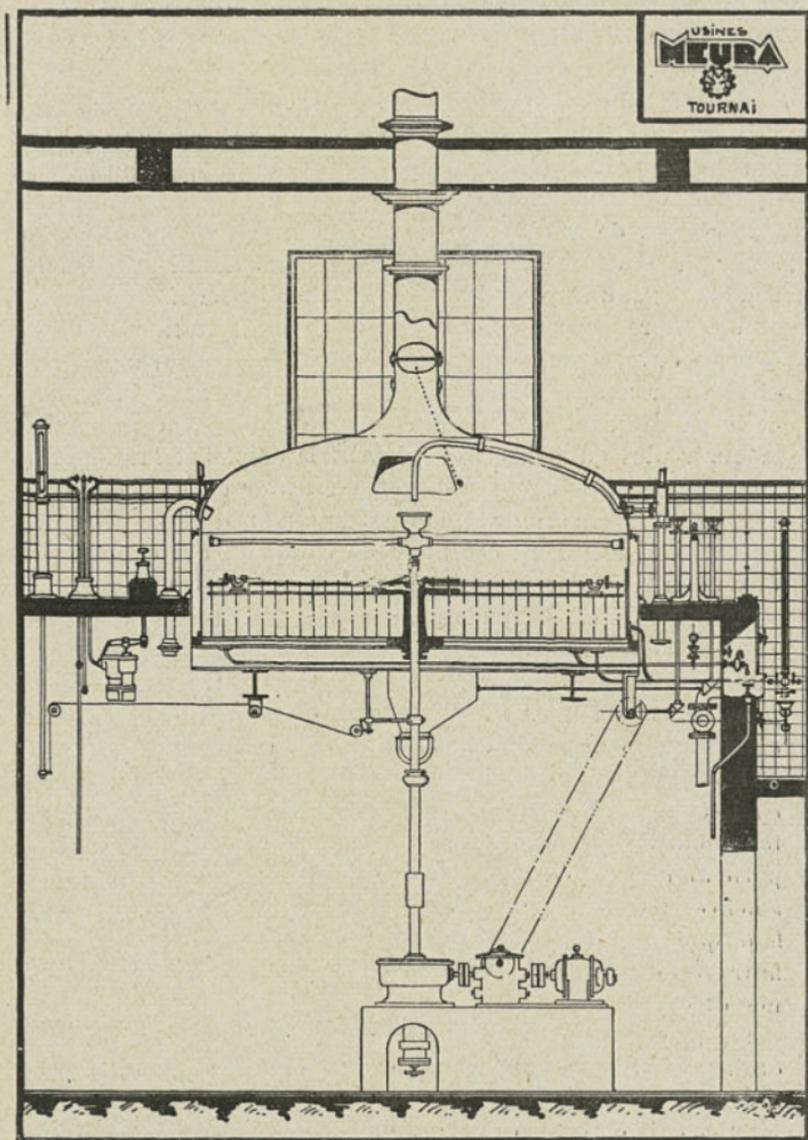


Fig. 44. — Cuve de filtration. (Usines Meura, à Tournai, Belgique.)

la saccharification et le soutirage se font aujourd'hui dans deux appareils différents, la cuve matière, ou le macérateur, et la cuve à filtrer ou le filtre à mouls.

La cuve à filtrer (fig. 43 et 44) est construite comme une cuve matière, mais elle n'a pas d'agitateur. Les observations faites plus haut au sujet des faux fonds, des perforations, des tuyaux de soutirage sont applicables aux cuves à filtrer. On dispose à l'intérieur de la cuve une piocheuse formée de palettes qui labourent la drêche et bouchent les fissures qui se produisent pendant le soutirage et les lavages. Un dispositif de volants ou de leviers permet d'élever plus ou moins le râteau-piocheur dans la cuve et de donner aux palettes une inclinaison plus ou moins accentuée, afin de faire varier l'angle que fait le plan de la palette avec la direction du mouvement. On peut ainsi labourer plus ou moins profondément la drêche et la diriger à volonté, à la fin de l'opération, vers une ouverture d'évacuation.

Dans le système Hellwig, le vagueur, animé d'un mouvement de rotation très lent, est muni de couteaux qui coupent la drêche en la déplaçant horizontalement sans mélanger verticalement les couches. Pendant le lavage des drêches, ces couteaux descendent peu à peu et ne laissent intacte au fond qu'une couche d'épaisseur relativement faible, nécessaire pour servir de filtre. Ces couteaux découpent des surfaces cylindriques concentriques distantes de 5 centimètres, et l'eau de lavage qui s'infiltré par les fentes n'a donc à épuiser qu'une épaisseur de 2^{cm},5 de chaque côté. On peut donner aux couteaux une inclinaison variable. Dans certains appareils, la cuve porte au-dessous du piocheur de drêches un vagueur relevable à hélice : l'appareil peut ainsi être utilisé comme cuve matière ; le propulseur à hélice sert pour le brassage ; on le relève quand le travail est terminé, et on utilise le piocheur pour le lavage des drêches.

Le piocheur dédrêcheur des cuves de filtration possède ordinairement un mouvement de rotation lent pour le piochage, et un mouvement plus rapide pour le dédrêchage. La montée et la descente de l'ensemble se font par pression hydraulique.

Certaines cuves de filtration portent sur le collecteur un

robinet unique; la batterie de soutirage ne sert plus qu'à la mise en perce : le réglage de l'écoulement se fait ensuite par le seul robinet, ce qui améliore beaucoup l'épuisement et la rapidité de filtration. On dispose souvent aussi, dans les cuves modernes, un double fond à circulation d'eau chaude, pour éviter le refroidissement de la masse au-dessous de 72°-73° pendant le soutirage et les lavages.

Filtre à mouës. — Le filtre à mouës (fig. 45, 46, 47, 48 et 49) se compose en principe d'un certain nombre de plateaux en fonte alternant avec des cadres vides. Les plateaux et les cadres sont serrés les uns contre les autres et reposent, par des oreilles latérales, sur deux tirants parallèles sur lesquels ils glissent. Ils sont placés entre deux sommiers, l'un fixe, l'autre mobile. Le serrage se fait par une presse hydraulique centrale ou par deux vis placés parallèlement à chacun des tirants ou électriquement. Chaque plateau est entouré d'une toile et placé contre le cadre voisin de manière à former avec leurs bords une cloison étanche. Il y a ainsi, entre deux plateaux séparés par un cadre, un espace vide constitué par l'intérieur du cadre (fig. 47, 48 et 49), dans lequel s'accumule la matière à filtrer. La surface interne des plateaux est tantôt cannelée de rigoles profondes, tantôt munie de grilles, suivant les maisons de construction. Chaque plateau porte un robinet inférieur. La matière à filtrer arrive ordinairement par un canal situé à la partie supérieure des cadres et des plateaux et faisant corps avec eux. Les eaux de lavage arrivent par deux canaux qui longent : l'un un des angles supérieurs du filtre, l'autre l'angle inférieur opposé en diagonale. Des dispositifs spéciaux assurent l'évacuation de l'air. Pour pouvoir faire varier le versement, on a recours soit à l'interposition d'une plaque métallique avec modifications dans certaines parties de la robinetterie (filtre Meura), soit à un tube de niveau qui permet de régler la hauteur du liquide au même niveau que celui des drèches dans l'appareil (filtre Gillmann). Au-dessous du filtre se trouve une auge avec vis transporteuse pour évacuer automatiquement les drèches dès leur sortie des cadres.

La section des cadres est tantôt carrée (filtre Meura), tantôt

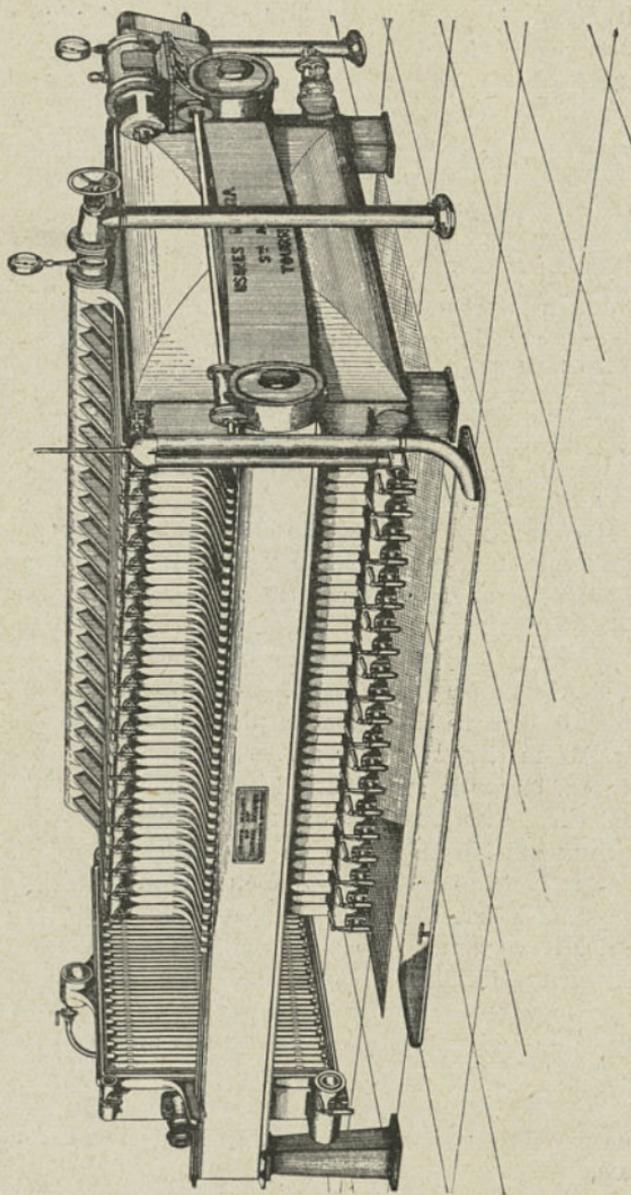


Fig. 45. — Filtre à mouts Meura. (Usines Meura, à Tournai, Belgique.)

circulaire (filtre Gillmann). Les figures 45 et 46 représentent ces deux appareils, qui sont les plus répandus dans les brasseries françaises.

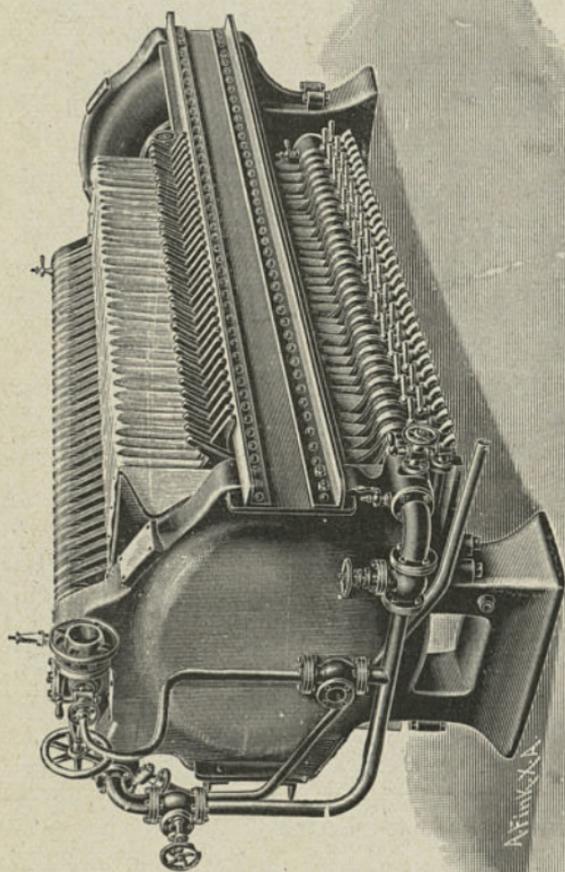


Fig. 46. — Filtre à moûts, système Gillmann.
(Société strasbourgeoise de constructions mécaniques à Lunéville.)

La matière à filtrer arrive par le canal central, qui communique avec les cadres : elle vient donc remplir peu à peu les cadres. Le liquide filtre à travers les toiles des plateaux situés

à droite et à gauche et s'écoule par les robinets des plateaux, dans une nochière placée au-dessous. Les tourteaux de drèches se forment ainsi dans les cadres, dont le volume doit être cal-

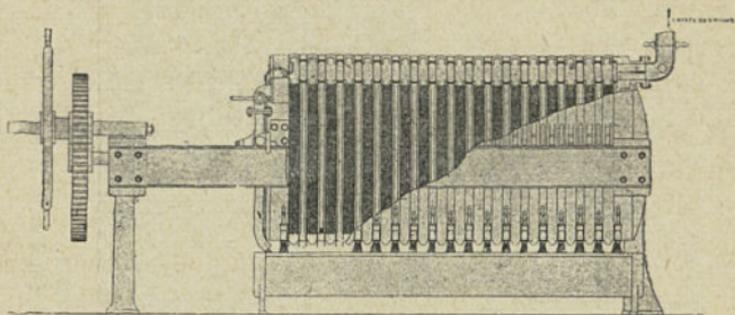


Fig. 47. — Coupe schématique montrant le fonctionnement d'un filtre à mouts Meura pendant le soutirage de la première trempé.

culé de manière à pouvoir contenir la totalité des drèches du versement maximum du filtre (fig. 47). Quand toute la trempé est entrée dans le filtre, l'écoulement du moût fort s'arrête.

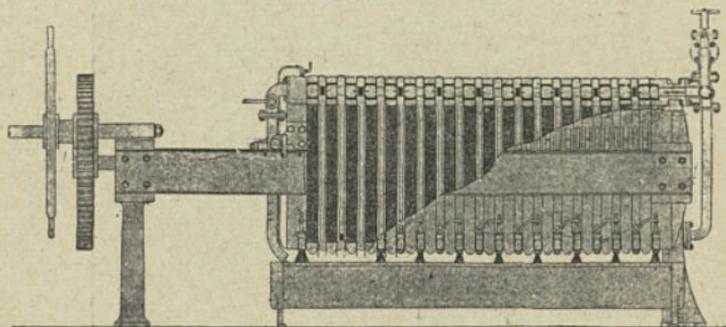


Fig. 48. — Coupe schématique montrant le fonctionnement d'un filtre à mouts Meura pendant les lavages, ceux-ci s'effectuant de haut en bas.

Il faut alors procéder au lavage. Les figures schématiques 48 et 49 nous permettent de comprendre aisément la marche de cette opération. L'arrivée de l'eau à la température voulue peut se faire par le haut ou par le bas du filtre; on peut ainsi

procéder au lavage des drèches de haut en bas (fig. 48) ou de bas en haut (fig. 49). Dans le lavage de haut en bas, on voit que l'eau pénètre dans les plateaux pairs du filtre, dont les robinets sont fermés ; elle traverse les tourteaux de drèches des cadres situés à droite et à gauche et sort par les robinets des plateaux impairs qui sont ouverts. Dans le lavage de bas en haut, le fonctionnement est le même ; mais l'eau entre par le bas des plateaux impairs du filtre, dont les robinets sont fermés, et traverse les tourteaux de drèches des cadres situés

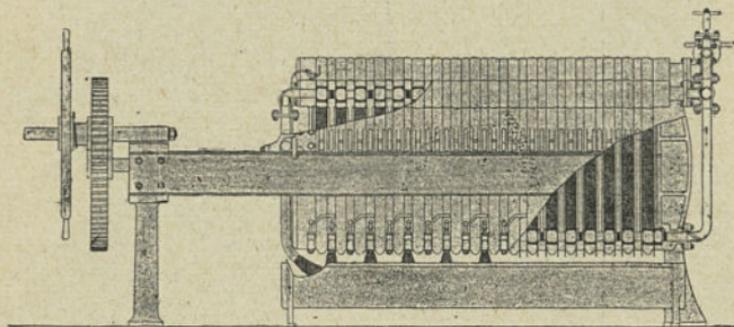


Fig. 49. — Coupe schématique montrant le fonctionnement d'un filtre à mouls Meura pendant les lavages, ceux-ci s'effectuant de bas en haut.

à droite et à gauche. Les liquides de lavage qui se réunissent en haut suivent le canal latéral supérieur du filtre et viennent s'écouler, par le tube de retour qu'on voit à la gauche de la figure 49, dans la noyère inférieure. L'épuisement est forcément rapide et excellent, vu la faible épaisseur de la couche de drèches dans chaque cadre.

Quand le travail est terminé, on ferme l'arrivée des eaux de lavages ; on laisse égoutter quelque temps les robinets et on desserre le filtre. Les drèches accumulées dans les cadres tombent d'elles-mêmes dans l'auge inférieure, au fur et à mesure qu'on déplace les plateaux de la droite vers la gauche. Les toiles sont alors enlevées et leur nettoyage est assuré par l'emploi d'une laveuse à mouvement alternatif et à tambour intérieur représentée par la figure 50. Elle se compose de deux

tambours dont un extérieur en tôle d'acier de forte épaisseur spécialement galvanisée et un tambour intérieur en cuivre rouge ou jaune, exécuté d'une seule pièce entièrement perforée et embouti.

Quatre chicanes plissées à l'intérieur et également perforées assurent un jaillissement de l'eau sur les toiles, ce qui améliore

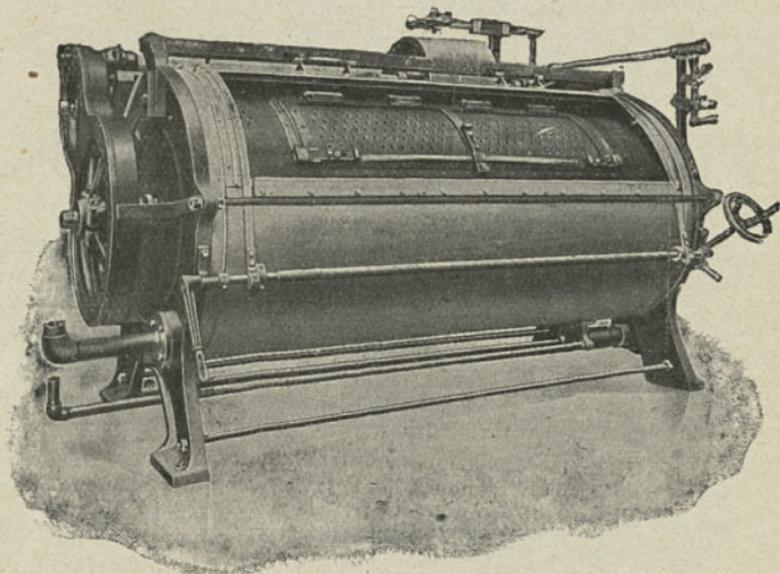


Fig. 50. — Laveuse de toiles, couvercle ouvert. (Usines Meura, à Tournai, Belgique.)

le rendement. Le couvercle extérieur est rendu étanche au moyen d'un joint. Le mouvement est réversible et suivant l'emplacement ce mouvement peut être fixé soit sur le côté, soit en haut ou derrière. Un dispositif de sûreté à vis sans fin est placé à côté de la machine, servant à donner toute sécurité et permettant d'amener la porte intérieure en regard de la porte extérieure.

Chaudières à houblonner. — Ces chaudières servent à la cuisson et au houblonnage du moût. Elles sont identiques aux chaudières à trempes que nous avons déjà décrites, et

quand elles sont munies d'un agitateur, elles peuvent être

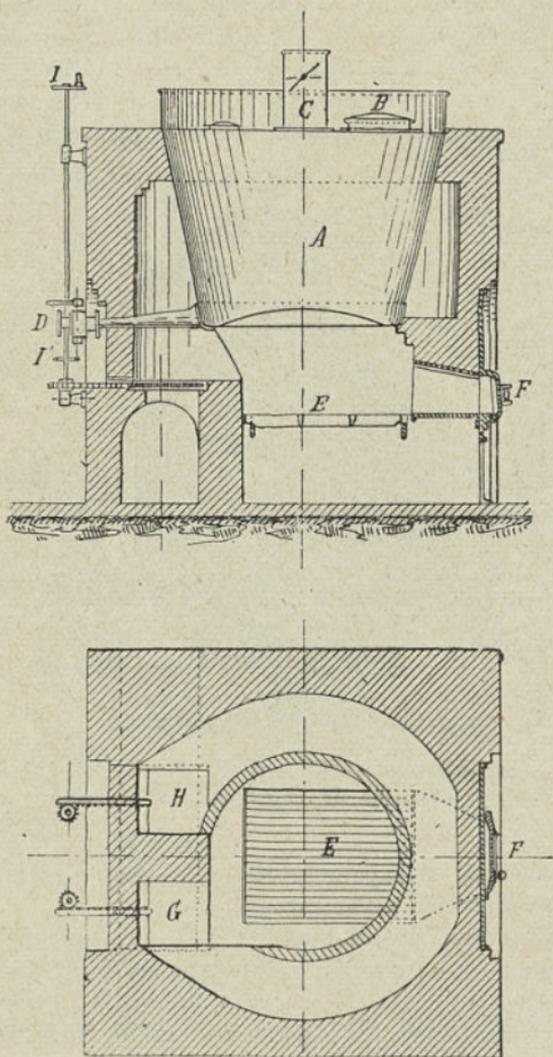


Fig. 51. — Chaudière à houblonner chauffée à feu nu. (Crépelle-Fontaine, à La Madeleine-lès-Lille.)

utilisées à volonté pour le brassage, la cuisson des trempes ou la cuisson des moûts. L'agitateur n'est pas indispensable, mais il doit cependant être considéré comme très utile pour l'amélioration de l'épuisement du houblon et pour les facilités qu'il donne en vue de l'emploi de la chaudière dans les diverses opérations du brassage. Cet agitateur peut être soit une hélice,

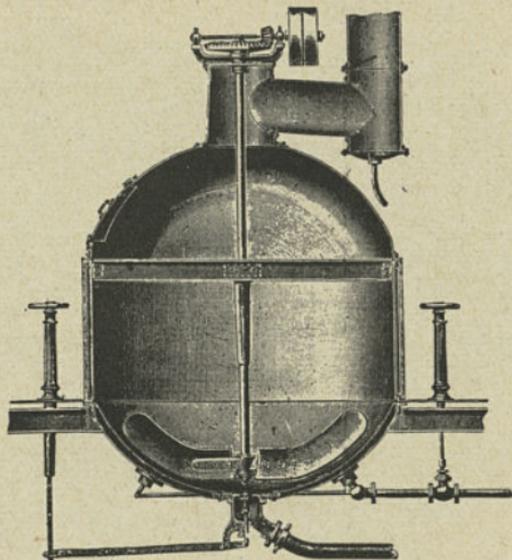


Fig. 52. — Chaudière à houblonner, fer et cuivre ou tout cuivre. (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville.)

soit le serpentin de vapeur rotatif dont nous avons parlé à propos des chaudières à trempes.

Les chaudières à houblonner sont tantôt en tôle d'acier, tantôt en cuivre, ce dernier métal étant indispensable pour le chauffage à feu nu; elles sont ordinairement de forme ronde, et la cuisson s'y fait le plus souvent à l'air libre. Quelques appareils permettent cependant la cuisson sous pression. A la partie supérieure se trouve ordinairement, dans les appareils modernes, un couvercle en forme de dôme, avec portières et une cheminée d'appel pour entraîner les vapeurs (fig. 52 et

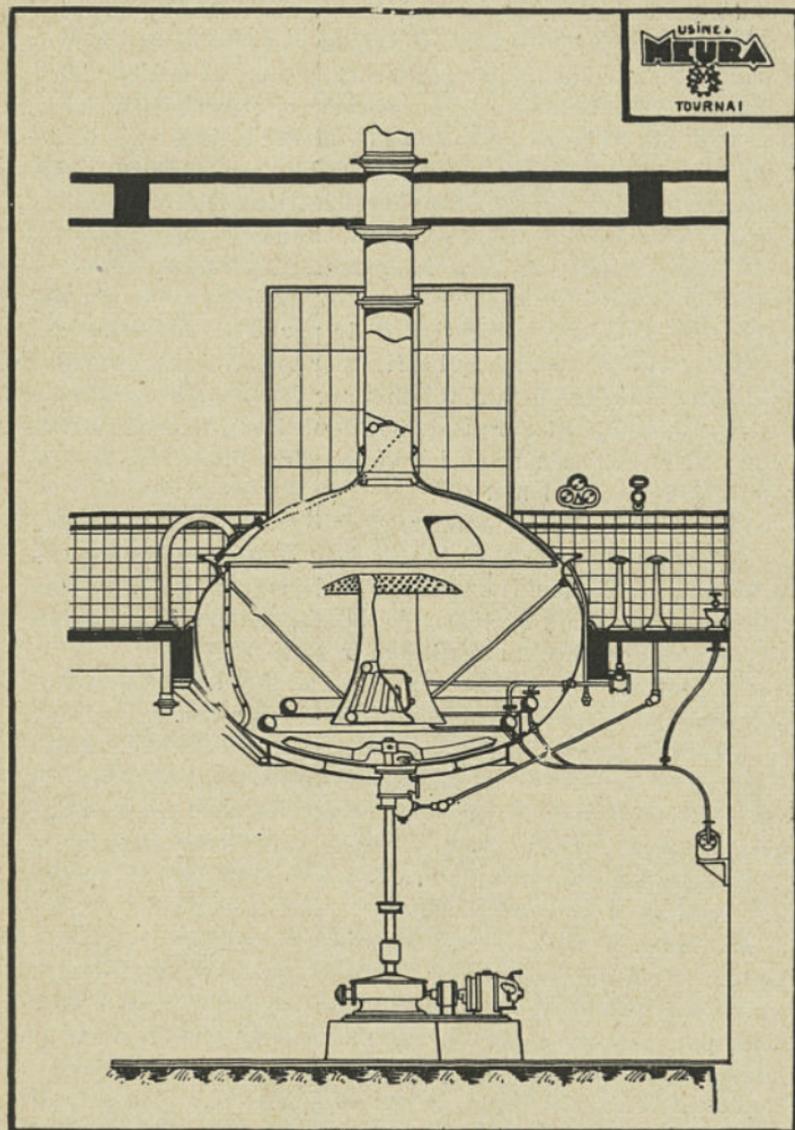


Fig. 53. — Chaudière à moūts avec surcuseur. (Usines Meura, Tournai, Belgique.)

53). Dans les appareils anciens, dont un modèle est représenté par la figure 51, le couvercle est plat et porte deux ou trois orifices qu'on peut fermer par des chapeaux, et une cheminée centrale. Parfois le couvercle est concave, et au milieu s'élève un tuyau dont la base est percée de trous : le liquide en pleine ébullition sort alors par le trou central, se répand dans le couvercle et rentre par les trous dans la chaudière. On obtient ainsi une aération continue du moût, et on évite les projections de liquide au dehors. Dans le système Mascaux, la cheminée centrale porte une ouverture réglable. Le courant de vapeur provoque ainsi une aspiration d'air par cette ouverture : le moût à l'état de mousse qui arrive par cet orifice rencontre ce courant d'air, se condense, retombe sur le couvercle de la chaudière et rentre par les trous du pourtour. Ce système permet de condenser instantanément les vapeurs du moût, même sous ébullition très violente.

Le chauffage de la chaudière se fait soit à feu nu (fig. 51), soit à la vapeur (fig. 52 et 53), et dans ce dernier cas on peut employer soit la double enveloppe seule, soit les anneaux fixes seuls, soit les deux systèmes combinés, soit enfin la double enveloppe associée au serpentín rotatif.

On peut aussi avantageusement adjoindre aux anneaux de chauffage un corps de chauffe vertical et entouré d'un manteau en cuivre rouge avec brise mousse (fig. 53). On chauffe le corps central, dit surcuiseur, à une pression nettement supérieure à celle des anneaux ; le mouvement ascensionnel du moût se produit avec violence au centre et le moût vient déferler en nappes minces sur le brise mousse. L'évaporation horaire est ainsi beaucoup augmentée.

Panier à houblon. — La séparation des cônes de houblon se fait fréquemment au moyen d'un panier à houblon, dont il existe de nombreux modèles. Certains appareils sont constitués par une caisse métallique fermée par un couvercle et munie d'un faux fond démontable. On y fait arriver le moût bouillant venant de l'échancrure ; les cônes sont retenus, et le moût qui a traversé le faux fond est envoyé au bac par une pompe. D'autres dispositifs comportent un panier cylindrique en tôle perforée, à l'intérieur duquel arrive le moût

bouillant. On y adjoint souvent des appareils de pressurage du houblon, par vis ou pression hydraulique, et de lavages à l'eau chaude.

Croix écossaise. — On emploie très fréquemment dans la filtration en cuve la croix écossaise pour l'arrosage des drèches à l'eau chaude. Cet appareil est placé soit sur la cuve matière, si elle sert à la filtration, soit sur la cuve à filtrer. Il se compose le plus souvent d'un vase ouvert, monté sur un tourillon et placé sur l'axe central de la cuve. A ce vase sont adaptés deux, trois ou quatre tuyaux en cuivre percés de trous et d'une longueur égale au rayon de la cuve à filtrer. L'eau chaude arrive dans le vase central et s'écoule par les trous percés sur les tuyaux en produisant, comme dans le tourniquet hydraulique, une rotation de la croix autour de l'axe. Dans d'autres installations, la croix est montée sur billes et raccordée par une canalisation close à un réservoir d'eau placé au-dessus. La rotation ne doit pas être trop rapide, et une vitesse de 5 à 10 tours à la minute semble suffisante, sinon l'eau d'arrosage se trouve projetée contre les parois de la cuve et sur le bord des drèches, au lieu d'être répartie régulièrement sur toute leur surface. Pour que la croix écossaise fonctionne bien, le mieux est de percer les trous à la partie inférieure du tuyau au voisinage de l'axe, afin que la partie centrale des drèches reçoive l'eau directement, et de placer les trous latéralement à mesure qu'on s'éloigne de l'axe, en augmentant leur nombre de plus en plus, puisque la surface de drèches à arroser augmente. En supposant qu'on partage le bras à partir du centre en parties égales d'un décimètre par exemple et qu'il y ait deux trous dans la première section, il devra y en avoir 2×3 , 2×5 , 2×7 , etc., dans la deuxième, troisième, quatrième, etc., section. En général, si A est le nombre de trous de la section centrale, il devra y avoir ce nombre multiplié par 3, par 5, par 7, etc., dans les sections suivantes..

La croix écossaise Briggs permet d'obtenir un débit d'eau qui croît au fur et à mesure que la vitesse de filtration augmente. Chaque bras est divisé en deux dans le sens de la longueur par une cloison verticale : d'un côté on a une ligne de trous et de l'autre côté trois lignes. En tournant de 180° l'un

des bras ou les deux bras, on peut faire couler l'eau à volonté soit par une rangée de trous sur les deux bras, soit par une rangée sur un bras et par trois rangées sur l'autre, soit par trois rangées sur les deux, ce qui permet de doubler ou de tripler le débit d'eau.

Autres appareils utilisés pour le brassage. — Les pompes

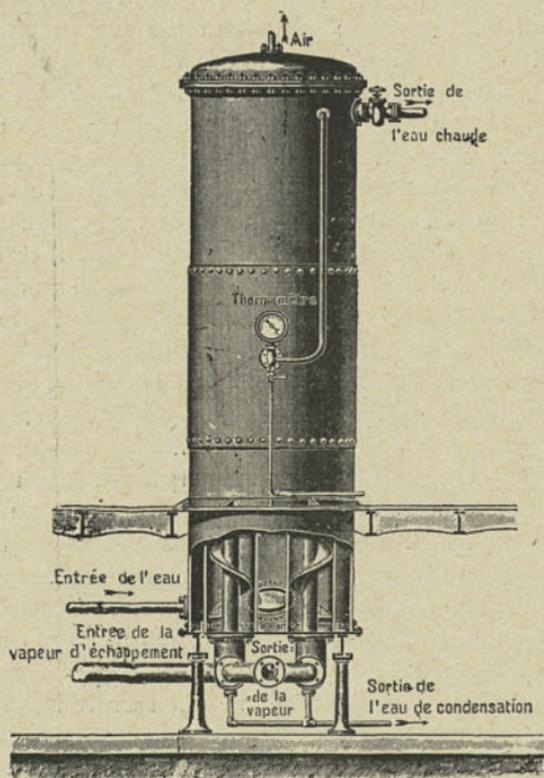


Fig. 54. — Réchauffeur d'eau à contre-courant. (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville.)

sont employées dans le travail du brassage, soit pour envoyer la masse de la cuve matière dans la chaudière à trempes, soit inversement pour renvoyer la trempe bouillante dans la cuve.

On utilise surtout dans ce but les pompes centrifuges, qui ont l'avantage d'avoir un débit rapide et d'être peu encombrantes, et parfois aussi les pompes à piston.

On emploie également une pompe centrifuge pour envoyer le brassin dans le filtre à mouls quand le macérateur est placé au-dessous du filtre. La canalisation de refoulement de cette pompe est munie ordinairement d'un tube de sûreté qui renvoie la matière au macérateur, quand la pression dépasse les limites convenables.

La préparation de l'eau chaude se fait ordinairement dans une bêche chauffée par un serpentín de vapeur. Dans les brasseries à feu nu, on chauffe l'eau dans les chaudières, et l'emploi d'un réchauffeur qui utilise les gaz qui s'échappent des foyers est économique. On utilise aujourd'hui beaucoup les réchauffeurs qui utilisent mieux la vapeur que les bèches ordinaires à serpentín. Ils sont constitués en principe (fig. 54) par un cylindre métallique parcouru par les tuyaux de vapeur d'échappement. L'eau entre à la partie inférieure et sort chaude à la partie supérieure.

Un système très économique consiste à placer la bêche à eau chaude, qui est alors constituée par un corps cylindrique en tôle, entre les générateurs et la cheminée. Elle récupère ainsi la chaleur des gaz qui s'échappent des foyers des générateurs; on la place alors sous la pression de la bêche à eau froide située au-dessus.

Pour obtenir facilement de l'eau à la température voulue, on emploie les mélangeurs constitués par une boîte cylindrique en cuivre ou en fonte, à la base de laquelle arrivent l'eau chaude et l'eau froide par deux tuyaux opposés, munis de robinets qu'on règle à volonté. Le mélange se fait dans le cylindre, et l'évacuation a lieu par un tuyau à la partie supérieure. Un thermomètre plongé dans l'eau à la sortie permet d'en connaître à tout instant la température, et celle-ci est réglée par l'ouverture plus ou moins grande des robinets d'eau chaude et d'eau froide.

Disposition des appareils de brassage. — On peut disposer les appareils de brassage soit en cascade complète, soit en cascade partielle. Dans la cascade complète (fig. 55), on place

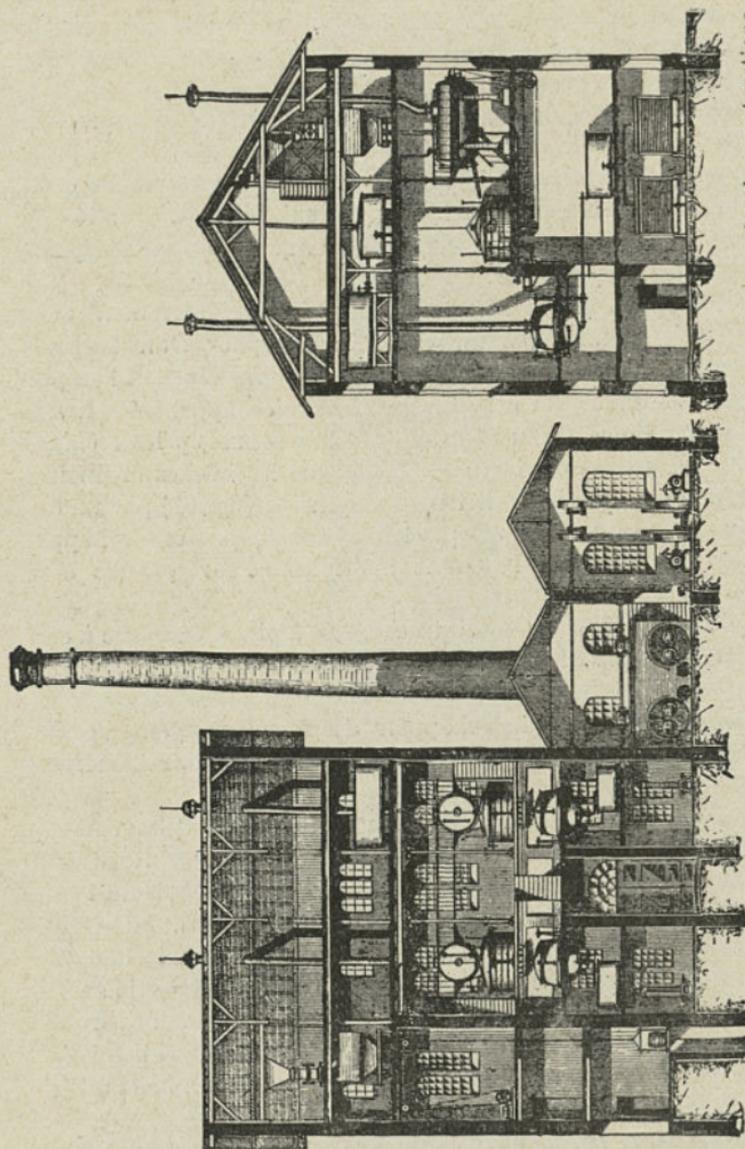


Fig. 53. — Vue d'une brasserie en cascade avec macérateur. (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville.)

en haut le moulin qui alimente directement la trémie où se

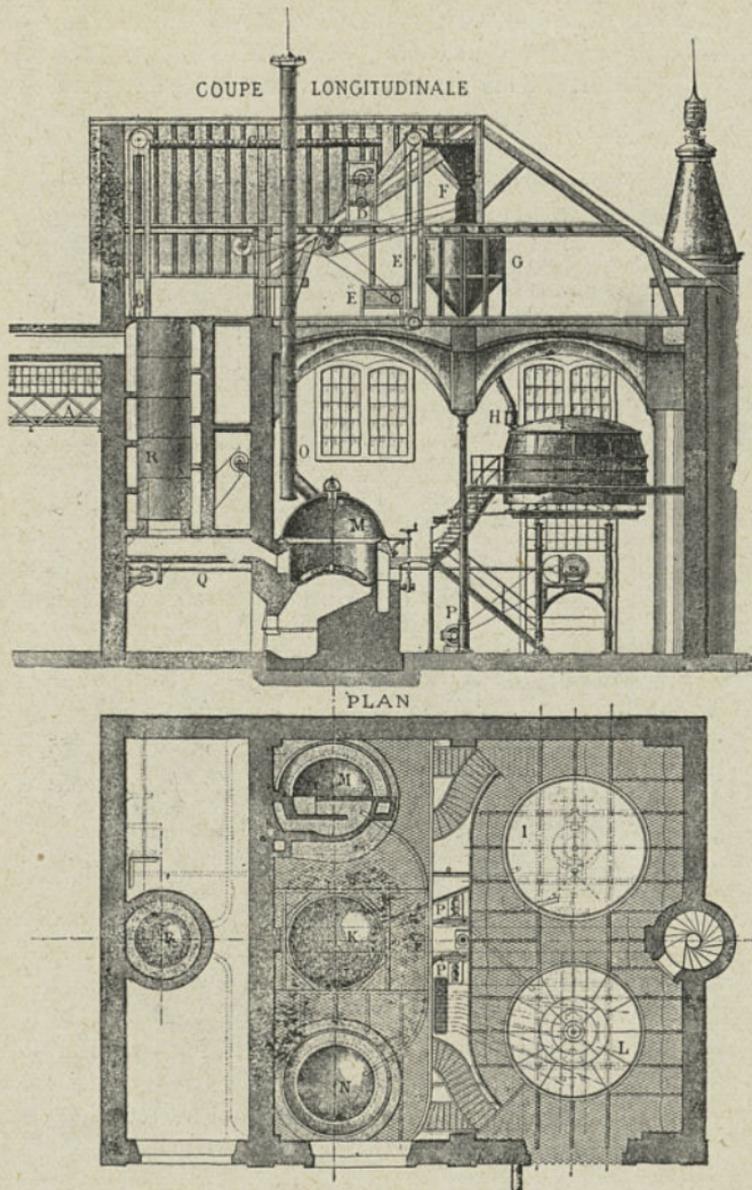


Fig. 56. — Brasserie à feu nu. (Diebold, à Nancy.)

rassemble la mouture. Au-dessous de la trémie se trouve le macérateur ou la cuve matière ; puis, plus bas, la cuve à filtrer, placée elle-même au-dessus des chaudières à trempes et à houblonner. La cascade se complète par les bacs et les

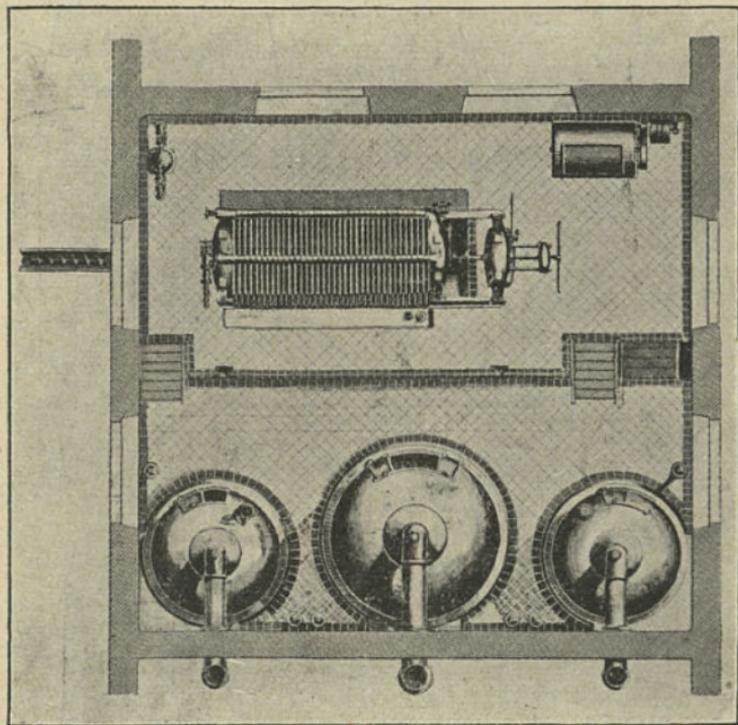


Fig. 57. — Salle de brassage avec filtre à mouts. Plan.
(Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville)

réfrigérants disposés au-dessous de la chaudière à houblonner et au-dessus des cuves de fermentation. Avec cette installation, on réduit au minimum l'usage des pompes, qui ne servent que pour renvoyer dans la cuve matière ou dans le macérateur les trempes portées à l'ébullition dans la chaudière, mais on doit disposer d'un bâtiment très élevé. En outre, le travail en salle

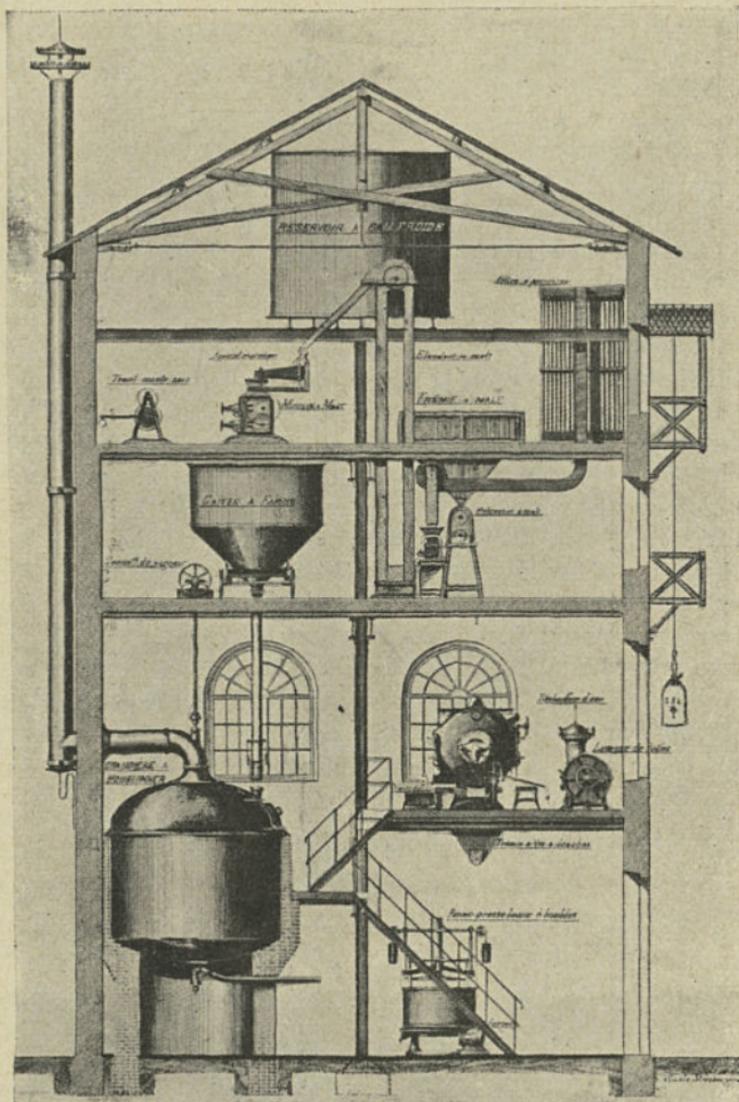


Fig. 58. — Salle de brassage avec filtre à moûts. Coupe.
 (Société strasbourgeoise de constructions mécaniques, à Lunéville.)

de brassage est assez pénible à cause des montées et descentes continuelles qu'occasionne la conduite de tous les appareils superposés du brassage. On est enfin amené, en général, à placer les bacs et les réfrigérants assez près du sol, et nous verrons que cette position n'est pas recommandable.

Dans la cascade partielle, on dispose deux ou trois étages d'appareils au lieu d'un seul. On place, par exemple, successivement en haut le moulin, puis la trémie à malt, la cuve matière et en bas la chaudière à trempes, et on dispose la cuve à filtrer au même niveau que la cuve matière et la chaudière à houblonner au niveau de la chaudière à trempes (fig. 56). Il faut, dans ce cas, faire passer au moyen d'une pompe le contenu de la cuve matière dans la cuve à filtrer : le moût est ensuite soutiré directement en chaudière. On adopte aujourd'hui beaucoup la disposition qui consiste à placer le macérateur, les chaudières à trempes et à houblonner au même niveau, et en retrait et légèrement en charge sur ces appareils, la cuve à filtrer ou le filtre à moûts (fig. 57 et 58). Cet agencement est très pratique, car tous les appareils sont à peu près au même niveau ; leur surveillance et leur manœuvre sont ainsi très faciles.

Le moût houblonné qui a traversé le panier à houblon est envoyé à l'aide d'une pompe sur les bacs, qui sont placés à l'abri des poussières, à la partie supérieure de la brasserie, et souvent dans un corps de bâtiment séparé.

Description des principales méthodes de brassage.

Les méthodes employées pour l'empâtage et le brassage proprement dit peuvent se rapporter à trois types principaux :

1° Les méthodes de brassage *par infusion*, dans lesquelles on produit l'élévation de température rapidement, par des additions graduelles d'eau chaude, sans jamais soumettre à l'ébullition aucune des parties du mélange ;

2° Les méthodes de brassage *par décoction*, dans lesquelles l'élévation de température est réalisée par le chauffage à l'ébullition d'une fraction de la trempe et le retour de cette partie

chauffée au contact de la partie tiède restée dans la cuve matière ;

3° Les méthodes *mixtes*, qui comprennent une trempe de décoction chauffée à l'ébullition et une trempe d'infusion obtenue par addition d'eau chaude.

Les méthodes par infusion et par décoction, autrefois très nettement séparées, ont aujourd'hui beaucoup de points communs par suite de l'emploi des macérateurs et des grains crus. L'adjonction de maïs ou de riz au malt exige en effet une transformation préalable de l'amidon du grain en empois, et dans les procédés d'infusion, cette opération s'effectue souvent en portant à l'ébullition une fraction de la trempe de malt pur avec le grain à employer, et en faisant rentrer ensuite la masse en cuve matière au contact de la partie tiède.

Le brassage par infusion est encore en usage dans quelques rares brasseries de fermentation haute, notamment dans le nord de la France et la Belgique. Il subsiste aussi en Angleterre. Le brassage par décoction, d'origine bavaroise, s'est répandu dans les brasseries de fermentation basse, et il règne en maître en Allemagne, en Autriche et dans les brasseries françaises de fermentation basse. Cependant, il n'y a pas une relation indispensable entre les deux modes de fermentation et les deux modes de brassage : en effet, certaines brasseries fabriquent par décoction des bières fermentées par une levure haute, et d'autres, notamment en Amérique, brassent par infusion des bières de fermentation basse. Enfin, les méthodes de brassage mixtes sont aujourd'hui très répandues en Belgique et dans le nord de la France et de l'Allemagne : elles s'appliquent surtout à la fermentation haute.

Méthodes de brassage avec malt pur. — Nous étudierons d'abord les méthodes de brassage avec malt pur.

Méthodes par infusion. — Les méthodes par infusion sont très nombreuses et comportent un grand nombre de variétés. Nous indiquerons seulement les principales.

PREMIÈRE MÉTHODE. — Le malt est empâté avec de l'eau tiède, à raison de 120 à 150 litres d'eau par 100 kilogrammes de malt, soit en cuve matière, soit avec un hydrateur, de manière que la température finale de la masse, très épaisse, soit de

40° à 50°. On vague jusqu'à ce que la masse soit bien homogène ; puis on laisse en repos quinze à vingt minutes. On procède alors à une première trempe en introduisant, en trente ou quarante minutes, de l'eau à 80° par le faux bucq, en vaguant de manière à obtenir dans la masse une température finale de 65°. On agite encore quelque temps, puis on laisse déposer une heure et on soutire le moût qu'on envoie en chaudière. On procède alors à la seconde trempe, dite trempe de saccharification, en ajoutant progressivement, sous forte agitation, de l'eau à 75°. Après repos de quarante à cinquante minutes, on soutire comme dans le premier cas, et on envoie cette seconde trempe rejoindre la première dans la chaudière où s'achève la saccharification totale. La drêche restée dans la cuve est alors lavée à la croix écossaise jusqu'à épuisement suffisant.

Cette méthode, très longue et très ancienne, constitue l'infusion classique à deux trempes. Elle n'est plus employée que dans les petites usines, qui disposent de malts très durs et de mauvaise qualité. Elle ne peut être réalisée qu'en cuve matière filtrante, et elle conduit, avec les malts diastasiques et bien désagrégés, à des bières vides, sans mousse et d'atténuation exagérée.

DEUXIÈME MÉTHODE. — On peut aussi opérer de la même manière, mais en ne faisant qu'une seule trempe. On empâte très épais à 45°, puis on fait arriver de l'eau à 95°-98°, de manière à atteindre plus ou moins rapidement la température de 68°-70°. On réchauffe alors lentement à 75°.

Cette méthode, beaucoup plus rapide que la précédente, peut aussi s'adapter beaucoup plus aisément aux diverses qualités de malt et au matériel dont on dispose pour le brassage.

La température d'attaque peut en effet être élevée suivant le pouvoir diastasiqne du malt, et si l'on travaille un malt bien friable et de bonne qualité, il y a avantage, comme nous le verrons, à empâter à 60°-65° au mélange, avec une quantité d'eau beaucoup plus forte. Après un stationnement variable de cinq à trente minutes à 60°-65° suivant le pouvoir diastasiqne plus ou moins élevé du malt, on monte lentement à 70°, où l'on reste quelque temps, puis à 75°. La basse température d'attaque doit être conservée avec les malts mal désagrégés,

ainsi que l'ascension lente de la température jusqu'à 70°.

Si le travail se fait en cuve matière filtrante, on laisse alors déposer et on procède au soutirage. Si la cuve matière ne sert qu'à la saccharification, on évacue dans la cuve à filtrer ou dans le filtre à mouls dès que le brassage est terminé. Si on dispose d'un macérateur ou d'une cuve à serpentín réchauffeur, on utilise les moyens de chauffage de ces appareils. On peut alors empâter moins épais, utiliser moins d'eau chaude pour l'élévation de température et en réserver davantage pour l'épuisement. Nous reviendrons sur cette question en étudiant l'emploi des appareils de brassage dans la pratique.

TROISIÈME MÉTHODE. — On fait tomber la farine de malt dans 200 litres d'eau à 70°-75° par 100 kilogrammes de malt, de manière à avoir une température finale de 60°. Quand la masse est bien homogène, on fait arriver de l'eau à 95°-98°, de manière à remonter à la température finale choisie pour la saccharification, soit 68°-70°. Après un repos de deux heures, on soutire et on lave les drêches.

Cette méthode est employée principalement en Angleterre. Elle exige un malt de bonne qualité, finement moulu et bien désagrégé à cause de la haute température d'attaque.

Méthodes par décoction. — Les méthodes par décoction sont également très nombreuses. On a, en effet, cherché, dans ces dernières années, à y introduire des variantes pour en abrégier la durée.

PREMIÈRE MÉTHODE : MÉTHODE BAVAROISE. — La méthode classique bavaroise comprend trois trempes, deux trempes épaisses et une trempe claire. L'empâtage se fait à froid, soit en cuve matière, soit au moyen de l'hydrateur, avec 250 litres d'eau par 100 kilogrammes de malt. On vague de manière à obtenir une masse bien homogène; puis on ajoute lentement de l'eau chaude pour arriver à 35°.

Dès que cette température est atteinte, on prélève avec une pompe, sans cesser d'agiter, un tiers environ du moût pâteux, et on l'envoie dans la chaudière à trempes : c'est la première trempe épaisse ou première *Dickmaische*. Pendant que le reste du brassin demeure au repos dans la cuve matière, on chauffe progressivement la trempe en agitant de manière à atteindre

la température de 70°-75° en un temps qui varie de trente minutes à une heure trente; puis on porte à l'ébullition en quinze ou vingt minutes. On fait bouillir de quinze à quarante-cinq minutes suivant le type de bière à produire, puis on met l'agitateur de la cuve matière en mouvement, et on fait rentrer la trempe en cuve, où la température monte à 50°. Sans cesser d'agiter, on pompe alors la seconde trempe épaisse ou seconde *Dickmaische*, constituée par un tiers environ du moût pâteux, et on la porte à l'ébullition dans la chaudière à trempes. On monte lentement à 75°, on stationne parfois un peu à cette température, puis on pousse vivement à l'ébullition, qu'on maintient de vingt à trente minutes. On ramène alors la deuxième trempe en cuve matière, où la température monte à 62°-63°.

On laisse déposer de cinq à quinze minutes, et on prélève une troisième trempe, qui est cette fois une trempe claire ou *Lautermaische*; on l'envoie en chaudière, et on la porte lentement à 75°, puis vivement à l'ébullition, qu'on maintient de quinze à quarante-cinq minutes. On fait rentrer la trempe bouillante dans la cuve, et le volume de la *Lautermaische* est calculé de telle sorte que la température finale est de 72° à 75°. On abandonne alors au repos pendant trente à quarante-cinq minutes; on soutire et on procède au lavage des drèches.

DEUXIÈME MÉTHODE. — On peut suivre la même marche que précédemment, mais remplacer la trempe claire par une trempe épaisse et faire ainsi trois *Dickmaisches*, ce qui supprime le temps de repos nécessaire pour le prélèvement de la trempe claire.

TROISIÈME MÉTHODE. — On peut abrégé la méthode classique en empâtant à 50° au lieu de 35°: on ne fait alors que deux trempes. Après l'empâtage, on laisse quelque temps au repos, puis on pompe une première trempe épaisse qu'on porte lentement à 75°. Parfois on séjourne un peu aux températures de saccharification comprises entre 60° et 72°, puis on porte à l'ébullition, et on fait rentrer la trempe en cuve, où la température monte à 62°. On prélève alors une seconde *Dickmaische* ou une trempe claire; on la porte à l'ébullition, et son retour en cuve matière élève la température à 75°. On laisse déposer

trente à quarante-cinq minutes, puis on soutire et on procède aux lavages. Cette méthode à deux trempes, très répandue, est aussi connue sous le nom de procédé de Dortmund.

QUATRIÈME MÉTHODE : BRASSAGE ABRÉGÉ. — On empâte à haute température de manière à réduire beaucoup la durée du brassage : c'est la méthode de *brassage abrégé*. L'empâtage, très épais, se fait à 62°, en ayant soin de chauffer d'avance la cuve matière. On prélève, dès l'empâtage, une trempe qu'on porte rapidement à l'ébullition. On fait bouillir cinq minutes, et on ramène en cuve, où la température monte à 70°. On abandonne alors la masse à cette température pendant une heure, puis on prélève une deuxième trempe qu'on fait bouillir pendant cinq minutes, et qu'on ramène rapidement en cuve matière de manière à avoir une température finale de 75°. On laisse déposer, on soutire et on lave. La durée du travail est ainsi réduite à deux heures, au lieu de quatre heures à quatre heures et demie que demande le brassage à trois trempes.

CINQUIÈME MÉTHODE : BRASSAGE PAR SAUTS. — Dans le travail à une trempe, on empâte à basse température (25°-37°) ; on laisse tomber une partie du brassin dans la chaudière contenant de l'eau à 80°, de manière à abaisser la température à 72°. On porte ensuite ce mélange à l'ébullition pendant un temps plus ou moins long, puis on y fait tomber le contenu froid de la cuve matière de manière à rabaisser la température à 72° et à maintenir cette température. On abandonne le brassin à la saccharification, puis on monte à la température finale de 75°-77° et on évacue en cuve à filtrer. Après repos, on soutire et on lave.

Dans le travail à deux trempes, on met moins d'eau à 80° dans la chaudière, et on empâte à 25°. Au lieu de monter à la température finale après la première trempe, on remonte alors une partie du brassin à 72° en cuve matière ; on fait bouillir le reste en chaudière pour atteindre avec cette deuxième trempe bouillante la température finale. On conçoit qu'on puisse de même brasser par sauts à trois trempes.

Nous étudierons plus loin les conditions pratiques auxquelles correspondent l'emploi de ces diverses méthodes.

Méthodes mixtes. — Ces méthodes, qui combinent à la fois

l'infusion et la décoction, sont surtout employées pour le travail des grains crus et nous les retrouverons plus loin. Avec malt pur, nous devons signaler cependant la méthode de brassage à *moût trouble* ou méthode lilloise, qui est encore employée dans quelques brasseries du Nord de la France. L'empâtage se fait à froid. Après repos, on envoie de l'eau à 70°-95° par le faux bucq, de manière à réchauffer la masse à 50° environ. On soutire alors par le faux fond une partie du moût trouble, incomplètement saccharifié, qu'on envoie dans une chaudière à trempes et qu'on porte à l'ébullition. On donne à cette trempé le nom de *masse*, et à la chaudière le nom de *chaudière à masse*. Pendant que la masse subit le chauffage, on fait arriver en cuve matière, sur le reste du brassin, une trempé d'infusion, dite *trempé de saccharification*, en ajoutant de l'eau à 90°, de manière à atteindre une température finale de 70°. On laisse reposer une heure, et on soutire le moût pour l'envoyer dans la chaudière à houblonner. Pendant ce temps, la première trempé de moût trouble est arrivée à l'ébullition; on la ramène alors en cuve matière sur les drèches; on mélange, on laisse reposer, puis on soutire et on renvoie le moût ainsi obtenu rejoindre dans la chaudière à houblonner le moût de la trempé de saccharification. On procède alors aux lavages de la drèche jusqu'à épuisement suffisant.

Cette méthode ne peut être rationnellement suivie qu'avec une cuve matière filtrante. Nous en discuterons plus loin les conditions pratiques d'utilisation.

Méthodes de brassage avec emploi de grains crus.

— Quand on associe au malt des grains crus, les méthodes précédentes doivent être modifiées. Le travail est beaucoup facilité par l'emploi d'un macérateur.

Méthodes mixtes d'infusion et de décoction avec emploi des grains crus. — PREMIÈRE MÉTHODE, AVEC MACÉRATEUR.

— On chauffe le grain cru dans le macérateur avec trois ou quatre fois son poids d'eau et 10 p. 100 de son poids de malt pour liquéfier la masse et éviter un empâtement trop fort. On monte progressivement à 80°-85°, température de gélatinisation de l'amidon. On maintient cette température trois quarts d'heure à une heure, puis on ajoute de l'eau froide de manière

à refroidir à la température choisie pour l'empâtage, et on fait tomber le malt dans le macérateur, soit au moyen de l'hydra-
teur, soit au moyen de la cuve matière. On monte avec de
l'eau chaude à 62°-65°, puis à 75°, et on évacue en cuve à filtrer
après saccharification totale. On soutire et on lave.

DEUXIÈME MÉTHODE, AVEC MACÉRATEUR. — On peut aussi
employer la même méthode en portant le mélange de malt et
de grains crus à l'ébullition, ou même à une température
supérieure à 100° en cuisant sous pression dans le macérateur
fermé, au lieu de s'arrêter à 80°-85°. Les autres parties du
travail restent identiques.

TROISIÈME MÉTHODE, AVEC CUISEUR ET CUVE MATIÈRE. —
On cuit le grain cru sous pression de 3 kilogrammes dans le
cuisseur avec deux fois son poids d'eau; pendant ce temps, on
empâte le malt en cuve matière, puis on vide le cuiseur par sa
propre pression dans la cuve, ce qui élève la température à
65°-70°. Pour éviter que l'empois à haute température ne
détruise trop de diastase à son arrivée en cuve, on vide souvent
le cuiseur dans la cuve matière à travers un *exhausteur*, simple
cheminée en tôle dans laquelle débouche le tuyau de décharge
du cuiseur, et où on provoque un violent courant d'air en
plaçant au haut de l'appareil un injecteur de vapeur. Le jet
de matière amylacée se pulvérise contre une plaque de tôle
et se refroidit en tombant dans la cheminée au contact de l'air
froid aspiré par la vapeur. Après décharge en cuve matière,
on élève, si c'est nécessaire, la température à 75° avec de l'eau
chaude, et on termine le brassage par la méthode ordinaire.

QUATRIÈME MÉTHODE, AVEC CUVE MATIÈRE ET CHAUDIÈRE
A TREMPES. — On empâte tout le malt à 50°. On prélève une
trempe qu'on envoie en chaudière, on y ajoute doucement le
grain cru en agitant, et on monte lentement à la température
de 72°-75°, où on séjourne dix minutes, puis on porte vivement
à l'ébullition qu'on maintient le temps voulu pour que tout
l'amidon soit transformé en empois. On fait alors rentrer une
partie de la trempe en cuve matière au contact du malt de
manière à avoir une température de 65°. On stationne cinq à
quinze minutes à cette température, puis on continue de faire
rentrer la trempe de manière à atteindre d'abord 70° où on

stationne jusqu'à saccharification à peu près complète, puis 73°-74°.

CINQUIÈME MÉTHODE, AVEC MACÉRATEUR. — La même méthode peut être employée avec un macérateur. On prélève alors dans le macérateur une partie de l'empâtage qu'on met en réserve, on ajoute le grain cru, on porte à l'ébullition, puis on refroidit à 70°. On fait alors rentrer la portion de malt réservée, et on termine le brassage par la méthode ordinaire.

Méthodes de décoction avec emploi des grains crus. —

PREMIÈRE MÉTHODE. — On procède au brassage ordinaire à trois trempes, mais on ajoute le grain cru en chaudière à la première trempe. On chauffe très lentement et avec précaution, en agitant constamment; on séjourne quinze ou vingt minutes à 75°, puis on porte à l'ébullition pendant trente ou quarante minutes. On fait alors rentrer en cuve matière, et on continue le travail pour les deux autres trempes par la méthode ordinaire.

DEUXIÈME MÉTHODE. — On peut aussi ajouter le grain cru à la première et à la deuxième trempe au lieu de l'introduire entièrement à la première. Les autres parties du travail restent identiques.

TROISIÈME MÉTHODE. — On procède au brassage ordinaire à deux trempes, mais en ajoutant en chaudière le grain cru à la première trempe. On empâte alors ordinairement à 35°-40°, avec 350 litres d'eau par quintal; on envoie aussitôt en chaudières à trempes environ la moitié de l'empâtage et, au bout d'une vingtaine de minutes, on fait tomber dans la masse en chaudière la farine de riz ou de maïs, après avoir ajouté 400 à 450 litres d'eau par 100 kilogrammes de farine versée. On chauffe à 75° en vingt-cinq à trente minutes; on reste quinze minutes à cette température, puis on pousse à l'ébullition, qu'on maintient une demi-heure. On fait alors rentrer la trempe bouillante au contact de l'empâtage resté à 35°-40° en macérateur; la température s'élève à 65°-67°. Après un stationnement de quinze minutes, on prélève une seconde trempe épaisse qu'on porte à l'ébullition et dont la rentrée en macérateur élève la température à 75°. On peut également atteindre cette température en chauffant à la vapeur.

QUATRIÈME MÉTHODE. — Le procédé précédent peut s'appliquer également à la décoction à une trempe. On empâte alors à 55°, on prélève une trempe qu'on porte lentement à 75°, en ajoutant peu à peu le grain cru; on maintient quinze minutes à cette température, puis on porte à l'ébullition et on fait rentrer lentement la trempe en cuve matière pour obtenir une température finale de 75°. Après saccharification et repos, on soutire et on lave.

CINQUIÈME MÉTHODE. — Si on dispose d'un macérateur au lieu d'une cuve matière, on traite les grains crus le plus souvent dans le macérateur pendant que la trempe est portée lentement à l'ébullition dans la chaudière. On empâte alors dans le macérateur à 50° les deux tiers environ du malt, puis on prélève une trempe qu'on envoie en chaudière. On ajoute le grain cru dans le macérateur, on porte lentement à 75°, puis à l'ébullition. On refroidit par addition d'eau froide à 55°, on ajoute le reste du malt et on fait rentrer dans le macérateur la trempe bouillante venant de la chaudière, pour obtenir une température finale de 75°.

Le cuiseur peut également être employé dans ces méthodes, comme en infusion. Le retour en cuve de l'empois de grain cru préparé au cuiseur remplace une trempe de décoction.

Méthodes spéciales de brassage. — Certaines méthodes de brassage ont pour but soit de récupérer l'amidon qui reste encore dans les drèches après le travail ordinaire et d'augmenter ainsi le rendement (procédé Schmitz), soit d'utiliser séparément les diverses portions de la farine (procédé Kubessa), soit d'améliorer le rendement (empâtage préalable), soit enfin d'accroître la stabilité des bières (procédé Wahl, acidification par les ferments lactiques). Ces procédés sont aujourd'hui de plus en plus abandonnés.

Procédé Schmitz par saccharification complémentaire.

— Le malt est d'abord moulu finement et empâté très épais avec de l'eau à 35°. Après brassage pendant dix minutes, on soutire 2 à 3 p. 100 de liquide diastasique, qu'on met en réserve. La masse restée dans la cuve matière est chauffée rapidement à 75° environ (la cuve matière doit, pour cette méthode, être munie d'un manteau de vapeur). Au bout d'une heure, quand

la saccharification est terminée, on porte rapidement à l'ébullition; on laisse bouillir trente minutes de manière à transformer en empois les particules d'amidon restées dans les drèches; on laisse déposer, puis on soutire le moût très chaud, à 90°-93°, et on lave les drèches. Le moût soutiré est refroidi à 75° et amené en chaudière, ainsi que les trempes de lavages. On ajoute alors la solution diastatique mise en réserve, qui saccharifie en quinze minutes l'empois d'amidon entraîné. On porte à l'ébullition après saccharification totale, et on procède au houblonnage.

Procédé Kubessa. — Ce procédé consiste à séparer la mouture en farine, gruaux et enveloppes et à travailler ces trois portions séparément. La séparation se fait au moment du concassage par l'emploi du moulin à tamis. On fait tomber d'abord les gruaux dans la chaudière à trempes contenant de l'eau à la température voulue; on porte à la température de saccharification, puis à l'ébullition, qu'on prolonge longtemps, de manière à solubiliser les portions d'amidon les plus résistantes. Cette longue ébullition n'a aucune influence nuisible sur la saveur, puisque les enveloppes sont séparées. Pendant ce temps, on empâte les enveloppes dans la cuve matière à la température désirée, puis on ramène en cuve le brassin de gruaux bouilli, de manière à obtenir une température variant entre 68° et 74°. Les enveloppes, qui contiennent beaucoup de diastase, saccharifient les gruaux. Quant à la farine, qui représente environ 20 p. 100 du malt, elle est introduite en cuve matière quand la masse atteint une température choisie à l'avance: on procède ainsi à un véritable brassage par sauts. Le brassin entier est alors envoyé dans la chaudière à trempes, où la saccharification s'achève à 78°.

Ce procédé permet d'améliorer le rendement par une meilleure utilisation des éléments constitutifs du malt, d'avoir une bière plus fine, en évitant le contact prolongé du moût avec les enveloppes et d'améliorer la filtration en cuve, par l'emploi des enveloppes intactes.

Empâtage préalable. — L'empâtage préalable ne constitue pas une méthode particulière de brassage, mais une modification plus ou moins heureuse du travail, qui s'applique

à beaucoup de procédés de brassage. Il consiste en principe à laisser la mouture en contact avec de l'eau à la température de 40°-50°, pendant huit à dix heures ; on procède ensuite au brassage par une des méthodes usuelles. Cette méthode n'est en somme qu'un retour à la vieille pratique de la brasserie ancienne, qui comportait l'empâtage la veille du brassin, dans la soirée, pour le travail du lendemain. Malgré l'augmentation de rendement qu'entraîne l'empâtage préalable, il n'est pas recommandable pour nos bières françaises, à cause des modifications de goût et des défauts de clarification qui l'accompagnent. Nous étudierons plus loin les phénomènes qui se produisent lors du contact prolongé de la mouture avec l'eau tiède. Aujourd'hui, l'empâtage préalable est de plus en plus abandonné.

Procédé Wahl. — Ce procédé consiste à faire subir à une faible fraction du brassin une acidification par les ferments lactiques. Ce levain lactique, ajouté au reste du brassin à une température convenable, relève l'acidité et semble agir très favorablement sur la stabilité ultérieure de la bière.

Petit a étudié cette méthode dans la pratique et conseille d'opérer de la façon suivante : dans une cuve en bois plus large que haute, munie d'un couvercle à trous, on empâte 3 kilogrammes de farine de malt par quintal de versement avec 21,5 d'eau à 50°-52°. On mélange bien, et on ajoute un peu d'eau bouillante, de manière à avoir une température finale de 50°. Pendant dix à douze heures, on aère fréquemment en ajoutant de temps à autre un peu d'eau bouillante, pour maintenir la température à 50°. On emploie ainsi en tout 4 litres d'eau par kilogramme de malt. On laisse alors le levain au repos pendant dix à douze heures : il se forme, par développement de ferments lactiques, une acidité de 60 à 80 grammes d'acide lactique par quintal de versement.

Ce levain ne doit pas être ajouté à l'empâtage du reste du brassin à 50° ; les bactéries continueraient leur action, on aurait trop d'acidité, des moûts louches et des collages defectueux. Il faut ajouter cette matière acidifiée dans le brassin, quand la température a atteint 60°. On arrête alors le chauffage cinq minutes, et on termine le brassage par la méthode ordinaire.

Ce procédé donne ordinairement un tranché plus net et plus rapide en chaudière, par suite de l'augmentation de l'acidité : le premier mout coule plus louche, mais les lavages sont très clairs, et la filtration est accélérée; on observe une forte augmentation de la récolte de levure (25 p. 100 en plus parfois) et une disparition des levures de fond en fermentation haute.

Il y a toujours un retard sensible, d'au moins trente ou quarante minutes, dans le rejet de la colle si on procède au collage par le haut : il faut donc coller plus tôt. Enfin, la stabilité de la bière est prolongée de huit à vingt jours à 25°; il n'y a plus de trouble de levures, et la sensibilité au froid est diminuée; cependant, ces résultats favorables ne s'observent pas toujours. Petit a noté, dans certains cas, une stabilité diminuée par rapport au témoin sans addition de levain lactique : il y a très probablement là une question de nature et d'acidité première du malt, et la méthode doit encore être soumise à l'épreuve de la pratique avant d'être bien au point pour nos bières de fermentation haute.

En Amérique, Wahl a appliqué ce procédé, avec de très bons résultats, dans un grand nombre de brasseries.

Dans le même ordre d'idées, Windisch a conseillé en Allemagne l'addition à l'empâtage, à 45°-50°, de 2 litres de levain d'un ferment lactique de distillerie, le *Bacillus Delbrucki*, par 100 kilogrammes de malt; il a observé une augmentation de rendement d'environ 2 p. 100 et une meilleure stabilité.

Étude théorique de l'empâtage et du brassage.

Il se produit, pendant les diverses opérations du brassage et de l'empâtage, des réactions et des transformations très importantes qu'il est nécessaire d'étudier d'abord au point de vue théorique, avant de les appliquer à la pratique des méthodes de brassage.

Empâtage — L'empâtage a pour objet d'assurer le mélange parfait du malt et de l'eau, de dissoudre les diastases et de les mettre en contact avec les éléments qu'elles doivent transformer. Les transformations qui se produisent pendant l'empâtage dépendent principalement de sa température et de sa durée.

Influence de la température sur l'empâtage. — La dissolution des diastases est plus rapide à chaud qu'à froid, mais la dissolution à chaud est accompagnée d'une destruction partielle des

diastases : cette destruction est déjà sensible à 45°-50°, et elle devient considérable si l'empâtage a lieu à température très élevée.

Si l'empâtage se fait à froid, les actions diastasiques restent faibles. Au contraire, à chaud, l'activité des diastases se manifeste aussitôt, et on observe alors, dès l'empâtage, les phénomènes diastasiques qui accompagnent la saccharification. Si on examine dans ces conditions l'action des diverses diastases, on constate pour l'amylase que le maltose qui se forme lors de l'empâtage va en croissant jusqu'à une température voisine de 60° et décroît ensuite. L'empâtage à haute température conduira donc à des moûts plus pauvres en maltose. Pour les diastases des matières azotées, les opinions sont assez divergentes. Il est clair que, si on admet dans le malt la présence de deux diastases protéolytiques, la peptase et la tryptase, les variations dans la température d'empâtage permettront de favoriser plus ou moins l'une de ces diastases et de faire varier par suite la composition chimique du moût sous le rapport des matières azotées. Mais, tandis que certains auteurs pensent qu'à des températures supérieures à 50° on favorise la production des albumoses et on réduit la formation d'amides, d'autres pensent, au contraire, que les températures basses sont plus favorables pour les albumoses. La première interprétation paraît s'accorder beaucoup mieux avec les résultats de Fernbach et Hubert et de Weis, que nous avons exposés à propos de l'étude des diastases ; et les différences observées proviennent très probablement de la nature des malts étudiés, dans lesquels la tryptase était plus ou moins affaiblie, et de la durée plus ou moins grande du contact.

Action de la durée sur l'empâtage. — Les actions diastasiques s'accroissent avec la durée de contact. A une même température, la proportion de maltose formée est, jusqu'à une certaine limite, d'autant plus grande que le contact est plus prolongé. Il en est de même pour la solubilisation des matières azotées, qui augmente avec la durée.

De très nombreuses études ont été faites dans ces dernières années, à propos de l'empâtage préalable, sur l'action de la durée de cette opération. Van Hest a montré le premier qu'en laissant la mouture en contact pendant un certain temps avec de l'eau à la température ordinaire, on obtient une augmentation de rendement en extrait qui peut aller jusqu'à 4 p. 100. Cette augmentation de rendement est d'autant plus grande que la durée de la digestion est plus grande ; elle s'observe aussi bien avec la mouture fine qu'avec la mouture grossière.

Bleisch a constaté également une augmentation de rendement, mais plus faible que celle qui avait été observée par Van Hest, sans doute par suite de l'emploi de malts d'état physique différent. Il a montré que l'augmentation de rendement provient surtout d'une dissolution plus grande des matières azotées, des cendres et des

pentosanes et que l'extrait ainsi obtenu n'a pas grande valeur par sa composition chimique. Les pertes par extrait restant dans les drèches sont toujours les mêmes, 0,3 à 0,8 p. 100, et l'empâtage préalable n'influe pas sur ces pertes. D'après Bleisch, l'empâtage prolongé favorise, en outre, la clarification des moûts, mais la coloration des bières, surtout avec les eaux riches en carbonates, est souvent plus foncée et rougeâtre, à cause de la dissolution des matières colorantes des enveloppes du grain.

Windisch a trouvé que l'augmentation de rendement obtenu par une durée d'empâtage de six heures est d'environ 2 p. 100, comprenant la dissolution supplémentaire de 0,5 p. 100 d'amidon, 0,4 p. 100 de matières azotées, 0,5 p. 100 de pentosanes, 0,2 p. 100 de cendres; il y a enfin 0,4 p. 100 d'augmentation apparente provenant de ce que le moût est plus riche en maltose: or, la transformation de l'amidon en maltose exige une fixation d'eau qui augmente le poids du produit de dédoublement, ce qui ne se produit pas avec la formation de dextrines.

Moufang, qui a repris la question, a constaté que plus la mouture est grossière, plus la durée de l'empâtage augmente le rendement. Il estime que l'optimum de durée de l'empâtage préalable est de huit à dix heures, et que l'augmentation de rendement dépend presque autant de la qualité de l'orge que de son traitement au maltage. Les malts germés courts et les plus riches en diastase sont ceux dont on peut attendre l'augmentation la plus forte; les malts bien désagrégés ou germés long ne donnent presque rien en plus. En somme, la longue durée de l'empâtage permet de compenser par une meilleure dissolution une insuffisance de désagrégation, et c'est à cette nécessité que correspondait la préparation de l'empâtage la veille du brassin, comme on le faisait autrefois. Il se produit une augmentation d'acidité de 0,08 à 0,15 p. 100 dans les moûts à 10 p. 100; l'augmentation de rendement oscille, suivant les malts, entre 0,5 et 3 p. 100. L'optimum de température est à 40°-50°. Les malts provenant d'orges à enveloppes épaisses donnent, avec un empâtage prolongé, des bières d'odeur et de couleur défectueuses.

Nous pouvons conclure des études qui précèdent que l'empâtage prolongé de six à huit heures, à 40°-50°, est susceptible d'amener des augmentations de rendement assez considérables, surtout avec les malts mal désagrégés; mais ces augmentations se font surtout aux dépens des matières azotées, des pentosanes et des cendres, ce qui peut amener des difficultés de clarification et une diminution de la stabilité.

Influence de la quantité d'eau employée à l'empâtage. — La quantité d'eau employée pour l'empâtage intervient, d'une part, par les sels qu'elle apporte et, d'autre part, par les phénomènes de dissolution des diastases qu'elle entraîne. Si l'eau est riche en carbonates, l'acidité du malt diminue d'autant plus qu'on fait un

empâtage plus clair, et l'acidité restante, ainsi plus ou moins élevée, exerce plus ou moins son action sur les diverses transformations diastasiques. Si l'eau n'est pas alcaline, il n'y a que dilution plus grande de l'acidité, sans réduction, si on emploie beaucoup d'eau à l'empâtage. D'autre part, la dissolution des diastases est d'autant plus rapide et plus parfaite que l'empâtage est plus clair, et les actions diastasiques peuvent s'exercer d'autant plus aisément que le milieu est moins concentré. Nous retrouverons ces notions lors des applications pratiques.

Influence du malt sur la température d'empâtage. — La température d'empâtage, c'est-à-dire celle qu'on observe immédiatement après le mélange de la farine de malt avec l'eau, est sujette à des variations qui dépendent d'abord des quantités relatives de malt et d'eau et de leurs températures, et ensuite de l'état du malt, comme l'ont montré Brown et Morris. En effet, la chaleur spécifique du malt sec étant de 0,52 et augmentant de 0,005 pour 1 p. 100 d'humidité du malt, la calorimétrie permettrait de calculer facilement la température finale X du mélange, connaissant le poids de malt P, son humidité H, sa température T, le poids d'eau P' et sa température T'. On a en effet :

$$P[0,52 + 0,005H][X - T] = P'[T' - X].$$

Mais, si on applique cette formule aux opérations de la pratique, on constate toujours que le chiffre obtenu dans la pratique pour la température d'empâtage est plus fort que celui qu'on obtient par cette formule. Il se produit donc dans l'empâtage une action qui dégage de la chaleur. Cette action est la pénétration de l'eau dans les fins granules d'amidon et le tissu cellulaire, ainsi que la combinaison de l'eau avec ces substances. Ce phénomène est connu sous le nom de *chaleur d'hydratation*. Brown et Morris ont montré que cette chaleur dégagée est d'autant plus considérable que le malt est plus sec, ce qui explique l'observation pratique qui a appris que la température d'empâtage varie même quand on opère exactement avec les mêmes quantités de malt et d'eau, prises dans les mêmes conditions de température. Donc, pour atteindre dans l'empâtage une température déterminée, il faut tenir compte de la teneur du malt en eau. Brown et Morris ont ainsi dressé des tables qui donnent la température finale d'empâtage dans diverses conditions de températures, de poids de malt et d'eau et d'humidité du malt (1). Ces chiffres ont surtout de l'importance pour les méthodes de brassage où on empâte à très haute température : un écart de quelques degrés peut alors avoir une grosse influence. Ils en ont beaucoup moins pour les méthodes ordinaires, où on empâte à température basse et avec un assez grand volume d'eau.

(1) *Journal of the Fed. Instit. of Brewing*, t. V, p. 338.

Brassage proprement dit. — Nous envisagerons d'abord le cas le plus simple, c'est-à-dire le brassage avec malt pur. La température de la masse empâtée est élevée plus ou moins rapidement jusqu'à un degré final voisin de 75°. Le liquide tend à s'épaissir par suite de la formation d'empois, mais, comme la diastase liquéfiant agit en même temps sur l'amidon, la masse reste fluide. La diastase saccharifiante transforme l'amidon solubilisé en donnant naissance à du maltose et à des dextrines; les diastases protéolytiques dégradent les matières azotées; il se produit enfin des transformations dans les matières minérales. Les actions diastatiques et chimiques qui accompagnent le brassage portent donc à la fois sur les matières hydrocarbonées, les matières azotées et les matières minérales.

Transformations des matières hydrocarbonées dans le brassage. — Il existe dans le malt deux groupes de matières hydrocarbonées qui intéressent spécialement le brasseur : les sucres préformés et l'amidon. Les premiers passent en solution au cours du brassage, et leurs variations dans le travail sont peu importantes; l'amidon, au contraire, se dédouble sous l'action de l'amylase, et les transformations qu'il subit dépendent principalement de la température, de la durée, de la nature du malt et de la nature de l'eau de brassage. Ces réactions dans la pratique sont encore assez mal connues; beaucoup d'expériences entreprises sous ce rapport ont été effectuées au laboratoire, dans des conditions qui ne réalisent jamais celles de la pratique industrielle. En outre, la plupart des recherches sur l'action de l'amylase sur l'amidon ont été faites sur de l'empois de fécule, tandis qu'en industrie l'amidon mis en œuvre est celui du malt, et il est solubilisé et saccharifié le plus souvent à une température inférieure à celle de sa transformation en empois. On ne peut donc appliquer que sous réserve les résultats obtenus dans ces conditions expérimentales à l'explication des phénomènes du brassage.

Signalons enfin, au sujet des transformations des matières hydrocarbonées, que Fernbach et Ukmar ont montré que pendant le brassage il n'y a aucune diminution appréciable de la quantité de matières grasses.

La lipase qui agit au cours de la germination est donc détruite par le touraillage.

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE. — La diastase agit sur l'amidon du malt à la température ordinaire, mais lentement; vers 55°, l'action devient énergique, et elle est encore très forte à 72°-75°. A cette température élevée, les portions d'amidon les plus résistantes se trouvent liquéfiées et transformées par la diastase. En outre, nous avons vu, en étudiant l'amylase, que les proportions de maltose et de dextrines qui se forment varient avec la température : au-dessous de 60°-63°, il se forme beaucoup de maltose; à mesure que la température s'élève au-dessus de 65°, la quantité de mal-

tose formée diminue, tandis que la quantité de dextrines augmente, et à 70°-75°, il se produit beaucoup de dextrines et peu de maltose. Il semble donc que le brasseur puisse, très aisément, en élevant plus ou moins la température de saccharification, modifier la composition chimique du moût. En réalité, les résultats observés dans la pratique sont variables avec la méthode employée pour la saccharification, avec la durée du brassage et avec la nature du malt. En effet, la formation du maltose n'attend pas, pour se manifester, qu'on soit arrivé à la température choisie pour le brassage; au contraire, elle est en quelque sorte explosive et tellement rapide, surtout avec les malts très diastasiques, qu'elle se produit presque entièrement dans les premières minutes de la saccharification. Il en résulte que la température de brassage ne peut permettre d'agir sur la composition chimique du moût qu'avec certains modes de travail, comme nous le verrons plus loin.

Nous avons vu que, dans les conditions les plus favorables, cette formation rapide de maltose peut atteindre les quatre cinquièmes de l'amidon mis en œuvre: elle progresse ensuite très lentement et va plus ou moins loin, suivant la réaction du milieu. Dans la pratique industrielle, on ne réalise jamais les conditions nécessaires pour une formation aussi abondante de maltose; on cherche, au contraire, en général, à la réduire afin d'avoir des bières moins alcooliques et plus dextrinées.

Dans les procédés par décoction où on porte à l'ébullition une partie de la masse en saccharification, la diastase agit aux températures inférieures à 75° pour donner du maltose et des dextrines: puis, aux températures élevées, elle se trouve détruite, et les portions d'amidon les plus résistantes se transforment en empois. D'après Petit, les dextrines formées pendant le chauffage à 70° sont très facilement attaquées par la diastase quand en fait rentrer la trempé au contact de la partie tiède restée dans la cuve et elles donnent naissance à une grande quantité de maltose, qui peut atteindre 50 p. 100 de leur poids. Au contraire, les dextrines formées par le chauffage à 50°-60° sont beaucoup plus résistantes et donnent une quantité de maltose qui ne dépasse pas 25 p. 100 de leur poids.

La quantité d'eau employée pour le brassage n'a pas grande influence sur la transformation des matières hydrocarbonées, dans les conditions habituelles de la pratique. Pankrath a bien constaté qu'il se forme d'autant moins de maltose que la quantité d'eau employée est plus faible; mais cette action n'est bien sensible qu'au-dessous de 200 litres d'eau par 100 kilogrammes, ce qui est un chiffre toujours inférieur à la quantité normale que l'on utilise dans la pratique du brassage. Bekaert a fait des constatations analogues.

INFLUENCE DE LA DURÉE. — Les observations qui précèdent font prévoir que la formation du maltose est d'autant plus grande que

le brassage est plus prolongé aux basses températures, et que le malt est plus diastasique. Si l'élévation de température se fait lentement, la production du maltose est favorisée; si au contraire, le passage des basses températures aux températures élevées se fait très vite, l'action de la diastase saccharifiante se trouve réduite.

INFLUENCE DE LA NATURE DU MALT. — La nature du malt a une grande influence sur la composition hydrocarbonée du moût. Quand le malt est très profondément désagrégé, l'amidon se transforme si rapidement, aux températures intermédiaires, de 60° à 65°, que, lorsqu'on arrive aux températures élevées auxquelles la production de maltose est réduite, la saccharification est pratiquement terminée, et le maximum de maltose possible est déjà produit. Si, au contraire, le malt est mal désagrégé, l'amidon se dissout plus difficilement, la saccharification est plus lente et la formation du maltose est plus faible. Le pouvoir diastasique du malt influe également sur la marche de la transformation de l'amidon. Si le malt est insuffisamment touraillé et très diastasique, on observe les mêmes phénomènes qu'avec un malt profondément désagrégé, c'est-à-dire une formation très rapide de maltose aux dépens de l'amidon. La saccharification est plus lente si le malt est peu diastasique.

Nous savons, enfin, par les recherches de Fernbach et Wolf, et de Maquenne et Roux, que l'amylase présente une sensibilité très grande aux moindres variations dans la réaction du milieu, et que plus la réaction se rapproche de la neutralité au méthylorange, plus la transformation progresse facilement, et plus elle donne naissance à du maltose. Comme les malts diffèrent notablement par leur alcalinité à l'orangé et par la distance qui les sépare de la neutralité à ce réactif, on conçoit que deux malts, d'une même richesse en amylase, puissent très bien fournir, dans les mêmes conditions, des moûts d'une teneur en maltose très différente (Fernbach).

INFLUENCE DE LA NATURE DE L'EAU DE BRASSAGE. — La nature de l'eau de brassage peut agir de la même manière, en modifiant plus ou moins la réaction du milieu. Les eaux riches en bicarbonate de chaux agissent comme neutralisantes; elles rapprochent ainsi le milieu de la neutralité à la phthaléine et réduisent par suite la proportion de maltose formé aux dépens de l'amidon.

Nous ne reviendrons pas ici sur cette question, que nous avons étudiée au chapitre consacré aux eaux de brasserie, et il suffira de s'y reporter.

Transformations des matières azotées. — Les matières azotées présentes dans le malt sont constituées par des substances plus ou moins solubles dans l'eau et par des substances insolubles. Le brassage extrait les substances solubles telles que les acides amidés et aminés, les bases xanthiques; les globulines, légumine, caséine, fibrine se dissolvent également plus ou moins suivant la

température, la durée de contact et l'acidité du milieu. En même temps, il se produit une dégradation de ces matières azotées et une solubilisation partielle des protéines insolubles sous l'action des diastases protéolytiques. Nous avons vu, en étudiant les diastases protéolytiques du malt, l'analogie étroite qui existe entre l'action de ces diastases et celle des diastases amylolytiques, aussi bien sous le rapport de la nature des produits de dédoublement que sous le rapport de l'influence des températures. Nous savons aussi que l'influence de la durée, de la nature du malt et de l'eau se fait sentir à peu près de la même façon pour les deux phénomènes. Ces ressemblances dans le fonctionnement des deux groupes de diastases sont très heureuses, car elles permettent de réaliser l'harmonie nécessaire entre la composition hydrocarbonée et la composition azotée du mout.

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE. — La proportion d'azote dissous varie avec la température; mais les auteurs ne sont pas d'accord sur la température la plus favorable pour cette dissolution et sur les dégradations que subissent les matières azotées.

D'après Windisch, l'optimum d'activité des diastases protéolytiques est à 50°. En étudiant un malt anglais, H. T. Brown a constaté que l'azote soluble extrait d'un malt augmente lentement et uniformément avec la température de 15°,5 à 37°,8. A cette dernière température, il y a un premier point critique, avec accroissement rapide de l'azote soluble jusqu'à 43°,3. A partir de ce point, l'accroissement se ralentit pour atteindre son maximum à 48°,9, point où les diastases protéolytiques agissent le plus énergiquement sur les protéines insolubles du malt. Entre 48°,9 et 60°, l'azote soluble subit une décroissance lente qui s'accroît quand on dépasse 60°. Quand on arrive à 65°,3, une variation de quelques degrés de part et d'autre produit une différence considérable dans l'azote soluble extrait. Cette température ordinaire du brassage correspond donc à un deuxième point critique. A partir de 68°,3, il y a encore diminution de l'azote soluble extrait jusqu'à 82°,2, température à laquelle cette forme d'azote se trouve égale à celle qu'on extrait à 15°. Elle reste constante jusqu'à 100°. La limite de 82°,2 serait donc, d'après Brown, celle à laquelle les diastases protéolytiques deviennent inactives. L'azote assimilable, c'est-à-dire la portion de l'azote soluble qui peut servir d'aliment à la levure, subit des variations du même ordre.

Nous avons vu, par les expériences de Fernbach et Hubert, que les corps amidés se forment surtout à basse température. A mesure que la température s'élève, la proportion de peptones augmente, et, à 70°, 60 p. 100 de l'azote solubilisé passe à l'état de peptones. Weis trouve, par contre, qu'il n'y a pas d'augmentation sensible des albumoses pendant le brassage et que le rôle principal en cuve matière revient à la tryptase qui transforme les albumoses et peptones en corps amidés.

Les expériences de Krandauer sur le malt de Munich ont montré que l'optimum de la diastase protéolytique est aux environs de 50°, ce qui concorde bien avec les résultats de Weis. Mais, contrairement à Weis, Krandauer trouve que la transformation des matières albuminoïdes, avec les malts de Munich, est essentiellement pepsique, la tryptase étant très affaiblie, sinon complètement détruite, par la température élevée du touraillage.

On voit par ce qui précède qu'on n'a pas encore de données précises sur les températures qui sont les plus favorables à la production d'un moût renfermant les matières azotées en quantité et en qualité désirables. Les divergences observées sous ce rapport tiennent évidemment à la nature des malts, dans lesquels les diastases protéolytiques, peptase et tryptase, sont plus ou moins affaiblies par le travail du touraillage, et aussi au procédé de brassage employé. Il semble toutefois que, dans la majorité des cas, il se forme surtout des amides aux basses températures de saccharification et des peptones aux hautes températures.

INFLUENCE DE LA NATURE DU MALT. — On voit par ce qui précède que c'est la nature du malt qui joue le rôle capital dans les variations des matières azotées du moût. Suivant la richesse du malt en azote soluble, et suivant l'activité plus ou moins grande des diastases protéolytiques, la composition azotée du moût peut varier dans des limites assez étendues. En effet, le travail du maltage donne naissance à plus ou moins de matières azotées solubles; le touraillage détruit une partie plus ou moins grande des diastases, suivant les conditions de travail, et les diastases protéolytiques restent par suite plus ou moins actives suivant que le malt a été touraillé à température basse ou à température élevée. Dès lors, si on traite divers malts par la même méthode, on doit s'attendre à produire des mouts assez différents au point de vue de la teneur en matières azotées. Fernbach a trouvé, en effet, sur vingt-six analyses de malt, que la proportion de matière azotée du moût pour 100 d'extrait varie dans des limites assez larges, de 4,38 à 5,91. Il est très probable qu'il existe entre les divers groupes de matières azotées des différences analogues.

INFLUENCE DE LA DURÉE ET DU MODE DE BRASSAGE. — Les expériences de Fernbach, effectuées à l'École de Brasserie de l'Institut Pasteur, ont montré que plus on s'approche rapidement de la température finale de saccharification, moins le moût obtenu est riche en azote. Krandauer a fait sur les malts de Munich des constatations analogues et a vu que le brassage rapide avec empâtage à haute température réduit la solubilisation des matières azotées et conduit à un moût pauvre en azote.

Petit a étudié l'action des divers modes de brassage sur la solubilisation des matières azotées. Il a constaté que le brassage à deux trempes et à températures variées, le brassage avec saccharification complémentaire fournissent des mouts qui ont la même

richesse en protéine. Les variations de la méthode de brassage n'ont donc eu aucune influence, et le brasseur peut connaître d'avance la quantité de protéine totale des moûts d'après le chiffre donné par l'analyse du malt pour la protéine soluble et incoagulable, cette quantité étant indépendante du brassage, sauf dans le cas de digestion prolongée à 50°. Le long séjour à 50° augmente la richesse en protéine du moût de 25 p. 100 environ, mais la proportion d'azote assimilable par la levure n'est pas modifiée. On peut donc dire que la protéine assimilable d'un moût ne dépend pas du mode de brassage, sauf dans le cas de méthodes de travail très brutales.

La finesse plus ou moins grande de la mouture ne semble pas avoir d'influence, d'après Brown, sur la quantité d'azote soluble pour 100 d'extrait ou d'azote total.

INFLUENCE DE LA NATURE DE L'EAU. — Nous avons vu, par les travaux de Fernbach et Hubert, que la neutralité à l'orangé représente la réaction optima pour la protéolyse, et il est probable que cette réaction est l'optimum pour la formation des corps amidés, comme elle l'est pour la formation du maltose. La présence dans l'eau de sels, tels que le bicarbonate de chaux doit donc tendre à éloigner la réaction de la neutralité à l'hélianthine pour la rapprocher de la neutralité à la phtaléine, et réduire, par suite, la proportion de corps amidés formés pendant le brassage.

L'influence des eaux dépend donc des effets secondaires des sels sur les phosphates du malt, et de l'action favorable ou défavorable exercée par les sels eux-mêmes sur la marche des diastases protéolytiques. Nous avons étudié cette question au chapitre des eaux, et nous n'y reviendrons pas ici.

Les travaux de Moufang sur l'influence de la composition des eaux de lavage des drèches après le brassage ont montré que, quand la concentration du moût descend au-dessous de 2° densimétriques, l'alcalinité de l'eau de lavage provoque de plus en plus une dissolution des matières protéiques de la drèche.

Sous le rapport des quantités d'azote assimilable par la levure, on a constaté que les eaux alcalines pouvaient amener une augmentation de près de 10 p. 100. Au contraire, Windisch, Asemann et Hoffmann ont vu que les carbonates et surtout le carbonate de magnésie diminuent l'azote assimilable des moûts et que le sulfate de chaux l'augmente beaucoup.

Transformations des matières minérales. — Il se produit pendant le brassage des réactions entre les sels de l'eau et les sels du malt.

Il s'élimine d'abord de grandes quantités de chaux et de magnésie, qui atteignent 47 à 58 p. 100 pour la chaux et 36 à 64 p. 100 pour la magnésie. L'acide sulfurique ne subit aucune variation, mais il se trouve combiné d'autres corps qu'au début du brassage, surtout à la potasse et à la magnésie. Le brassage

élimine, en outre, beaucoup d'acide phosphorique. Les phosphates du malt fournissent, avec les sels de chaux de l'eau, du phosphate de chaux insoluble, et une partie de l'acide phosphorique disparaît ainsi. Mais il s'en solubilise beaucoup aussi, et cette solubilisation varie avec l'eau employée. Le bicarbonate de chaux transforme les phosphates acides en phosphates neutres, et nous avons vu, précédemment, l'importance de cette réaction au point de vue des produits de la saccharification.

L'acidité subit un accroissement constant pendant tout le cours du brassage. Elle augmente d'une façon continue avec la température jusque vers 60°-62° et avec la durée de contact. Cette augmentation d'acidité est due en partie à l'action des ferments lactiques et provient d'une réaction entre l'acide lactique formé et les phosphates secondaires ou tertiaires. En outre des actions diastasiques dédoublent les composés phosphorés en mettant en liberté des phosphates acides. Le brassage prolongé favorise l'augmentation d'acidité: le brassage court la réduit.

Cas de l'emploi des grains crus. — Nous avons vu, en étudiant la saccharification diastasique de l'amidon, que les diastases amylyotiques agissent d'une façon très différente sur les divers amidons, au-dessous des températures d'empesage (Lintner). Les amidons de riz et de maïs sont très faiblement attaqués par la diastase au-dessous de leur température de transformation en empois, tandis que l'amidon du malt est presque entièrement dissous à une température inférieure à la température d'empesage. Il en résulte que la transformation préalable de l'amidon du grain cru en empois est indispensable pour assurer sa saccharification complète. On voit en outre que la température d'empesage du riz et du maïs est de 70° à 75°; il faut donc porter le grain cru au moins à cette température pour lui faire subir la transformation. Enfin on sait que les amidons sont plus ou moins résistants à l'action de la diastase, et les amidons de maïs et de riz sont particulièrement longs à saccharifier.

Quand le grain cru est réduit en farine *très fine*, il semble, d'après des essais de Thévenot, que la transformation en empois ne soit pas indispensable. On peut verser cette farine avec le malt en cuve matière et obtenir le même rendement qu'avec cuisson préalable. Certains brasseurs de la région du Nord ont fait des constatations analogues. Ces observations demandent cependant à être plus soigneusement vérifiées: en outre, des difficultés de filtration sont à craindre avec l'emploi de farines très fines.

Quand on met en contact avec la diastase du malt l'empois d'amidon ainsi obtenu, la saccharification s'opère. Les principaux facteurs qui interviennent ici sont la richesse en amylase, la température au moment de la rentrée de l'empois au contact du malt et la vitesse de cette rentrée. Si la proportion d'amylase est considérable, l'empois est saccharifié rapidement; si au contraire la quan-

tité d'amylase est faible, la saccharification est beaucoup plus lente, et elle peut même rester incomplète. La température au moment de la rentrée de l'empois au contact du malt a également une grosse importance. Si la température finale, après le retour du grain, ne dépasse pas 60°, on se trouve sans cesse aux températures favorables à la production de maltose, et on forme de grandes quantités de ce sucre, quelle que soit la vitesse de rentrée. Si au contraire la température est de 62° par exemple au moment de l'arrivée de l'empois et s'élève finalement aux environs de 70°, les produits formés varient alors avec la richesse en amylase et la vitesse de la rentrée. La proportion de maltose formé est d'autant plus grande et la saccharification d'autant plus rapide que la masse est plus riche en amylase. Ce fait se comprend aisément, puisque la température s'élève au fur et à mesure de la rentrée de l'empois; dans ces conditions, plus l'action est rapide aux températures inférieures, plus la saccharification est courte et plus le maltose formé est abondant.

De même, si le retour de l'empois en cuve matière est rapide, l'élévation de température se fait très vite : il se forme par suite peu de maltose et beaucoup de dextrines, surtout si l'amylase est peu abondante. Au contraire, si le retour s'effectue lentement, à température relativement basse, il se forme plus de maltose, et la proportion formée est d'autant plus grande que le malt est plus riche en amylase.

Sous le rapport des matières azotées, Petit a constaté que l'emploi des grains crus amenait une forte réduction de l'azote assimilable des moûts. Wyatt et Schlichting ont trouvé que les grains crus n'apportent dans le moût aucune quantité de protéine, ni par digestion, ni par action diastasique. La plus grande partie des protéines solubles qu'ils renferment se coagule par ébullition avec le houblon. L'emploi des grains crus réduit donc notablement les matières azotées des moûts.

Application pratique aux diverses méthodes de brassage.

Il nous reste à voir quelles sont les conséquences des notions exposées ci-dessus pour la pratique des diverses méthodes de brassage.

Il importe de remarquer tout d'abord que, dans le choix et dans l'appréciation des méthodes de brassage, on doit avant tout tenir compte de la nature du malt employé. Toutes les méthodes de brassage ne sont pas applicables à un malt donné, et le malt, qui fournit avec une méthode d'excellents

résultats, peut se comporter très mal avec une autre méthode. On comprend ainsi que les études comparatives des méthodes de brassage aient souvent donné des résultats contradictoires, car les phénomènes observés avec un malt peuvent parfaitement être différents avec un autre malt.

Le malt doit donc être approprié au procédé de brassage choisi, ou inversement la méthode choisie pour le brassage doit s'adapter à la nature du malt. C'est en perdant de vue cette notion fondamentale que beaucoup de brasseurs ont échoué dans l'essai de certaines méthodes de brassage. Nous verrons d'ailleurs que beaucoup de procédés de brassage anciens ont pris naissance par suite des caractères particuliers des malts produits à cette époque, et qu'au contraire les procédés modernes sont adaptés aux malts obtenus par les méthodes de germination actuelles.

Il en résulte qu'il est impossible de chercher, dans la méthode de brassage seule, les moyens d'assurer la production d'un moût de composition déterminée. Il est certain qu'on ne doit plus imposer aujourd'hui au brassage des règles fixes et empiriques, indépendantes de la nature des malts, et que les modifications réfléchies dans les procédés de brassage permettent au brasseur judicieux de résoudre avantageusement certains problèmes de fabrication. La méthode de brassage par sauts permet par exemple de réduire la proportion de maltose formé, et l'atténuation de la bière si le brasseur le juge nécessaire ; mais, pour assurer à la bière toutes les autres qualités telles que la composition azotée la plus favorable, le moelleux et la mousse, il ne faut pas perdre de vue que le rôle important revient ici à la malterie et à la qualité du malt fabriqué.

Empâtage. — Emploi des appareils. — L'empâtage peut se faire directement en cuve matière ou à l'aide d'un hydrateur. L'hydrateur a l'avantage d'éviter la production de folle farine, d'assurer un mélange intime et homogène de la mouture avec l'eau et d'empâter tout le malt à la même température. Cet appareil est donc particulièrement recommandable pour les brasseries dans lesquelles la cuve matière est ouverte et possède un agitateur plus ou moins compliqué, dont la dispo-

sition ne permet pas une agitation énergique de la masse au début du travail. Les inconvénients de l'hydrateur sont de permettre difficilement les empâtages à températures élevées et d'allonger la durée de l'opération, qui dure généralement de quinze à vingt minutes et quelquefois davantage si l'appareil est mal construit : il en résulte qu'une partie du malt se trouve déjà exposée aux actions diastasiques avant que l'autre partie soit empâtée. Ce fait n'a pas d'importance dans les méthodes où la salade se fait à basse température, mais peut présenter des inconvénients si elle se fait à température élevée. Aussi beaucoup de praticiens considèrent aujourd'hui que l'hydrateur est un instrument des plus recommandables pour les installations anciennes, mais inutile dans les brasseries où le travail se fait par les méthodes modernes, en employant l'agitateur Weigel à hélice et en empâtant à haute température.

L'agitateur à hélice, qui se tient au fond de la cuve, brasse en effet puissamment la masse dès le début de l'opération, empêche la formation de pelotes et hydrate parfaitement le malt. Pour éviter la poussière de farine, il suffit alors de faire déboucher dans la cuve matière le tuyau d'amenée de la mouture au-dessous du niveau de l'eau, ce qui est très facile avec l'agitateur à hélice, mais impossible avec les vagueurs plus ou moins compliqués qui occupent toute la largeur et toute la hauteur de la cuve. L'empâtage ne dure ainsi que quelques minutes, si le diamètre du tuyau d'amenée de la mouture est suffisant, et la régularité de l'action diastasiq ue est ainsi parfaite sur toute la masse.

Influence du mode d'empâtage. — Il y a lieu d'envisager la température d'empâtage, sa durée et le volume d'eau employé.

Température. — A basse température, la dissolution des diastases se produit sans destruction sensible, et les actions diastasiques restent faibles. Aux températures moyennes (45°-50°), les diastases commencent à agir, la proportion de maltose formé croît jusqu'à 60°. Enfin, aux températures élevées (60° à 65°), l'action des diastases est immédiate, le maltose diminue à mesure que la température d'empâtage dépasse 60° et la destruction des diastases devient très ser-

sible. Les facteurs qui doivent être envisagés dans la pratique pour le choix de la température d'empâtage sont particulièrement la qualité du malt et la méthode de brassage adoptée. Avec les malts très diastasiques et parfaitement désagrégés, on peut sans danger empâter aux températures élevées. Ce mode de travail est général en Angleterre, où les malts sont rendus très friables par une germination longue et froide. Mais avec un malt peu friable et peu diastasique, l'empâtage rapide à haute température est dangereux : la diastase n'a pas le temps de bien se dissoudre ; la farine s'agglomère en pelotes dans lesquelles l'eau pénètre difficilement ; enfin les diastases se trouvent partiellement détruites par la haute température d'attaque, et ce traitement trop brutal peut occasionner de grosses difficultés de saccharification. Il est donc prudent de ne pas empâter à trop haute température un malt de qualité médiocre, et un tel malt s'accommoderait mal de l'empâtage à 62° de la méthode abrégée, par exemple.

La nature du malt intervient aussi pour ce qui concerne la température d'empâtage la plus favorable à la dissolution des matières azotées qui contribuent au moelleux et à la mousse de la bière. Elle peut être plus ou moins élevée suivant l'état des diastases du malt. D'une façon générale, il semble que les méthodes d'empâtage à haute température favorisent davantage la production des peptones et des albumoses, tandis que les méthodes d'empâtage à basse température favorisent plutôt la formation des corps amidés. Mais le résultat dépend surtout ici de l'état des diastases du malt et de sa composition chimique.

Le procédé de brassage choisi doit également entrer en ligne de compte pour le mode d'empâtage à adopter. Il est clair que, si on veut employer le brassage abrégé, la température d'attaque doit être très élevée ; inversement il n'est pas possible d'attaquer le malt à 60° si on se propose d'employer le brassage par sauts, car on produirait déjà, à cette température, avec un bon malt, une telle quantité de maltose que le traitement ultérieur n'aurait plus aucune influence sur la composition chimique du moût.

Dans les méthodes par infusion ou par décoction, l'attaque

du malt à température élevée réduit la proportion de maltose si la température est supérieure à 60°. On peut ainsi agir sur la composition du moût et obtenir des bières plus riches en dextrines et plus étoffées.

Durée. — Il résulte de l'étude théorique que nous avons faite précédemment sur la durée de l'empâtage que les actions diastasiques s'accroissent avec la durée de contact. En prolongeant pendant six à huit heures la durée de l'empâtage à 40°-50°, on obtient un rendement plus élevé, une dissolution plus forte des matières azotées, une augmentation de la proportion de maltose. Les empâtages de longue durée sont donc mauvais pour les malts bien désagrégés et diastasiques; l'augmentation de rendement est insignifiante, et il y a diminution de la stabilité et exagération de l'atténuation. Avec les malts très durs, mal désagrégés, l'empâtage prolongé peut faire gagner 1 à 2 p. 100 de rendement en extrait, mais la composition chimique du moût ainsi obtenu n'est pas toujours favorable à une bonne conservation de la bière. D'une façon générale, on peut dire qu'avec les bons malts il n'y a aucun avantage à allonger la durée de l'empâtage; avec les malts médiocres, il vaut mieux donner une durée un peu plus grande, sans atteindre cependant les durées de plusieurs heures qui ont été préconisées dans les méthodes dites « d'empâtage préalable », qui conduisent presque toujours à des difficultés de clarification et à une diminution de la stabilité.

Volume d'eau à employer. — Le volume d'eau à employer à l'empâtage dépend surtout des appareils et du mode de brassage. Quand on dispose d'un macérateur avec un agitateur à hélice, on ne peut guère descendre au-dessous de 275 litres d'eau par quintal de malt. Les anciennes cuves matières, avec vagueur à fourquets, les macérateurs horizontaux permettent au contraire des empâtages beaucoup plus secs. Quand la composition chimique de l'eau est normale, la dilution plus ou moins grande de l'empâtage n'a pas grande influence sur le résultat pratique. Si l'on emploie encore, dans certaines méthodes de travail, un empâtage très sec (180 à 200 litres par 100 kilogrammes), ce fait tient le plus souvent à ce que l'élévation de la température pendant le brassage se fait exclu-

sivement par addition d'eau chaude, ce qui force à employer à l'empâtage une quantité d'eau très réduite, afin de ne pas diluer le moût d'une façon exagérée par les trempes d'infusion.

Au contraire, dans les procédés par décoction, ou quand le chauffage peut se faire dans le macérateur ou la chaudière, il n'y a aucun inconvénient à empâter moins sec.

Brassage. — Emploi des appareils. — Le travail par cuve matière filtrante a l'avantage de réduire au minimum le matériel et la place nécessaire, mais il est difficile d'effectuer avec toute la perfection désirable le double travail de la filtration et du brassage dans un seul appareil. La présence de l'agitateur dans la cuve matière filtrante gêne le dépôt de la drêche; l'épuisement se fait moins bien; il se produit fréquemment, pendant le travail de l'empâtage, des accumulations de folle farine entre le fond et le faux fond; enfin la cuve matière se trouve immobilisée pendant un temps très long, et elle ne peut servir de nouveau que quand toute l'opération est terminée. Aussi les brasseries qui emploient deux appareils distincts pour le brassage et la filtration, macérateur, chaudière ou cuve matière, et cuve à filtrer ou filtre à moûts, sont-elles de plus en plus nombreuses. Le travail est plus parfait et plus facile; l'utilisation du matériel est meilleure, le rendement est un peu plus élevé, et on n'a pas à craindre la formation des boues entre le fond et le faux fond pendant le brassage.

Ces boues sont surtout constituées par des particules de folle farine entraînées au moment de l'empâtage et qui se gélatinisent en partie. Quand la cuve matière filtrante donne naissance à des boues de cette nature, la seule méthode pour les éviter, si on ne dispose pas d'une cuve à filtrer, consiste à se servir de la cuve sans faux fond pour le brassage en fermant les trous des tuyaux de soutirage avec des bondes de bois. Quand l'opération est terminée, on envoie tout le brassin en chaudière; on nettoie la cuve, on enlève les bondes, on remet le faux fond, on le couvre d'eau chaude et on y repompe le brassin, qu'on abandonne au repos avant la filtration.

Le macérateur ou la chaudière présentent sur la cuve matière l'avantage de pouvoir gélatiniser les grains crus par chauffage à 90°, ou à l'ébullition et de permettre facilement tous les modes

de travail, les réchauffages, les refroidissements, etc. L'adjonction à la cuve matière d'un serpentín réchauffeur à vapeur permet de la rendre aussi avantageuse pour le travail qu'un macérateur, si on doit seulement porter à 90° le contenu de la cuve. On peut alors utiliser des grains crus sans avoir aucun appareil supplémentaire.

Le cuiseur a l'avantage de permettre un travail plus rapide des grains crus et un empesage parfait des grains en brisures. Son emploi est très recommandable dans les usines importantes.

Influence de la température. — Par suite de la rapidité de la formation du maltose aux températures intermédiaires, on conçoit que le brasseur ne puisse agir sur la composition chimique du moût que dans les méthodes à sauts brusques, si le malt est bien désagrégé. Donc, dans les procédés de brassage où l'élévation de température est lente et progressive, comme dans l'infusion à deux trempes ou la décoction à trois trempes, presque tout le maltose qui peut se former aux dépens de l'amidon prend naissance, si le malt est de bonne qualité, aux températures intermédiaires, de sorte que, lorsqu'on arrive aux températures élevées qui favorisent la production des dextrines, la saccharification est pratiquement terminée, et tout le travail ultérieur est sans effet.

Donc, en infusion avec malt pur, si on veut modifier par la méthode de brassage la composition chimique du moût et réduire la proportion de maltose afin d'avoir des bières plus riches en extrait et moins alcooliques, il faut monter très rapidement à 70°, en réduisant au minimum le séjour aux températures intermédiaires (Voy. 2^e méthode avec ascension rapide), ou opérer par la méthode descendante (3^e méthode). Au contraire, dans l'infusion à deux trempes (1^{re} méthode), la lenteur du travail ne permet pas d'agir d'une façon sensible sur la composition chimique du moût, surtout si le malt est diastasique et bien désagrégé.

Il en est exactement de même en décoction. Avec les méthodes à deux et trois trempes, on ne peut pas modifier sensiblement la composition chimique du moût, si le malt est de bonne qualité, à cause de la lenteur du travail. Au contraire,

la méthode de brassage par sauts permet de régler à volonté les proportions de malt ose et de dextrines par le choix de la température finale, puisqu'on évite tout séjour aux températures intermédiaires.

On voit donc que, pour profiter des variations des produits de la saccharification diastasique sous l'action des températures, on est conduit, surtout avec les malts bien désagrégés, à modifier les méthodes de travail de manière à les rendre plus rapides et plus brutales.

Pour ce qui concerne les matières azotées, l'influence des températures de brassage se fait également sentir, mais elle est variable avec la nature des malts et la durée du brassage. D'une façon générale, les températures les plus favorables pour la peptonisation des matières azotées semblent être au voisinage de 50°, les températures supérieures favorisent la production des peptones et des albumoses et les températures inférieures celle des amidés. L'élévation de la température augmente également la dissolution des globulines du malt.

Dans le cas d'emploi des grains crus, les températures de saccharification peuvent faire varier notablement la composition chimique du moût. Si la température finale, après la rentrée de l'empois en cuve matière, ne dépasse pas 60°, on se trouve dans des conditions à peu près identiques à celles des procédés de brassage lent, et tout le maltose possible se produit aux températures intermédiaires, si l'amidon du grain cru est bien transformé en empois. Si, au contraire, on fait rentrer rapidement l'empois de manière à obtenir une température de 68° à 70°, il se forme d'autant plus de dextrines et d'autant moins de maltose aux dépens de cet amidon que la rentrée est plus rapide et le malt moins diastasique.

Influence de la durée. — La durée du brassage a, d'après ce que nous venons de voir, une importance considérable au point de vue de la composition chimique du moût. Avec un malt bien désagrégé, les méthodes lentes de brassage conduisent à la formation de grandes quantités de maltose et à la production de bières sèches et trop atténuées. La lenteur et la précaution dans les opérations sont, au contraire, recommandées avec les malts durs et peu diastasiques. La durée du brassage influe

également sur la teneur du moût en matières azotées. Les méthodes qui n'arrivent que lentement aux températures élevées de saccharification favorisent la dissolution des matières azotées et la formation des corps amidés, et il semble, en général, que le moût est d'autant plus pauvre en azote qu'on atteint plus vite les températures finales. Le brassage abrégé qui favorise la production des albumoses contribuant au moelleux de la bière réduirait donc aussi la richesse du moût en azote.

Influence de la nature du malt. — Il est évident, d'après ce qui précède, que la nature du malt joue dans le brassage le rôle capital. Les malts médiocres se prêtent mal aux méthodes brusques de travail; en outre, l'action de la température, de la durée sur la composition chimique du moût dépend, comme nous l'avons vu, de l'état du malt. La formation du maltose est d'autant plus abondante et d'autant plus rapide que le malt est plus diastasique et mieux désagrégé. Un malt peu diastasique donne, par exemple, une saccharification lente et peut permettre d'agir un peu sur la composition chimique du moût en élevant plus ou moins rapidement la température, tandis qu'un malt trop désagrégé se saccharifie si rapidement que quelques minutes suffisent pour que la formation du maltose soit à peu près complète. Or, les méthodes de brassage anciennes ont été établies, pour la plupart, d'après les caractères des malts de l'époque, mal désagrégés, souvent trop fortement touraillés et peu diastasiques. Elles conviennent fort bien pour ces malts; mais les progrès de la malterie ont conduit aujourd'hui à la production de malts très friables, parfaitement désagrégés et suffisamment diastasiques. Les anciennes méthodes ne s'adaptent plus à cette nature de malts; il devient impossible d'agir sur la composition chimique du moût; on arrive à produire trop de maltose et des bières trop sèches et trop atténuées. On a donc cherché, dans ces dernières années, à adapter les méthodes de brassage à la majorité des malts actuels, et c'est cette étude qui a conduit aux méthodes modernes plus rapides, mais qui peuvent fort bien s'appliquer aux bons malts.

La nature du malt a enfin une influence capitale sur la richesse du moût en matières azotées. Suivant la composition

chimique du malt sous le rapport de l'azote et suivant l'activité plus ou moins grande des diastases protéolytiques, la composition azotée du moût peut varier dans de larges limites. Ce que nous avons déjà dit à ce sujet nous dispense d'y insister encore ici.

Mécanisme des méthodes par infusion avec malt pur. — L'empâtage correspond à la dissclution de la diastase : au fur et à mesure que la température s'élève sous l'addition d'eau chaude, les diastases agissent, et quand on atteint la température de 65°, l'amidon se transforme rapidement en maltose et en dextrines.

Dans la première méthode, à deux trempes, la première trempe entraîne de l'amidon, et la saccharification se continue en chaudière; la trempe de saccharification à 75° transforme en empois les portions d'amidon les plus résistantes; elles se saccharifient en grande partie, et la transformation s'achève en chaudière, puisqu'on n'a pas dépassé la température de 75°. On voit que cette méthode s'applique particulièrement à des malts mal désagrégés et peu diastasiques, tels qu'on en obtenait beaucoup autrefois, malts qui se saccharifient lentement et qui demandent que la température soit élevée avec précaution. La longue durée de l'élévation de température à 65° ne permet pas au brasseur d'agir sur la composition chimique du moût en modifiant les températures finales de saccharification, à moins que le malt ne soit très pauvre en diastase et très mal désagrégé. Dans ce dernier cas, en effet, la saccharification peut être assez peu avancée lorsqu'on arrive aux températures de 65°-70° pour que la proportion de maltose puisse être réduite par le brassage à ces températures. Au contraire, appliquée à des malts de bonne qualité, suffisamment diastasiques et bien désagrégés, cette méthode conduit à une formation très abondante de maltose par suite du long séjour au-dessous de 65°, et à des bières très atténuées, plates et sèches.

Au contraire, dans la deuxième méthode à une trempe, si l'élévation de température est très rapide, et si on monte, par exemple, à 68° en dix minutes, on peut agir sur la composition chimique du moût, réduire la proportion de maltose et aug-

menter celle des dextrines. On arrive au même résultat en empâtant à haute température, 60°-65° au mélange. Cette méthode s'applique aux malts de bonne qualité, complètement désagrégés et suffisamment diastasiques. Si, au contraire, on procède à l'élévation de température plus lentement et avec plus de précautions, la méthode pourra convenir à un malt dur qui se saccharifie lentement; mais avec un malt de bonne qualité, le brasseur n'aura plus en main la composition chimique de son moût.

La troisième méthode ou méthode anglaise soumet le malt à un traitement beaucoup plus énergique et s'applique aux malts bien désagrégés et très diastasiques. Ce mode de travail évite le long passage du brassin aux températures intermédiaires, et, par suite de l'empâtage à haute température, on réduit la formation de maltose, d'autant plus que la température d'empâtage est plus élevée.

Mécanisme des méthodes par décoction avec malt pur. — Si nous prenons comme exemple la décoction à trois trempes, nous voyons que la salade a surtout pour but la dissolution des diastases. Pendant le chauffage de la première trempe, tant que la température est au-dessous de 75°, la diastase agit sur l'amidon et en saccharifie une partie, et la saccharification est d'autant plus complète qu'on séjourne plus longtemps aux températures favorables. Quand on porte à l'ébullition, la diastase se trouve détruite, et l'amidon non attaqué se transforme en empois à l'ébullition et se trouve alors dans un état beaucoup plus favorable pour l'action de la diastase. Quand la première trempe est ramenée en cuve matière, la diastase présente saccharifie cet empois, et, comme la température s'élève, elle commence à agir activement sur l'amidon resté en cuve et sur les dextrines tendres amenées par la première trempe. Les mêmes phénomènes se reproduisent dans la deuxième trempe : saccharification au-dessous de 75°, destruction de la diastase et transformation en empois des particules d'amidon restant au-dessus de 75°. La deuxième trempe, à son tour en cuve matière, amène la température à 62°-63°, et la saccharification devient très active. Enfin, dans la troisième trempe, il se produit encore une destruction d'une

partie de la diastase, et le retour de la trempé en cuve matiére permet d'atteindre la température finale, où la saccharification se complète.

Si le malt se saccharifie difficilement, il est recommandable de laisser stationner chaque trempé entre 62°-70° et d'élever très lentement la température. On peut également prendre les trempes plus faibles afin de monter plus lentement en cuve matiére.

Dans cette méthode et avec la majorité des malts qu'on obtient par les procédés de germination actuels, malgré la destruction partielle de la diastase dans les trempes, la formation du maltose est trop rapide pour que le travail ultérieur au-dessus de 60° puisse permettre de fabriquer des bières plus ou moins dextrinées. On ne peut donc pas facilement, par cette méthode, modifier la composition chimique du moût et l'atténuation de la bière. Ce procédé, qui est le plus ancien, assure, par son extrême lenteur, une régularité parfaite dans l'élévation des températures et une uniformité très grande dans la fabrication d'un brassin à l'autre. L'ébullition des trempes permet, en outre, en transformant en empois l'amidon du malt, d'obtenir un meilleur rendement avec les malts insuffisamment désagrégés. Cette méthode convient donc particulièrement aux malts foncés, fortement touraillés, qui exigent une méthode de brassage lente et prudente, mais elle ne présente aucun avantage pour les malts pâles, riches en diastase.

En réalité, pour tous les malts de désagrégation moyenne ou mauvaise, il faut employer et maintenir des températures moyennes pendant deux ou trois heures, comprises entre 20° et 40° pour avoir de bons résultats. La longue cuisson des trempes dans la vieille méthode bavaroise à trois trempes peut n'avoir aucune influence par elle-même, mais elle donne indirectement la possibilité de laisser pendant tout ce temps le reste de l'em-pâtage aux températures moyennes actives. Or ces températures donnent avec des malts peu acides et mal désagrégés, le degré d'acidité indispensable à une bonne désagrégation de l'amidon. Ces conditions sont réalisées inconsciemment dans la méthode bavaroise.

La production de malts friables, peu touraillés, riches en diastase, a amené les brasseurs à revenir de plus en plus aux méthodes abrégées de décoction, à deux ou à une seule trempe. La nature des phénomènes qu'on observe dans ces méthodes est toujours la même ; mais, tandis que la méthode à trois trempes, très longue et très coûteuse, ne permet pas au brasseur d'avoir en main la composition chimique de son moût, les méthodes abrégées, infiniment plus économiques, où la température est rapidement élevée au-dessus de 62°, s'y prêtent davantage et conduisent à des bières plus moelleuses et moins atténuées. Mais il faut que le malt soit d'une qualité suffisante pour résister à ce traitement un peu brutal. Cette méthode n'est donc applicable qu'aux bons malts, bien désagrégés, obtenus par une germination lente et froide.

Enfin la méthode de brassage par sauts permet de régler l'atténuation finale, suivant la température choisie pour la saccharification, et peut s'appliquer à des malts passables qui s'accommoderaient mal du brassage abrégé.

Mécanisme de la méthode à moût trouble. — Si nous examinons la méthode lilloise, nous constatons qu'après la dissolution des diastases et le soutirage de la *masse*, on procède, au moyen de la trempe de saccharification à 70°, à la transformation de l'amidon le plus facilement attaquable par la diastase. Comme une grande quantité d'amylase a été enlevée par le soutirage de la masse, le pouvoir diastasique est réduit, la saccharification est plus lente, et la quantité de maltose formée est assez faible. Le chauffage de la masse à l'ébullition amène une destruction considérable de diastase, et, au retour en cuve matière, la température élevée transforme l'amidon restant en empois, en donnant naissance à une faible proportion de maltose, et la saccharification s'achève dans la cuve et dans la chaudière. On voit que cette méthode a surtout pour but d'obtenir la réduction de l'activité diastasique, la diminution du maltose, et la transformation en empois de l'amidon non désagrégé. Elle s'applique à des malts durs, peu friables et assez fortement diastasiques ; on obtient alors un rendement meilleur qu'avec l'infusion. On peut régler plus facilement la composition chimique du moût et réduire la proportion de

maltose. Mais le danger de la méthode consiste en un appauvrissement trop grand du brassin en amylase si le malt est peu diastasique.

Cas de l'emploi des grains crus. — La cuisson préalable du grain a pour but de transformer l'amidon en empois pour qu'il puisse être attaqué facilement par la diastase. La cuisson s'opère soit à 80°-90°, soit à 100°, soit à une température plus élevée, sous pression. La cuisson sous pression n'est pas nécessaire quand on emploie des matières premières assez finement concassées, ou sous forme de farines. Elle est au contraire très recommandable avec les brisures. La petite quantité de malt ajoutée sert à liquéfier l'amidon et à éviter un empatement trop fort.

C'est ce que réalisent la première, la quatrième et la cinquième méthode que nous avons exposées plus haut pour le brassage par infusion avec grains crus.

Dans les méthodes par décoction, il est préférable de n'introduire les grains crus qu'à la première trempe, avant que le pouvoir diastasique ne soit réduit par l'ébullition des trempes successives. Le malt employé doit être, en effet, suffisamment diastasique pour assurer la saccharification totale de l'amidon du grain cru.

Le mode de travail peut avoir une grosse influence sur la composition chimique du moût, suivant la vitesse de rentrée de la matière amylicée en cuve et suivant le pouvoir diastasique du malt. En règle générale, quand la température finale après la rentrée de l'empois est supérieure à 60°, la proportion de maltose est d'autant plus réduite que la vitesse de rentrée est plus grande et le malt moins diastasique. Suivant le pouvoir diastasique plus ou moins élevé du malt et suivant le caractère de la bière à produire, il faudra donc modérer plus ou moins la vitesse du retour de la trempe de grains crus.

L'emploi des grains crus, et notamment du riz, permet d'agir sur la coloration du moût et de produire plus facilement des bières pâles. Enfin la pauvreté du riz en matières azotées réduit la richesse du moût en azote assimilable : il en résulte souvent une stabilité plus grande de la bière.

Quelle que soit la méthode adoptée pour le travail des

grains crus, il y a une limite qu'on ne peut pas dépasser dans la proportion à utiliser en brasserie. Certains procédés permettent d'employer 50 p. 100 de grains crus, mais ce résultat n'est atteint qu'aux dépens de la finesse et de l'arome de la bière. Le maximum pratique paraît être aux environs de 35 à 40 p. 100. A des doses plus fortes, la bière ne conserve pas la franchise de goût des bières de malt pur. A des doses plus faibles, la modification de goût est peu sensible, et, si elle se manifeste, elle tient souvent plutôt à la nature du malt qu'à l'emploi du grain. Il arrive, en effet, que, pour assurer la saccharification des grains crus, on utilise des malts très diastatiques, insuffisamment touraillés et manquant complètement d'arome, de sorte que la bière perd son parfum, et d'autant plus qu'on emploie moins de malt. Il est donc indispensable d'utiliser avec les grains crus un malt à la fois aromatique et diastatique, obtenu par un lent séchage à basse température, suivi d'un touraillage élevé.

Soutirage et lavages.

Mécanisme du soutirage. — Nous examinerons d'abord le mécanisme du soutirage par faux fond.

Soutirage par faux fond. — Dans le soutirage par faux fond, la masse est abandonnée au repos, soit dans la cuve matière, soit dans la cuve à filtrer, et la couche filtrante est constituée par la drêche elle-même. Après dépôt des drêches, on trouve à la partie supérieure une couche visqueuse, ou *oberteig*, formée principalement des fines matières azotées insolubles ou coagulées. Au-dessous viennent les gros débris d'enveloppes plus ou moins mélangés de cellulose fine. Quand on ouvre les robinets de mise en perce, la filtration commence. Elle est d'abord imparfaite; les particules fines qui se trouvent au fond sont entraînées et le moût coule trouble. Mais bientôt la couche inférieure se tasse par l'aspiration, devient plus compacte, arrête les fins débris de cellulose et de matières azotées et constitue bientôt la couche filtrante. Les matières en suspension dans le moût sont arrêtées en partie dans la couche inter-

médiaire de drêches, et la filtration proprement dite s'effectue contre le faux fond, sur la couche inférieure.

Les principaux facteurs qui interviennent dans cette opération sont la disposition des appareils, la nature du malt, la finesse de la mouture, le procédé de brassage, la température et le mode de soutirage.

La surface de la cuve est un des facteurs les plus importants de la rapidité du soutirage; l'opération est d'autant plus rapide que la surface est plus grande pour un poids donné de matières premières. Le nombre de perforations du faux fond a une importance beaucoup moins considérable; toutefois, il est évident que, si le nombre des trous est insuffisant, non seulement le soutirage est plus lent, mais le moût qui s'écoule est aspiré plus fortement en certains points, et il se forme ainsi des flots de drêches qui ne sont pas traversés par les eaux au moment des lavages. Par contre, si le nombre des trous est trop considérable, il se produit des obstructions, et la filtration devient très pénible. Enfin, si les robinets de soutirage sont disposés trop en contre-bas du faux fond, on observe un tassement trop énergique de la couche filtrante et un ralentissement dans le soutirage.

L'agitation trop violente pendant le brassage, la vitesse trop grande de certaines pompes centrifuges peuvent entraîner des difficultés de soutirage par suite du déchirement des enveloppes du grain.

La nature du malt influe sur la constitution de la couche filtrante : les fines matières azotées et celluloses qui forment le filtre inférieur peuvent être plus ou moins abondantes; les enveloppes peuvent être plus ou moins pailleuses. Quand le malt est de mauvaise qualité et donne un travail défectueux au brassage, on peut s'attendre à des difficultés de soutirage et à un tassement exagéré des drêches.

Les particules de drêches accumulées dans la cuve laissent entre elles des canaux à travers lesquels circule le moût pendant le soutirage. Si la mouture est bien faite et renferme au moins 10 à 12 p. 100 d'enveloppes respectées, les canaux restent larges; si au contraire la mouture est trop fine, les canaux sont étroits et s'obstruent facilement par les fines parti-

cules entraînées. D'ailleurs, plus une mouture renferme de farine, plus elle donne d'*oberteig*, et c'est cette couche visqueuse qui rend le soutirage difficile. La filtration sur faux fond devient donc longue et pénible quand la mouture est trop fine. L'emploi de fortes proportions de grains crus donne naissance à une action analogue à cause de la réduction du volume des enveloppes et de l'augmentation des fins débris cellulosiques.

Le mode de brassage intervient également : il peut donner plus ou moins d'*oberteig*. Une attaque à haute température d'un malt assez peu diastasique conduit à la formation de beaucoup de matières visqueuses, qui rendent la filtration difficile. L'épaisseur de la drêche en cuve ne semble pas avoir d'influence bien sensible sur la vitesse du soutirage.

La température a une grande importance : les températures élevées facilitent le soutirage en diminuant la viscosité du moût et son adhésion aux particules de drêches. Il faut donc protéger le plus possible la cuve contre le refroidissement, et la température du moût qui coule à la batterie de clarification ne devrait jamais descendre au-dessous de 70°. La fermeture de la cuve par un dôme ou un couvercle, l'isolement des parois, l'agencement d'un double fond avec circulation d'eau chaude constituent des moyens efficaces pour maintenir la température au degré voulu.

Enfin le mode de soutirage a une grande importance. Si on ouvre largement les robinets au début de l'opération, la couche filtrante se trouve comprimée ; le courant rapide entraîne les particules les plus fines dans les canaux de filtration qui s'obstruent, et bientôt le soutirage devient très lent. La rentrée de l'air sous le faux fond, par les robinets de soutirage, arrête également la filtration. Un repos assez prolongé en cuve, avant la mise en perce, est indispensable pour permettre à l'*oberteig* de se déposer à la surface des drêches et éviter qu'il ne soit entraîné à l'intérieur.

Soutirage au filtre à moût. — Dans ce cas, le mécanisme de la filtration n'est plus tout à fait le même. Le moût est filtré à travers des toiles : au début, les matières les plus fines passent à travers les pores du tissu, mais bientôt ces particules fines s'accumulent à la surface des toiles et constituent une

couche filtrante analogue à celle qui se produit dans la cuve à filtrer. Pour que ce phénomène ait lieu, il est nécessaire d'employer une mouture fine : la mouture grossière ne donnerait pas sur la toile un colmatage assez rapide pour rendre la filtration pratique. Comme les orifices de passage du moût sont ici beaucoup plus fins que les trous des faux fonds de cuves, il faut employer une certaine pression pour forcer la circulation, et augmenter beaucoup la surface filtrante. Les facteurs qui influent ici sur la filtration sont la surface totale des plateaux du filtre, la nature du malt, la finesse de la mouture, le mode de brassage, la température et la pression dans l'appareil, et leur action est du même sens que celle que nous avons signalée pour la filtration par faux fond.

Mécanisme des lavages. — Quand le soutirage du moût fort est achevé, la drêche est encore imprégnée de ce moût concentré ; les lavages ont pour but d'extraire la plus grande partie de ce moût. L'eau, bien répartie à la surface des drèches, forme une couche qui traverse peu à peu la masse en déplaçant le liquide qui l'imbibe. Le déplacement ne se fait évidemment pas d'une façon absolue : la drêche retient du moût par capillarité, et, pendant les lavages, il se produit ainsi une dilution et une diffusion de ce moût au contact de l'eau.

Les influences qui s'exercent sur le soutirage des eaux de lavages sont celles qui ont été exposées plus haut au sujet du soutirage du moût. En dehors de ces influences, les facteurs qui jouent un rôle dans l'épuisement et dans l'effet utile des lavages sont principalement la température de l'eau, le nombre des trempes de lavage, le piochage des drèches et la durée du lavage.

L'épuisement est d'autant plus parfait que la température de l'eau de lavage est plus élevée. Toutefois on a intérêt à ne pas dépasser dans la cuve une température de 80°. Une température plus élevée détruit la diastase du moût qui imbibe la masse et qui peut encore saccharifier les particules d'amidon entraînées des drèches ; elle peut en outre gélatiniser les petites quantités d'amidon qui restent dans les pailles et causer ainsi des troubles. Aux températures inférieures, le soutirage est moins rapide et l'épuisement moins parfait. Le refroidissement

qui se produit dans les cuves de filtration ouvertes conduit au même résultat.

L'épuisement est d'autant plus complet que le volume des eaux de lavage est plus grand : on doit donc réduire le plus possible le volume du moût fort, de manière à réserver plus d'eau pour les lavages. Le rapport du volume d'eau employé pour le brassage au volume d'eau des trempes de lavage doit être voisin de 1 à 2 ou au moins de 1 à 1,5. Le moût fort coule ainsi à 8° densimétriques environ, ce qui laisse une marge suffisante pour laver à fond.

Pendant le lavage, il peut se produire des crevasses dans la drèche, par lesquelles les eaux passent alors plus facilement. Pour que l'épuisement soit régulier et pour qu'à la fin du soutirage il n'y ait pas d'ilots de drèches renfermant encore du moût concentré, il est nécessaire de combler ces crevasses et de modifier fréquemment ces chemins. Le piochage des drèches réalise cette condition.

Enfin la rapidité du lavage agit à la fois sur la température et la composition du moût. Si le lavage est rapide, la température s'abaisse peu, et les eaux de lavage entraînent moins de matières difficilement solubles, telles que certaines matières azotées, les pentoses et les substances ligneuses. Si le travail est lent, le refroidissement devient sensible, surtout si la cuve est ouverte, et la dissolution des substances étrangères est augmentée par la durée de contact.

Si on compare l'extrait du moût fort à celui des eaux de lavage, on constate que, dans celles-ci, l'extrait est beaucoup plus riche en matières azotées et en matières minérales, notamment en phosphates. On dissout donc, dans l'épuisement par l'eau chaude, des corps azotés, des matières minérales, et aussi des pentoses et des corps gommeux, en quantité d'autant plus grande que le volume des eaux de lavage est plus grand.

Emploi des appareils. — Nous avons vu plus haut les avantages que présente l'emploi d'une cuve matière ou d'un macérateur associé à une cuve à filtrer ou au filtre à mouës sur l'emploi d'une cuve matière filtrante. On peut employer, pour le soutirage et les lavages, la cuve à filtrer ou le filtre à mouës.

Cuve à filtrer et filtre à moûts. — La comparaison de la cuve à filtrer avec le filtre à moûts a donné lieu, dans ces dernières années, à de nombreuses études dont nous allons résumer les résultats.

Le filtre à moûts permet d'abord de travailler avec de la mouture fine, ce qui est impossible avec la cuve à filtrer; on obtient donc toujours un rendement plus élevé, et ce bénéfice de rendement est d'autant plus grand que le malt laisse plus à désirer sous le rapport de la désagrégation. Dans trois brassins faits avec le même malt et étudiés comparativement avec la cuve à filtrer et le filtre à moûts, Cannon et Brown ont obtenu avec le filtre à moûts 99,9 p. 100 du rendement de laboratoire et 96,8 p. 100 avec la cuve à filtrer, soit 3,1 p. 100 de plus avec le filtre à moûts. Schifferer, Windisch ont fait des constatations analogues. Boullanger a suivi le travail du filtre à moûts dans six brasseries du Nord de la France et de la Belgique, employant des méthodes de brassage très différentes, et il a constaté des rendements pratiques variant de 98,3 à 101,7 p. 100 du rendement de laboratoire sur mouture fine. Nous verrons plus loin, en étudiant le rendement au brassage, les raisons qui peuvent amener à dépasser dans la pratique le rendement de laboratoire. D'une façon générale, on peut dire aujourd'hui qu'un filtre à moûts bien monté permet d'obtenir au moins 99 p. 100 du rendement de laboratoire sur mouture fine, tandis que les meilleures cuves de filtration dépassent rarement 95 p. 100 avec les malts médiocres et 97 p. 100 avec les bons malts.

Quand on emploie de fortes proportions de grains crus (30 à 40 p. 100), le filtre à moûts n'occasionne pas les difficultés de soutirage qu'on éprouve avec la cuve à filtrer, ce qui est un sérieux avantage.

Le filtre à moûts réduit en outre le temps qu'exige le soutirage et permet ainsi d'accroître beaucoup la puissance de la salle de brassage. Pour un brassin de 200 hectolitres, la durée du soutirage et des lavages ne dépasse guère deux heures à deux heures et demie. On peut même aller plus rapidement et Windisch signale par exemple un essai où toute l'opération n'a duré qu'une heure et demie pour 240 hectolitres.

Le temps de contact des lavages avec les drèches est sensiblement plus faible avec le filtre à moûts qu'avec la cuve, ce qui présente des avantages au point de vue de la finesse de la bière. D'une façon générale, Cannon et Brown trouvent que la composition chimique des moûts du filtre est plus favorable que celle des moûts obtenus avec la cuve à filtrer. La quantité de matières albuminoïdes est sensiblement moindre; les bières obtenues sont plus brillantes et se conservent au moins aussi bien.

Enfin le filtre à moûts permet de faire sans difficultés trois brassins par vingt-quatre heures dans la même salle de brassage, ou deux brassins en seize heures, ce qui supprime le travail de nuit.

Il faut mettre en regard de ces avantages considérables les inconvénients que présente le filtre. Pendant longtemps, une des grosses difficultés du filtre à moûts a été la nécessité de conserver un versement invariable de matières premières par brassin. Cet inconvénient a disparu aujourd'hui, avec l'adoption des dispositifs spéciaux de versement variable, qui permettent de faire varier de 30 p. 100 la quantité de matières premières employées au brassin, sans avoir à faire subir aucune modification au nombre des cadres du filtre.

L'usure des toiles constitue une dépense qu'on peut chiffrer environ à 5 centimes par quintal de malt; il faut en outre une installation de lavage des toiles, qui exige de la main-d'œuvre et de la force motrice.

Enfin les drèches perdent un peu de leur valeur; leur volume est beaucoup moindre, et les éleveurs attribuent souvent de l'importance à l'aspect de la drèche. Cette diminution de valeur dépend des régions: elle est presque insensible dans certaines villes, assez considérable dans d'autres.

Il est certain que les inconvénients que nous venons de signaler sont faibles par rapport aux avantages considérables du filtre, qui justifient la carrière rapide et brillante de cet appareil. On peut considérer aujourd'hui que le filtre à moûts est adopté dans la plupart des installations de salles de brassage neuves de quelque importance. Pour les petites brasseries, où le matériel doit être moins coûteux et souvent réduit au

minimum, on peut au contraire recourir à la cuve matière filtrante. S'il s'agit de transformer une salle de brassage déjà existante, il faut mettre en balance les avantages qu'on pourra retirer du filtre et les frais qu'entraînera son installation. En comparant les rendements pratiques obtenus avec l'installation ancienne au rendement de laboratoire sur mouture fine, on a les éléments nécessaires pour voir ce qu'on pourrait gagner avec le filtre, en se basant sur un rendement de 99 p. 100 du rendement de laboratoire sur mouture fine avec ce dernier appareil. En dehors de cette question primordiale, il faut envisager également la réduction de la durée du travail, la possibilité de supprimer les brassins de nuit, etc. La balance entre ces divers avantages et les frais et modifications qu'ils entraîneraient déterminera la décision à prendre : transformation ou maintien de l'ancien matériel.

Pratique du soutirage. — Soutirage sur faux fond.

— L'opération du soutirage est une des plus importantes du brassage, car le rendement dépend en grande partie de la perfection de cette phase du travail.

On ouvre peu à peu les robinets de mise en perce. Le premier moût qui passe coule trouble, et on le renvoie dans la cuve : quand le moût est clair, on l'envoie en chaudière. Parfois, pour réduire la durée du passage de ce moût trouble, on ouvre largement au début les robinets, de manière à purger rapidement le faux fond et les tuyaux de vidange, puis on ferme les robinets aux deux tiers quand le moût coule clair. Cette méthode n'est pas sans inconvénients : il se produit souvent un tassement de la couche, et la filtration devient ensuite plus lente.

Il est donc préférable de renvoyer un peu plus de liquide dans la cuve à filtrer et de laisser les drèches assez lâches : l'élimination du moût trouble est un peu plus longue, mais on regagne largement ce temps par la facilité plus grande du soutirage. Pour prévenir le danger d'obstruction des tuyaux de vidange, on y envoie un violent coup d'eau chaude immédiatement avant le repos. On évacue ainsi tous les tuyaux, et on dégage les orifices du faux fond.

Il faut avoir soin de ne pas ouvrir trop largement les robi-

nets de soutirage, car on constate bientôt que la filtration, d'abord plus rapide, se ralentit de plus en plus. Cette manœuvre a en effet pour résultat d'entraîner dans les canaux les fines particules de drêches; les interstices se bouchent et la filtration devient très pénible. Il faut éviter aussi soigneusement les rentrées d'air par les robinets de soutirage en les réglant convenablement: s'ils sont trop ouverts, ils débitent plus que le secteur de la cuve, et l'air a une tendance à rentrer. La présence de l'air entre le fond et le faux fond arrête la filtration et les lavages dans cette partie et occasionne par suite des pertes sensibles de rendement.

Quand, malgré l'ouverture normale des robinets, la filtration devient plus lente, il faut bien se garder d'ouvrir les robinets davantage, ce qui ne pourrait qu'accroître les difficultés de filtration. La meilleure méthode consiste à envoyer par le faux fond de l'eau chaude pour déboucher les trous. Cet accident peut tenir à la proportion trop élevée de grains crus, à la nature du malt, qui donne des drêches compactes, qui ne se laissent pas facilement traverser, à la trop grande finesse de la mouture ou à une disposition défectueuse du faux fond de la cuve.

Pour accélérer le soutirage, certains dispositifs ont été préconisés en vue de siphonner le moût qui se trouve au-dessus de la drêche. Les appareils de Sautner, Schmitz et Harder sont des siphons perfectionnés, s'arrêtant automatiquement et munis d'un tamis permettant une clarification, au moins partielle, du bouillon. Ces appareils ne sont pas répandus en France; ils ont l'inconvénient de ne pas donner un moût assez clair. Les particules de matières azotées entraînées peuvent se redissoudre en partie pendant la cuisson du moût; elles nuisent à la cassure en chaudière et favorisent ensuite la sensibilité au froid. Ce sont les raisons pour lesquelles on recommande très justement de ne laisser couler en chaudière les moûts de soutirage que lorsqu'ils sont devenus parfaitement clairs.

Signalons enfin le système de soutirage Chubb et Harrison employé en Angleterre. L'opération se fait au moyen d'un cylindre vertical faisant vase communicant avec la cuve-filtre. Ce cylindre porte des robinets à diverses hauteurs; on commence

le soutirage par le robinet supérieur, puis on ouvre le deuxième, le troisième etc. On évite ainsi tout tassement des drèches, le travail s'effectuant sous une pression insignifiante.

Soutirage par le filtre à mouës. — On chauffe au préalable le filtre à l'eau bouillante. Au moment de procéder au soutirage on évacue l'eau de chauffage et on fait arriver la masse dans le filtre. L'introduction peut se faire soit par simple différence de niveau, le macérateur étant placé au-dessus du filtre, soit au moyen d'une pompe qui refoule la matière dans le filtre situé légèrement au-dessus des chaudières et du macérateur. La seconde disposition est préférable à la première, car il est plus facile de se rendre maître de petites difficultés de filtration, provenant souvent de la nature des malts. La pompe permet dans ce cas de donner une pression plus forte. Si au contraire le macérateur ou la chaudière sont situés au-dessus du filtre, la masse s'écoulant par gravitation, on ne dispose, comme pression, que de celle qui correspond à la différence de niveau des deux appareils.

Il faut d'abord remplir complètement le filtre ; la filtration se poursuit ensuite très rapidement, et les dimensions du filtre sont ordinairement calculées pour que tout le moût fort, à 8°-8°,5 densimétriques, s'écoule en quinze à vingt minutes.

La figure 47 indique schématiquement le fonctionnement du filtre pendant cette opération.

Pratique des lavages. — **Lavages sur faux fond.** — Quand le moût fort est soutiré, il faut procéder au lavage et à l'épuisement des drèches. Celles-ci retiennent, en effet, environ 80 p. 100 de leur poids de moût.

La meilleure méthode consiste, en général, à commencer les arrosages dès que les drèches vont se découvrir et à régler l'arrivée des eaux de lavage et le soutirage à la batterie de clarification, de manière à laisser toujours les drèches recouvertes de quelques centimètres d'eau. On évite ainsi le mélange du moût et des eaux de lavage. Celles-ci déplacent peu à peu le moût fort et épuisent ensuite complètement les drèches. On peut de temps à autre piocher très légèrement la couche glutineuse de la surface, en agitant le moins possible. L'eau peut être répartie par la croix écossaise ; on peut égale-

ment la faire arriver, avec la moindre pression possible, par des tuyaux de caoutchouc munis de flotteurs en bois. L'eau coule ainsi à la surface du liquide dense sans se mélanger avec lui, et on règle son arrivée de manière à maintenir constante la hauteur du liquide dans la cuve. Cette méthode, qui s'applique à une cuve de filtration quelconque, pourvu que le faux fond existe sur toute la surface, permet de réduire la durée de filtration et d'améliorer beaucoup l'épuisement.

Un autre procédé, très répandu avec les cuves de filtration modernes, consiste à soutirer le moût fort à fond; on pioche alors la surface des drèches, et on fait tomber, à l'aide de la croix écossaise, une pluie d'eau chaude. On arrête au bout de quelque temps, on soutire et on procède au piochage des drèches. On recommence ainsi deux ou trois arrosages. Le piochage des drèches doit être prolongé et se faire régulièrement dans toute la masse, de manière à assurer l'homogénéité de la couche et la régularité de l'épuisement. L'épuisement est plus parfait quand on répartit l'eau de lavage sur plusieurs trempes, séparées par des piochages. Quand les drèches viennent d'être piochées, il est bon de laisser quinze ou vingt minutes en repos pour éviter que la trempe de lavage ne coule trouble.

La température de l'eau doit être élevée, car plus l'eau est chaude, plus l'épuisement est complet et meilleur est le rendement. La nature de la cuve intervient ici; si la cuve est ouverte on peut employer de l'eau à 95°, car il y a des pertes de chaleur considérables, et on observe souvent une différence de température de 15° entre la température de l'eau et celle des drèches dans la cuve. Si la cuve est fermée, ces déperditions de chaleur sont supprimées, et on peut utiliser de l'eau à 75°-80°, afin de ne pas détruire la diastase restante et de ne pas gélatiniser l'amidon qui reste dans les drèches, surtout si on a travaillé un malt à bouts durs.

L'épuisement de la drèche est d'autant plus complet que le volume des eaux de lavage est plus considérable: donc, pour laver dans des bonnes conditions, on doit réduire au minimum le volume du moût fort.

DEGRÉ D'ÉPUISEMENT. — Au point de vue économique,

en dehors de toute question de saveur, il y a intérêt à épuiser la drèche aussi complètement que possible, jusqu'à une limite qui est atteinte quand la dépense en combustible nécessitée par la concentration du moût en chaudière n'est plus balancée par la valeur de l'extrait récupéré par les lavages. On considère fréquemment comme avantageux de ne plus recueillir la trempe quand elle marque moins de 0°,2 densimétrique. Jakob a montré, par le calcul de la dépense en combustible et de la valeur de l'extrait correspondant, que cette limite n'est pas applicable à toutes les usines. Le chiffre limite est généralement compris entre 0°,1 et 0°,4 au densimètre légal. D'ailleurs, en réduisant au minimum le volume d'eau employé pour le brassage, on peut aisément, avec le filtre à moûts, arriver à épuiser à moins de 0°,1 densimétrique dans les dernières eaux de soutirage, sans avoir à effectuer d'autre concentration, en chaudière à cuire, que celle qui correspond à la durée normale de cuisson.

Le meilleur contrôle du lavage consiste à prendre la densité du liquide qui s'écoule et celle du liquide qu'on obtient en exprimant à la presse un échantillon moyen de la drèche, pris dans toute la hauteur de la cuve. Si les deux chiffres sont égaux le travail est satisfaisant ; mais bien souvent on observe des différences entre ces deux chiffres, différences dues à la compacité de la drèche, à l'insuffisance du piochage et à l'irrégularité du passage de l'eau, qui se fait seulement par certains points de la masse. L'examen du degré densimétrique seul des derniers liquides qui s'écoulent de la cuve est insuffisant. Quand la cuve ne fonctionne pas très régulièrement, on peut observer une densité de 0°,1 à 0°,2, qui correspond à un bon épuisement lorsque certaines parties des drèches de la cuve sont encore imbibées de moût à 2° ou même 3° densimétriques. L'examen du liquide de pressurage de divers échantillons de drèches, pris en plusieurs points de la cuve, est donc indispensable.

Les avis sont partagés au sujet de l'influence qu'exerce le degré d'épuisement du moût sur la saveur de la bière. Une opinion assez répandue est que, quand on lave plusieurs fois les drèches à l'eau chaude, la saveur de la bière en souffre,

car on dissout des matières azotées, des corps gommeux, des matières minérales qui nuisent à la finesse de la bière. Aussi certains brasseurs utilisent-ils parfois les trempes de lavage à bas degré pour la fabrication des bières de seconde qualité, les bières fines étant fabriquées avec les moûts riches. D'autres prétendent que le degré d'épuisement n'a aucun effet sur la saveur. Il est probable que la nature du malt intervient ici : le vieux préjugé par lequel il ne faut pas tirer trop d'extrait d'un malt était peut-être exact au moment où les mats étaient généralement mauvais, les méthodes de brassage et de soutirage très longues et souvent mal conduites. Aujourd'hui, avec des malts normalement fabriqués, avec les durées réduites de contact qui correspondent aux procédés de filtration modernes, le brasseur peut et doit tirer de la matière première le maximum d'extrait récupérable.

Lavages au filtre à moût. — Cette opération ne présente rien de particulier. Quand tout le brassin est entré dans le filtre, on rince le macérateur, et on fait arriver, ordinairement par simple gravitation, de l'eau à 75°, qui traverse les gâteaux de drèches et les épuise. Un thermomètre placé à l'entrée permet de contrôler à tout instant la température des eaux de lavage. L'épuisement est très rapide, vu la faible épaisseur des drèches, mais on a avantage à ne pas laver trop vite, pour permettre aux phénomènes de diffusion de se produire complètement dans les particules de drèches imprégnées de moût fort. On compte ordinairement deux heures environ pour les lavages. Les dernières eaux qui sortent des robinets du filtre ont généralement 0°,05 à 0°,1 densimétrique, et le liquide de pressurage des drèches donne sensiblement le même chiffre. Les figures 48 et 49 indiquent schématiquement le fonctionnement du filtre pendant cette partie du travail.

V. — CUISSON ET HOUBLONNAGE

But de la cuisson. — La cuisson du moût a pour but :

- 1° De stériliser le moût ;
- 2° De l'amener à la concentration voulue ;

3° De coaguler les matières albuminoïdes précipitables par la chaleur ;

4° De dissoudre les principes utiles du houblon.

C'est donc une opération de la plus haute importance, qui influe considérablement sur la stabilité, la clarification et le parfum de la bière.

Nous ne reviendrons pas ici sur les appareils employés pour la cuisson, que nous avons étudiés avec le matériel de brassage.

Phénomènes qui accompagnent la cuisson. — **Stérilisation du moût.** — La température à laquelle le brassin est porté pendant la saccharification est insuffisante pour détruire les nombreuses bactéries qui se trouvent dans l'eau et le malt. En outre, les diastases ne sont que partiellement détruites. Il est donc nécessaire de tuer d'abord tous ces organismes et d'arrêter l'action des diastases. C'est le premier résultat qu'on obtient par la cuisson du moût. Le chauffage à 100° en présence de la petite dose d'acide que contient toujours le moût est suffisant pour détruire les diastases et les microbes, de sorte que le liquide se trouve pratiquement stérile après quelques minutes d'ébullition.

Concentration du moût. — La cuisson a aussi pour objet d'évaporer l'excès d'eau amené par les trempes de lavages et de concentrer le moût au degré voulu. La cuisson est donc d'autant plus longue que le moût a été plus dilué. La disposition de la chaudière est le seul facteur qui intervienne ici : elle doit permettre une évaporation rapide et aussi économique que possible.

Coagulation des matières azotées. — Le moût contient une forte proportion de matières albuminoïdes solubles à froid, mais coagulables à chaud. Déjà, en cuve matière, il s'opère une première précipitation d'autant plus accentuée que la température de saccharification est plus élevée. Cette précipitation se continue en chaudière au-dessous de 100°, puis à l'ébullition. Les matières azotées qui restent dans le moût sont donc, après la cuisson, sous la forme de matières albuminoïdes incoagulables par la chaleur, de matières glutineuses partiellement combinées avec les résines et le tanin du houblon, solubles à chaud et plus ou moins précipitables à froid, et enfin de corps amidés, aminés et de peptones.

La proportion de matières azotées coagulées dépend de la durée de la cuisson, de la nature du malt, du mode de brassage et de la composition de l'eau de brassage. La quantité de matières azotées coagulées est d'autant plus élevée que l'ébullition est plus prolongée. En effet, la coagulation n'est pas immédiate : elle est très abondante au début de la cuisson, mais elle se poursuit encore lentement pendant la durée de l'ébullition. Toutefois, les proportions de matières ainsi coagulées deviennent de plus en plus faibles

à mesure que la cuisson se prolonge, et on atteint assez vite une limite à laquelle on peut considérer que pratiquement la coagulation est devenue négligeable. Lintner a constaté qu'une ébullition d'une heure d'un moût non houblonné précipite la majeure partie de la matière albuminoïde. Le moût filtre clair, mais, si on fait bouillir de nouveau, on observe encore une précipitation légère. Le liquide filtré une seconde fois ne donne plus qu'un trouble très faible par refroidissement à basse température. Ces phénomènes sont beaucoup plus accentués en présence de houblon, et le trouble par refroidissement est beaucoup plus fort par suite de la précipitation des résines et de la formation de combinaisons entre le tanin du houblon et les matières azotées, combinaisons solubles à chaud et insolubles à froid.

Schjerning a constaté que, pendant la cuisson, certaines albumines du malt se coagulent pour passer ensuite partiellement à l'état de composés peptiques. Cette coagulation atteint son maximum après quatre heures d'ébullition, et il n'y a pas de redissolution du coagulum. D'autres albuminoïdes ne se coagulent pas d'une façon appréciable pendant l'ébullition.

La nature du malt intervient également par la composition chimique, en apportant plus ou moins de matières azotées coagulables.

Le procédé de brassage a également une influence sensible : suivant les températures plus ou moins favorables à l'action des diastases protéolytiques et à la dissolution des matières azotées, suivant la durée du travail, le moût peut être plus ou moins riche en peptones et en amides; les matières azotées peuvent être plus ou moins dégradées, et la quantité de matières azotées coagulées peut varier dans des proportions assez grandes.

Enfin l'action de la composition de l'eau de brassage sur la proportion de matières coagulées par l'ébullition a donné lieu, comme nous l'avons vu dans le chapitre consacré aux eaux, à de nombreux travaux contradictoires. D'après Windisch et Boden, le sulfate de chaux augmente la coagulation, mais ce résultat n'a été obtenu qu'en présence de doses massives de ce sel, et il peut parfaitement ne pas être exact pour tous les malts. Les recherches de Pierre ont d'ailleurs conduit à des conclusions très différentes : cet auteur a constaté, en effet, que le sulfate de chaux et le chlorure de sodium sont sans action sensible, tandis que le bicarbonate de chaux augmente la coagulation, surtout au-dessus de 47°. Les expériences de Petit et Labourasse ont montré, en outre, que les matières azotées du malt subissent pendant la cuisson des transformations qui sont fortement influencées par la composition minérale de l'eau : par exemple le sulfate de chaux réduit les corps amidés et les peptones, le bicarbonate de chaux réduit les albumoses et les amides. Petit a signalé aussi l'action du phosphate acide de potasse, qui produit d'abord une augmentation de l'azote coagulable, puis une diminution très notable au delà d'une certaine dose.

CASSURE. — Le phénomène de la précipitation des matières albuminoïdes en amène un autre, qui a une importance pratique considérable. La coagulation donne d'abord un trouble uniforme dans toute la masse; mais bientôt ce trouble s'agglomère et donne naissance à des grumeaux qui grossissent, en produisant un véritable collage du liquide et en entraînant toutes les matières en suspension. Le liquide se clarifie et apparaît limpide entre les flocons de matières coagulées. On donne à cette clarification le nom de *cassure* ou de *tranché*.

La cassure est bonne quand elle se produit rapidement, en donnant naissance à de gros flocons qui se déposent en laissant le liquide limpide. Elle est mauvaise quand elle se produit lentement, sous la forme de fins grumeaux qui se déposent mal. Ce phénomène dépend de la nature du malt, de la composition de l'eau et du mode de chauffage. Un bon malt donne, en général, une cassure bonne et rapide, si l'eau de brassage est convenable.

La cassure dépend beaucoup du degré d'acidité du moût: les malts peu acides conduisent ordinairement à un *tranché* médiocre. Une bonne cassure exige aussi que le moût contienne une dose suffisante de matières coagulables, et le malt intervient beaucoup sous ce rapport. Quand on ne mélange pas en proportions convenables le bouillon et les lavages, la chaudière qui renferme trop de lavages tranche souvent mal et gêne la clarification de tout le brassin. Les lavages poussés trop loin, louches ou opalescents, ne se dépouillent plus en chaudière.

Les eaux très douces donnent, en général, une cassure médiocre, fine et incomplète. Le sulfate de chaux, les sels de magnésie, à dose modérée, facilitent la cassure.

Le mode de chauffage présente enfin une grande importance. Les chaudières ouvertes et peu profondes, en permettant l'aération facile du moût, favorisent la production de la cassure. Ce phénomène présente d'ailleurs les caractères communs à toutes les actions de coagulation: il est influencé par des causes très minimes en apparence. Par exemple, la manière dont se produit l'agitation du liquide influe sur la rapidité de la formation des flocons et sur leur grosseur. L'ébullition tumultueuse que produit l'emploi de la vapeur vive au chauffage est très favorable à la cassure, grâce à l'agitation violente qu'elle provoque. L'intensité de la cuisson modifie d'ailleurs le degré d'acidité du moût. Moufang a constaté qu'un moût cuit à la vapeur à basse pression est moins acide qu'un moût cuit à feu nu ou sous pression, et cet accroissement d'acidité, qui améliore la cassure, ne dépend pas de l'oxygène de l'air, mais de la surchauffe.

Dissolution des principes du houblon. — Le houblon apporte dans le moût de l'huile essentielle, des résines, du tanin, des matières azotées et des matières cellulosiques.

L'huile essentielle est très rapidement dissoute, et comme elle est

volatile, elle se trouve autant plus entraînée par la vapeur que l'ébullition est plus longue. Aussi certains auteurs lui ont-ils attribué une importance secondaire dans le houblonnage, ce qui est inexact, car il suffit de traces de cette huile essentielle pour aromatiser la bière.

La dissolution des résines molles est assez rapide et demande environ une heure d'ébullition des cônes de houblon : la cuisson prolongée les transforme en résines dures. La dissolution de la résine dure est beaucoup plus longue, mais, comme cette résine est insipide et ne possède pas de propriétés antiseptiques, on n'a aucun intérêt à prolonger l'ébullition pour l'extraire. Les résines molles, au contraire, sont utiles par leurs propriétés antiseptiques, leur amertume et la stabilité qu'elles donnent à la bière; on a donc intérêt à les dissoudre aussi complètement que possible, sans les transformer en résines dures.

Wœllmer a fait des études sur la dissolution des deux résines molles du houblon, purifiées et amenées à l'état cristallisé. La résine α ou humulone est beaucoup plus soluble dans l'eau et dans le moût que la résine β ou lupulone. L'addition d'une trace d'acide, même d'acide carbonique, produit une réprécipitation partielle. Moins les moûts sont acides, plus ils dissolvent d'humulone. Les résines se décomposent partiellement au cours de la cuisson, en donnant de l'amertume : une cuisson trop courte peut dissoudre les résines sans donner l'amertume nécessaire. D'après Weigmann, 20 à 50 p. 100 des résines sont ainsi décomposées et perdent leurs caractères. Avec les nouveaux procédés perfectionnés d'épuisement du houblon, ces pertes sont très réduites. Elles dépendent aussi de la dose de houblon : avec une dose modérée, la perte en résines est réduite à 6 p. 100 environ; elle remonte à 23 p. 100 avec de fortes doses. Ce fait tient à ce que chaque moût présente un point de saturation particulier pour les résines, qui se trouvent combinées à certains éléments du moût et que la cuisson ne détruit pas. Quand ce point est dépassé, la partie de résines qui n'est pas combinée est décomposée par la cuisson. On peut donc en conclure qu'on ne doit pas ajouter au moût, au début, plus de houblon qu'il en est nécessaire pour produire la saturation du moût en résines. Le reste doit être mis à chaud, peu de temps avant la fin de la cuisson.

Le houblon renferme des substances amères qui ne sont pas solubles dans l'eau à l'état cristallisé; elles ne le deviennent que quand elles ont été modifiées et résinifiées, et alors elles ne donnent pas des solutions vraies, mais plutôt des solutions colloïdales. Elles sont éliminées en partie pendant la fermentation principale, en se précipitant sur la levure ou sur les flocons de matières azotées.

Le houblon apporte également du tanin et du phlobaphène qui se dissolvent dans le moût. Le rôle de ces substances a été très discuté : on leur a d'abord attribué, à tort, des propriétés anti-

septiques, puis un rôle capital dans la coagulation des matières azotées en chaudière. Les expériences de Hayduck et de Héron, que nous avons signalées à propos de la composition du houblon, ont montré que le rôle du tanin comme précipitant des matières azotées est très problématique. En effet, la combinaison du tanin du houblon avec les matières albuminoïdes n'est pas insoluble à chaud et se précipite par le refroidissement. Il est d'ailleurs certain que la majeure partie des substances azotées se précipite parfaitement par simple ébullition du moût. On peut donc conclure que le tanin n'agit pas comme précipitant des matières azotées si on ajoute le houblon comme on le fait d'ordinaire, au moins en partie après la coagulation des substances albuminoïdes et l'apparition de la cassure. Mais le tanin dissous par l'ébullition joue un rôle capital au moment du collage en fermentation haute : il est donc particulièrement utile pour les bières qui doivent subir ce mode de clarification.

H. T. Brown a également constaté que la précipitation des matières azotées des moûts par l'addition de houblon est relativement faible, sans être cependant négligeable. En même temps le houblon apporte des matières azotées en quantités égales ou légèrement supérieures à celles qu'il élimine, de sorte qu'au point de vue de la teneur totale en azote il n'y a pas de grosses différences entre le moût houblonné et le moût non houblonné. Mais il n'y a pas identité dans la dose d'azote assimilable des deux moûts. H. T. Brown a constaté que 61 p. 100 de l'azote soluble du houblon peut être assimilé par la levure, et que l'action précipitante du houblon ne s'exerce que sur les matières azotées du moût qui ne sont pas assimilables. Donc le houblonnage augmente la proportion d'azote assimilable du moût, et cet accroissement représente environ 2,5 p. 100 de l'azote total.

Enfin les matières cellulosiques qui constituent le cône du houblon entrent difficilement en solution et donnent à la bière un goût ligneux et âcre, d'autant plus accentué que l'ébullition est prolongée plus longtemps.

Oxydation du moût. — Les expériences de Bleisch et Schweizer ont montré que, pendant l'ébullition, le moût fixe chimiquement une quantité notable d'oxygène. Cette oxydation porte principalement sur les sucres, et nous la retrouverons en étudiant le refroidissement des moûts sur les bacs. Elle se fait uniquement par la surface, et il en résulte que la forme des chaudières et leur couverture jouent dans ce phénomène le rôle capital. L'oxydation est beaucoup plus forte dans les chaudières ouvertes que dans les chaudières à dôme; elle augmente aussi avec la durée de l'ébullition. Cette oxydation amène une augmentation de l'amertume et de la coloration du moût. La concentration et la caramélisation partielle des sucres, surtout sur le bord des chaudières à feu nu, tendent également à donner au moût une couleur plus foncée.

Pratique de la cuisson et du houblonnage. — Le moût venant de la cuve à filtrer est porté à l'ébullition dans la chaudière. On fait bouillir assez activement jusqu'à ce que la cassure se produise. Parfois la cassure est longue à apparaître : on peut alors la faciliter soit par l'addition de substances, telles que le tanin, qui produisent un précipité dans la masse, soit par l'injection d'air qui aide beaucoup la formation des flocons. On modère l'ébullition quand le houblon est ajouté, et on la maintient très régulière, sans aucune interruption.

La cuisson doit durer assez longtemps pour que les phénomènes utiles se produisent, c'est-à-dire la stérilisation, la concentration, la cassure et la dissolution des principes du houblon. La stérilisation est presque immédiate ; la concentration demande un temps plus ou moins long suivant la dilution du moût ; le tranché se produit généralement vite, si le malt est de bonne qualité et si la composition chimique de l'eau est normale ; quant à la dissolution des principes du houblon, elle est suffisante et rapide avec l'emploi de dispositifs spéciaux que nous étudierons plus loin, mais elle est plus longue et incomplète si les cônes sont simplement traités en chaudière, sans agitation mécanique. Il est parfois nécessaire de prolonger la cuisson assez longtemps, soit parce que la cassure s'opère tardivement, soit parce que le moût, trop dilué par les trempes de lavage, doit être fortement concentré.

La durée de l'ébullition dépend, en outre, de la nature des bières qu'on veut produire. Pour les bières de décoction, on fait souvent bouillir pendant une heure et demie à deux heures les bières qui doivent être rapidement débitées, et pendant deux ou trois heures les bières de conserve. Pour les bières d'infusion, on cuit, en Angleterre, pendant une heure et demie à trois heures ; pour les bières brunes du nord de la France, pendant six à huit heures, et quelquefois davantage ; pour les bières blondes, pendant deux ou trois heures. Les bières pâles sont cuites moins longtemps que les bières brunes, pour éviter la coloration qui s'accroît pendant l'ébullition. Une trop longue ébullition a d'ailleurs souvent pour résultat de diminuer la finesse de la bière ; elle tend en outre à détériorer la cassure

déjà formée en donnant de fines particules albuminoïdes qui sont entraînées à la cuve de fermentation.

On procède assez fréquemment, pour améliorer la clarification, à un collage en chaudière, en ajoutant de très petites quantités d'*isinglass* (1 à 4 grammes par hectolitre). Il se produit une précipitation en flocons de la matière glutineuse et une clarification du moût. Les doses plus fortes d'*isinglass* ne présentent aucun avantage : au contraire, elles peuvent gêner la clarification.

On a proposé de récupérer la vapeur qui s'échappe des chaudières à houblonner, avec les éléments parfumés qu'elle renferme, en la faisant arriver dans une caisse à chicanes sur lesquelles ruisselle l'eau d'empâtage, ou en distribuant celle-ci en pluie dans une sorte de condenseur. L'idée est intéressante, mais jusqu'ici elle ne s'est pas répandue. Il n'y a cependant aucune raison pour rejeter *a priori* ce mode de travail avantageux.

Houblonnage. — La question du houblonnage serait très simple si le houblon ne contenait que des éléments utiles qu'il faudrait dissoudre. Mais il contient également des substances ligneuses nuisibles ; en outre, les substances utiles peuvent se transformer pendant l'ébullition. Le but à atteindre consiste donc à dissoudre complètement les principes utiles, en les modifiant le moins possible, et à dissoudre au contraire très peu de matières ligneuses.

MODES DE HOUBLONNAGE. — Pour tourner la difficulté, on fait le plus souvent le houblonnage en deux ou trois fois.

Quand on houblonne en trois fois, on met d'abord une petite partie du houblon dans la chaudière au début de l'ébullition. Cette portion doit être la moins fine : elle est ainsi épuisée à fond, et l'huile essentielle se trouve volatilisée en grande partie. Cette première addition de houblon favorise l'apparition de la cassure et empêche le débordement des mousses. Quand on est obligé d'employer du houblon suranné avec du houblon frais, on emploie le houblon ancien dès le début de la cuisson, afin que les substances volatiles, à odeur désagréable, qui proviennent de l'oxydation des principes aromatiques dans le

houblon suranné, puissent être éliminées par la longue ébullition. Quand la cassure est produite, on ajoute une deuxième portion de houblon : on évite ainsi la combinaison du tanin du houblon avec les matières albuminoïdes du moût avant leur précipitation par la chaleur, et on le réserve pour mieux utiliser ses propriétés lors du collage. Ce deuxième lot amène en outre des résines et des matières azotées. L'huile essentielle disparaît en grande partie par l'ébullition prolongée. Aussi, pour obtenir des bières plus aromatiques, on ajoute, un quart d'heure ou une demi-heure avant la fin de la cuisson, une dernière portion assez faible de houblon, en modérant le feu et couvrant la chaudière. Cette dernière addition amène l'huile essentielle qui ne peut se volatiliser pendant le temps très court que dure encore l'ébullition et donne à la bière un parfum très délicat de houblon frais. On doit utiliser, pour ce houblonnage final, les houblons les plus fins.

Cette méthode de houblonnage en trois fois est surtout applicable aux bières qui doivent rester assez amères.

Pour les bières plus douces, il vaut mieux houblonner en deux fois. Dans ce cas, on fait le premier houblonnage trente ou quarante minutes après le début de la cuisson, et le second un quart d'heure ou trois quarts d'heure avant de décharger. Le premier houblonnage permet d'utiliser surtout les résines et le tanin ; le second amène encore une certaine proportion de ces substances, et surtout l'huile essentielle. On attend souvent, principalement en infusion, que la cassure soit produite avant d'ajouter le houblon, afin de conserver l'action du tanin. Parfois la dernière portion de houblon est ajoutée après ébullition, soit dans la chaudière, soit dans le panier à houblon. Cette méthode donne au moût un arôme très délicat et convient surtout pour la fabrication des fines bières pâles, en fermentation basse.

A la suite des travaux de Weigmann, que nous avons signalés plus haut, sur la décomposition des résines du houblon pendant la cuisson, cet auteur conseille de mettre une partie du houblon dès le début de l'écoulement du bouillon, avant ébullition, de faire bouillir violemment pour agiter à fond, le vagueur étant constamment en marche, et d'ajouter le

reste du houblon en deux fois, une heure et une demi-heure avant la fin de l'ébullition.

NATURE DU HOUBLON A EMPLOYER. — L'espèce de houblon et la dose employée ont sur le type de la bière une action très importante. La nature du houblon à utiliser varie avec le caractère et le prix de la bière à produire et avec la durée de conservation. Pour la production des bières fines et de luxe, on doit recourir aux houblons de qualité supérieure et d'arôme délicat ; pour les bières courantes, on emploie pour le premier houblonnage des houblons communs, et on réserve pour le dernier houblonnage une quantité plus ou moins grande de houblon fin, suivant le type de bière et suivant son prix de vente.

Dans le nord de la France et en Belgique, pour la production des vieilles bières vineuses et acides, les houblons de qualité courante du Nord et de la Belgique suffisent. La coloration de la bière doit être également envisagée : certains houblons colorent le moût beaucoup plus que d'autres, et il faut employer, pour la préparation des bières pâles, des houblons qui colorent peu. Pour les bières fines qui doivent subir un long séjour en cave de garde, l'emploi de houblons fins, très aromatiques, riches en résines antiseptiques, s'impose. Pour les bières jeunes, au contraire, on peut employer du houblon plus faible. Il en est de même pour certaines bières spéciales du Nord, qui doivent s'acidifier dans leur conservation : les houblons moins forts et moins antiseptiques sont ici préférables.

DOSES DE HOUBLON A EMPLOYER. — La dose de houblon à employer varie avec le caractère de la bière, les qualités du houblon, la saison, la durée de conservation, la nature du malt, la durée de l'ébullition, le mode de fermentation, la nature de l'eau de brassage, les procédés d'extraction du houblon.

Certaines bières doivent être plus ou moins houblonnées suivant les régions et le goût des consommateurs. Les bières de Bavière sont peu houblonnées ; les bières anglaises et celle de Pilsen le sont beaucoup. On emploie donc d'autant moins de houblon que la bière doit être plus douce. La dose de hou-

blon dépend aussi de la densité du moût, et elle est d'autant plus élevée que le moût est plus riche en extrait. En outre, les bières de garde doivent être plus fortement houblonnées, à cause de l'élimination des résines, qui se poursuit pendant la longue conservation.

On doit employer d'autant plus de houblon qu'il est de moins bonne qualité et plus faible. Les houblons âgés ou mal conservés contiennent moins de matières utiles, et il faut utiliser une plus grande proportion de ces houblons.

Le houblonnage doit être d'autant plus fort que la saison est plus chaude : en été, on augmente la quantité de houblon pour utiliser ses propriétés antiseptiques et pour favoriser la conservation de la bière.

La dose de houblon doit être plus élevée si la bière doit être conservée longtemps ; on augmente ainsi la proportion de substances antiseptiques qui préservent la bière pendant sa longue conservation.

La nature du malt intervient aussi : si le malt est de qualité médiocre, peu touraillé et peu aromatique, il faut houblonner plus fortement, car ces malts donnent des bières plates, de conservation difficile, et le houblon vient renforcer leur parfum et leur stabilité. Inversement, quand le malt est de bonne qualité, fortement touraillé et très aromatique, une dose de houblon trop forte donne une amertume qui masque le parfum du malt et le moelleux de la bière.

Les bières dont la cuisson est courte exigent plus de houblon que celles qui sont cuites longtemps, car l'utilisation des principes du houblon est moins parfaite avec une ébullition courte. Il en est de même si une forte partie du houblon est ajoutée à la fin du travail, un quart d'heure ou une demi-heure avant la décharge de la chaudière.

Le mode de fermentation a également une influence sur la dose de houblon. Quand on fermente à haute température et quand on procède à la clarification par collage, il faut employer plus de houblon que quand on fermente à basse température et quand on clarifie par filtration. On emploie en effet, sauf dans le cas des bières très houblonnées de Pilsen, moins de houblon en fermentation basse qu'en fermentation haute.

La nature de l'eau de brassage a une grande influence : les eaux carbonatées donnent avec le houblon une amertume beaucoup plus forte, et la dose de houblon doit être plus faible avec ces eaux qu'avec les eaux douces ou avec celles qui renferment beaucoup de sulfate de chaux.

Enfin nous verrons plus loin que les procédés d'extraction du houblon ont une grosse importance pour l'utilisation de ses principes utiles : la dose de houblon peut être d'autant plus réduite que les dispositions employées permettent une utilisation meilleure.

Les doses de houblon varient ainsi, en fermentation basse, de 200 grammes à 600 grammes par hectolitre. Pour les bières genre Munich, on emploie en moyenne 200 grammes pour un moût à 5°,5. Pour les bières genre Pilsen, on utilise en moyenne de 350 grammes pour un moût à 4° densimétriques à 550-600 grammes pour un moût à 5°,5. Les bières du Nord, de fermentation haute, reçoivent de 40 à 60 grammes de houblon par degré-hectolitre, suivant les types de bières et la qualité des houblons employés.

ÉPUISEMENT DU HOUBLON. — Les principes utiles du houblon sont très solubles à chaud, mais, comme ils sont répartis à l'intérieur des cônes, leur épuisement dans la pratique est toujours incomplet, car le moût qui imbibe les cônes se renouvelle très difficilement. Wenglein a constaté que la proportion des corps amers qui restent dans le houblon après ébullition en chaudière varie entre 9,2 et 25,6 p. 100 de la quantité totale de corps amers du houblon frais, soit en moyenne 15 à 20 p. 100 de cette quantité. Neumann a trouvé des chiffres encore plus élevés : certaines drêches de houblon renferment parfois 3 à 5 p. 100 de substances amères, sur 11 p. 100 en moyenne que contenait le houblon. La perte atteindrait donc, dans certains cas, 27 à 45 p. 100.

Aussi a-t-on proposé beaucoup de méthodes pour faciliter l'épuisement du houblon en principes utiles.

On a d'abord conseillé de faire tremper le houblon pendant deux heures dans l'eau à 35°-38° : on ajoute ensuite un peu d'eau bouillante et on vide en chaudière une heure avant la fin de l'ébullition. Les résultats que donne cette méthode dépendent

beaucoup de la nature de l'eau, et le procédé réussit surtout avec les eaux calcaires. L'extraction est un peu meilleure, et on peut, dans certains cas, réduire légèrement la dose de houblon. Mais, dans beaucoup d'autres cas, cette méthode est à peu près inefficace : elle conduit, en outre, assez fréquemment à une coloration plus accentuée du moût.

La division mécanique à sec du houblon a donné de meilleurs résultats. Elle peut s'effectuer soit au moyen des effeuilleuses-trieuses, soit au moyen des broyeurs. Les effeuilleuses sont des appareils dans lesquels des tiges flexibles, des dents ou des couteaux effeuillent les cônes de houblon. Des brosses et des ventilateurs séparent les diverses parties du cône, et on recueille à part les bractées, les axes et tiges et la lupuline. Ces trois lots sont employés séparément : on fait bouillir les folioles une heure et demie à une heure trois quarts, les axes et les tiges un quart d'heure, et la lupuline trempée dans l'eau froide est introduite dans le moût trente minutes avant la vidange. Cette méthode est très rationnelle, car on extrait rapidement, avec les folioles ainsi divisées, le tanin et les matières utiles, et on conserve pour la fin la plus grande partie des résines molles et de l'huile essentielle de la lupuline, qui se dissolvent rapidement. On utilise ainsi beaucoup mieux les matières utiles du houblon ; le dose employée peut être réduite de 10 p. 100 environ, et les bières peuvent avoir une saveur plus fine par suite de la réduction de l'extraction des substances ligneuses.

Il est préférable de ne pas effeuiller tout le houblon, car on n'aurait plus de couche filtrante ; la séparation dans le panier à houblon devient difficile, et beaucoup de particules fines vont au bac et au réfrigérant. On peut mettre d'abord environ le quart du houblon, non effeuillé, en chaudière, et utiliser les trois quarts qui restent en houblon effeuillé.

Certaines effeuilleuses plus simples se bornent à effeuiller le houblon et à en séparer la lupuline. Tel est le cas de l'effeuilleuse Lafon, constituée par un arbre muni de tiges flexibles tournant à grande vitesse dans un cylindre horizontal perforé, qui tamise la lupuline.

Les effeuilleuses bien comprises permettent une économie assez sensible de houblon, mais elles ont le défaut de rendre

plus difficile la séparation des drêches de houblon, de s'encrasser vite et d'exiger des nettoyages fréquents.

Les broyeurs de houblon sont beaucoup moins répandus. Ils se distinguent des effeuilleuses en ce qu'ils ne séparent aucun des éléments du houblon et se bornent à améliorer l'extraction par la fine division qu'ils produisent. Ces appareils ont été utilisés en Allemagne : ils permettent de réduire de 15 p. 100 la dose de houblon ; mais il faut un panier spécial pour retenir les drêches, qui sont très fines. On ajoute ordinairement ces drêches à l'empâtage du brassin suivant.

D'assez nombreux procédés sont basés sur l'utilisation du houblon humide. Dans ce groupe d'appareils, nous pouvons citer d'abord les extracteurs de houblon, fonctionnant à la vapeur. Ils se composent, en principe, d'une petite chaudière close, chauffée à la vapeur, dans laquelle on introduit le houblon avec un peu de moût. On chauffe, et un agitateur à peignes placé dans l'appareil divise la masse et effeuille les cônes. Quand l'extraction est complète, on vide le contenu de l'extracteur dans la chaudière une heure avant la fin de l'ébullition. Ces appareils n'ont pas donné toujours satisfaction au point de vue du goût de la bière : il y a danger d'altération de corps aromatiques, et on a constaté que la tenue de la mousse était ordinairement moins bonne.

D'autres extracteurs broient et malaxent le houblon avec le moût fort et les eaux de lavage qui s'échappent de la cuve à filtrer ou du filtre à moûts. Le système Halut comprend un récipient cylindrique ouvert dont la profondeur est plus grande que le diamètre et qui se rétrécit légèrement à la partie supérieure. Le fond laisse passer un axe vertical actionné par le dessous, qui porte près du fond du récipient un vagueur destiné à donner au liquide un mouvement continu vers la périphérie et vers le haut. Au-dessus de ce vagueur et au centre du récipient est placé un cône renversé, ouvert en haut et en bas, dont la surface interne est rugueuse. Dans cet entonnoir se meut une vis d'Archimède qui épouse la forme du cône et qui est calée sur l'arbre central qui porte le vagueur. Dans la partie supérieure du récipient, à 30 centimètres environ du haut, est placée une bague portant un fin tamis cylindrique de dia-

mètre inférieur à celui du récipient. Au-dessus du tamis se trouve le tuyau de sortie qui conduit le moût à la chaudière. Le tuyau d'arrivée, venant de la cuve de filtration, est placé tangentiellement, juste au-dessous du tamis. On trempe d'abord le houblon dans l'eau bouillante une demi-heure avant de commencer le soutirage, puis on fait arriver le moût venant de la cuve-filtre en faisant marcher l'agitateur. La masse prend un mouvement centrifuge vers le haut et l'extérieur, tandis que la vis verticale, agissant en sens inverse, fait descendre le moût avec le houblon dans le cône où il est pressé et finalement rejeté dans le corps du récipient où le houblon absorbe une nouvelle quantité de moût. Le même phénomène se reproduit sans cesse : tout le moût fort et tous les lavages passent dans l'appareil. L'épuisement en principes utiles est ainsi complet ; il ne reste que 0,5 p. 100 de substances amères dans les drêches, et le lavage des houblons est parfait. Ce procédé a l'avantage de permettre l'infusion du houblon dans du moût constamment renouvelé ; les pressions répétées permettent une extraction complète des principes utiles, sous forme d'émulsion très fine, et le lavage complet entraîne une récupération d'environ 4 litres de moût par kilogramme de houblon. La dose de houblon peut être réduite de 25 à 30 p. 100. Cette méthode a par contre d'assez sérieux inconvénients : le houblon en chaudière présente une surface considérable pour le dépôt des matières albuminoïdes coagulées, et ce fait est particulièrement important dans le brassage par infusion, où toutes les matières azotées coagulables se précipitent en chaudière. Avec le système précédent, on envoie tout le précipité au bac, au lieu d'en retenir la plus grande partie dans les drêches du houblon.

Le prix de l'appareil est en outre élevé.

Pour obtenir une bonne utilisation du houblon, il ne semble pas qu'il soit nécessaire de recourir à un agencement d'extracteurs aussi compliqué. L'agitation mécanique en chaudière, avec un bon vagueur à hélice, améliore l'extraction à peu près dans les mêmes proportions que les extracteurs ; en outre, on accélère ainsi le chauffage. Cette agitation divise les cônes et évite l'agglutination des folioles par la lupuline, qui retarde l'extraction. Pour les usines qui n'ont pas de vagueur en chau-

dière, Petit conseille de faire passer le moût de la chaudière, après addition du houblon, par la pompe centrifuge qui le broie et le renvoie en chaudière. La pompe centrifuge peut être remplacée par un cylindre déchiqueteur à palettes et une pompe rotative de circulation. Ces dispositifs très simples permettent d'améliorer beaucoup l'extraction, sans recourir à aucun appareil spécial.

Il convient d'ailleurs d'être assez réservé au sujet des économies de houblon que peuvent entraîner ces appareils. En général, on se contente de faire un brassin avec la méthode ordinaire de houblonnage et un second brassin avec emploi d'une dose de houblon plus faible et de l'appareil extracteur, et on se déclare satisfait si la saveur de la bière reste à peu près la même. On en conclut que le procédé permet une économie de 10, 15, 20 p. 100 de houblon. Cette manière d'opérer n'est pas exempte de critiques : il faudrait d'abord voir quelle est la diminution de dose de houblon qui est sensible à la dégustation avec l'ancienne méthode. L'eau de brassage joue sous ce rapport un rôle très important : avec certaines eaux, une réduction de 5 à 6 p. 100 de la dose de houblon passe inaperçue ; avec d'autres, une variation très faible se remarque aussitôt. En outre, on ne peut guère décider, d'après l'amertume de la bière, si la réduction de la dose de houblon est possible. Le houblon apporte d'autres principes que les corps amers, et ces principes ont un rôle important dans la clarification, la nutrition azotée des levures et surtout dans la stabilité de la bière. En particulier, la réduction de la dose de houblon, jugée possible par la dégustation, peut entraîner une diminution de stabilité dont il est indispensable de se rendre compte. La question mérite donc d'être examinée avec plus d'attention que ne comporte un simple examen organoleptique.

RENDEMENT AU BRASSAGE

Le rendement au brassage est représenté par la quantité d'extrait formé dans la pratique par cent parties de malt ou d'autres matières premières. Sa détermination présente le plus haut intérêt, car elle donne des indications précises sur la

manière dont le travail est conduit. Le chiffre du rendement en lui-même ne permet pas une appréciation exacte : c'est en comparant le rendement pratique avec le rendement obtenu au laboratoire qu'on peut porter un jugement précis sur les résultats du travail du brassage.

Causes qui font varier le rendement au brassage. — Les causes qui font varier le rendement au brassage sont extrêmement nombreuses. On peut citer notamment : la nature du malt, le mode de concassage, la finesse de la mouture, le mode de brassage, le degré d'épuisement des drêches, le matériel de brassage, la nature de l'eau, etc.

Le rendement en extrait dépend avant tout de la qualité du malt. Ce n'est qu'avec un bon malt, bien désagrégé, qu'on peut espérer obtenir un rendement élevé. Les malts à bouts durs se saccharifient plus difficilement ; les parties non désagrégées ne se dissolvent que partiellement pendant le travail du brassage, surtout si la mouture est grossière, et il en résulte une diminution de rendement.

Nous avons vu, à propos du concassage, l'influence de cette partie du travail : le rendement est plus faible si le concassage est mal effectué, s'il reste des grains qui ne sont pas touchés par le moulin et s'il y a une forte production de folle farine. Nous ne reviendrons pas ici sur l'influence de la finesse de la mouture que nous avons étudiée à propos du concassage. Plus la mouture est fine, plus le rendement est élevé, surtout avec les malts médiocres.

Le procédé de brassage joue un rôle important dans le rendement. Il peut d'abord fournir un rendement plus ou moins élevé suivant la nature du malt. Par exemple, un malt médiocre et pauvre en diastase conduira à un rendement défectueux si on le soumet à une méthode de brassage brutale, avec empâtage à température élevée et travail rapide. Il pourra, au contraire, fournir une saccharification satisfaisante et un rendement passable avec une méthode lente de brassage et un empâtage à basse température. Les procédés de brassage par infusion et par décoction donnent des rendements sensiblement égaux avec les bons malts ; mais avec les malts médiocres, l'ébullition des trempes en décoction permet d'obtenir un rende-

ment plus élevé. Le mode d'empâtage a également une influence sur le rendement. Nous avons vu que l'empâtage prolongé augmente fortement le rendement, surtout avec les malts médiocres. En outre, comme l'épuisement est d'autant plus parfait que les lavages sont plus abondants, on a intérêt à empâter très épais et à réduire le volume du moût fort de manière à pouvoir laver à fond et à laisser dans la chaudière un espace suffisant pour les trempes de lavages. Le rapport du volume du moût fort au volume des trempes de lavages doit être voisin de 1 à 2, ou au moins de 1 à 1,5. On a observé également que les méthodes de brassage qui conduisent à la production de moûts riches en dextrines, telles que le brassage par sauts, donnent des rendements moins élevés que celles qui fournissent des moûts riches en maltose. L'explication, très simple, de ce fait, a été donnée par Fernbach. Cette diminution de rendement ne tient pas à la méthode de brassage, mais aux produits formés. Chaque kilogramme d'amidon qui se transforme en dextrines donne un kilogramme d'extrait sous forme de dextrines, mais chaque kilogramme d'amidon ou de dextrines qui se transforme en maltose donne 1 kg. 055 d'extrait sous forme de maltose, par suite de la fixation d'eau. On obtient donc d'autant plus d'extrait avec 100 kilogrammes d'amidon qu'on produit plus de maltose, et il est par suite évident que les méthodes qui conduisent à des moûts très riches en dextrines donnent des rendements plus faibles.

Le degré d'épuisement des drèches a aussi une importance capitale au point de vue du rendement. Celui-ci est d'autant plus élevé que l'épuisement est plus parfait. Nous avons vu que l'emploi d'eau très chaude, le piochage des drèches, la réduction du moût fort, la haute température du soutirage, etc., augmentent le rendement. Quand il se forme dans la masse des drèches des îlots qui ne sont pas traversés par les eaux de lavages, les pertes de rendement peuvent devenir sensibles. Si on compare la densité du moût qui s'écoule des robinets avec celle du moût qui provient de la pression d'un échantillon moyen de la drèche, on trouve dans ce cas des différences appréciables, et on peut compter que chaque dixième de degré densimétrique observé dans cette différence correspond à une

perte de rendement d'un dixième de degré-hectolitre par 100 kilogrammes. Si le lavage a été régulier et s'il n'y a pas de différence sensible entre le degré densimétrique des eaux qui s'écoulent des robinets de mise en perce et des eaux de pressurage des drêches, chaque degré densimétrique de ces eaux correspond à une perte de rendement d'environ 1° hectolitre par 100 kilogrammes, dans les eaux qui imbibent les drêches. Quand les dernières eaux donnent 1° densimétrique, on peut donc évaluer la perte à 1° hectolitre par 100 kilogrammes de versement.

La nature des eaux intervient aussi pour modifier le rendement au brassage. Nous avons vu, en étudiant la composition chimique de l'eau, que les carbonates entraînent une diminution de rendement plus ou moins sensible suivant l'acidité des malts. La correction de ces eaux par l'acide sulfurique élève le rendement. Le sulfate de chaux donne une augmentation de rendement, mais cette augmentation est surtout apparente, car l'accroissement de densité qu'on observe provient principalement de la dissolution du sulfate de chaux. Nous ne reviendrons pas ici sur ces questions, que nous avons étudiées dans le chapitre consacré aux eaux de brassage.

Enfin la qualité du matériel de brassage influe sur le rendement. La disposition de la cuve à filtrer joue notamment un rôle important dans l'épuisement. L'emploi du filtre à mouës qui permet de recourir à la mouture fine, augmente sensiblement le rendement au brassage.

Comparaison du rendement au laboratoire avec le rendement pratique. — Pour le rendement au laboratoire, il est nécessaire d'envisager le rendement obtenu avec la mouture fine; on y joint parfois le rendement correspondant à la mouture grossière fourni par le moulin étalon de Seck placé à la graduation 25. La différence entre ces deux rendements donne des renseignements du plus haut intérêt sur la qualité du malt et sur son état de désagrégation. Elle est faible avec les bons malts, bien friables, et elle peut atteindre 3 à 4 p. 100 d'extrait avec les malts durs et insuffisamment désagrégés.

S'il s'agit d'une installation comportant l'emploi du filtre à mouës, la comparaison du rendement pratique doit être

faite avec le rendement de laboratoire sur mouture fine. Si le travail se fait en cuve de filtration, il est bon de comparer le rendement pratique avec le rendement de laboratoire sur mouture fine et sur mouture grossière. La comparaison unique avec le rendement en mouture fine pourrait entraîner en effet de graves erreurs si le malt est mal désagrégé ; la différence de rendement entre les deux moutures est alors considérable, et le rendement pratique avec la cuve-filtre peut être très inférieur au rendement de laboratoire sur mouture fine, malgré un excellent travail. On ne peut évidemment extraire que ce que la mouture peut donner, et il serait tout à fait injuste de rendre un appareil ou un chef brasseur responsable de faits qui ne proviennent que de la qualité défectueuse de la matière première. Avec le filtre à moûts au contraire, la comparaison du rendement pratique avec le rendement de laboratoire sur mouture grossière pourrait amener à considérer comme excellent un travail qui donne un rendement voisin de ce rendement de laboratoire, lorsqu'en réalité il devrait être notablement supérieur par suite de l'emploi de la farine fine.

Il ne faut pas perdre de vue, en outre, que la méthode conventionnelle d'analyse des malts au laboratoire ne donne pas le rendement maximum qu'un malt peut fournir. Les conditions de travail de la méthode conventionnelle peuvent être inférieures à celles de la pratique, et on conçoit fort bien que des méthodes de brassage plus longues, comportant une température finale plus élevée, un empâtage plus prolongé, des trempes de décoction, puissent donner avec le même malt un rendement plus fort que la méthode conventionnelle. On conçoit de même que des méthodes de travail plus brutales, avec attaque à haute température, puissent donner un rendement plus faible. Les proportions relatives de maltose et de dextrines qui se forment dans la saccharification par la méthode du laboratoire peuvent être aussi très différentes de celles qui se forment avec les méthodes de travail adoptées dans la pratique, et il y a là une influence sur le rendement qui n'est pas à négliger, car nous avons vu qu'on obtient d'autant plus d'extrait par 100 kilogrammes qu'on produit plus de maltose. C'est ainsi qu'en soumettant à diverses méthodes de travail

des malts réduits en mouture fine, Windisch, Bischkopff et Stadel ont obtenu pour un même malt des rendements variant de 76 à 78 p. 100, le chiffre le plus bas étant fourni par la méthode conventionnelle.

Ces considérations expliquent qu'il soit possible, avec les méthodes de travail et les appareils modernes, d'obtenir des rendements pratiques supérieurs à ceux que fournit la méthode conventionnelle du laboratoire. Le fait se produit fréquemment avec l'emploi du filtre à moûts dans le brassage par décoction. Inversement, on peut avoir un travail de brassage parfait sous le rapport de l'utilisation des matières premières avec une méthode donnée, tout en obtenant un rendement inférieur à celui que donne le laboratoire, car la méthode employée dans la pratique conduit normalement à un rendement inférieur. Ce fait se produit surtout avec les procédés rapides d'infusion avec attaque à haute température.

Le mode rationnel de contrôle du rendement au brassage devrait donc consister à comparer le rendement pratique obtenu par 100 kilogrammes de matières premières, d'une part avec le rendement de laboratoire par la méthode conventionnelle et, d'autre part, avec le rendement obtenu au laboratoire en suivant un mode de travail identique à celui de la pratique. On fait pour cela un brassin d'essai, sur 50 grammes de malt, comportant les mêmes températures, la même durée, les mêmes proportions d'eau qu'à l'usine, et avec l'eau de la brasserie. Après filtration, la densité du moût est prise au pycnomètre, et on en déduit le rendement par la méthode ordinaire de calcul. On peut ainsi déterminer si le procédé employé est supérieur ou inférieur, comme rendement, à la méthode conventionnelle, et voir par comparaison de ces divers résultats avec le rendement pratique si les conditions dans lesquelles travaille l'usine sont bonnes sous le rapport du rendement.

Voici un exemple d'un contrôle de ce genre, effectué dans une salle de brassage travaillant par macérateur et filtre à moûts :

Versement : 1 894 kilos malt orge et 400^{ks},500 de riz.

Rendement de laboratoire du malt sur mouture fine :

Méthode conventionnelle D. H. 28,28

<i>Méthode de l'usine.</i>	D. H. 28,05
<i>Rendement du riz.</i>	D. H. 30,06

Rendement total du versement calculé d'après les résultats de laboratoire.

<i>Méthode conventionnelle.</i>	D. H. 656,08
<i>Méthode de l'usine.</i>	D. H. 651,66

Brassage ; en macérateur ; travail du riz à l'ébullition ; refroidissement et infusion descendante du malt avec attaque à haute température ; passage au filtre à mouls des 70 hectolitres de moût fort en 20 minutes ; lavage avec 110 hectolitres en 1 h 30. Dernières eaux de lavage : 0°,15 au densimètre.

Rendement pratique en chaudière, réduction de 4,2 p. 100 effectuée :

<i>Chaudière n° 1.</i>	86 ^{hl} ,476 à 3°95 soit, 341 D. H. 58
— <i>n° 2.</i>	84 ^{hl} ,46 à 3°7 soit, 312 D. H. 502
Total.	<u>654 D. H. 082</u>

Proportion du rendement du laboratoire :

<i>Parrapport à la méthode conventionnelle.</i>	99,3 p. 100
<i>Par rapport à la méthode de travail pratique.</i>	101,22 —

On ne doit pas manquer de tenir compte de toutes les considérations qui précèdent dans l'établissement des conventions au sujet des garanties de rendement qu'on demande aux constructeurs pour leurs appareils de filtration. Le contrat doit spécifier la nature de la mouture sur laquelle doit se faire l'analyse au laboratoire par la méthode conventionnelle, le caractère de désagrégation normale du malt, les grandes lignes de la méthode de brassage à adopter, le rapport du volume d'eau employée pour le moût fort à celui des trempes de lavages, qui doit être au moins de 1 à 1,5, l'autorisation de procéder s'il y a lieu à une correction appropriée des eaux, les conditions de détermination du rendement pratique en chaudière ou en cuve guilloire, etc. On ne saurait être trop précis à ce sujet, et bien des garanties données ont donné lieu à des contestations ou sont restées sans effet parce qu'on avait insuffisamment spécifié les conditions de réalisation de ces garanties.

Détermination du rendement. — Le rendement peut se déterminer soit dans la chaudière à houblonner, soit dans la

cuve guilloire. Le rendement en chaudière ne donne pas des résultats très exacts à cause de la présence du houblon et du trouble et de la déformation des chaudières à chaud : il est préférable de faire le rendement sur le moût refroidi, avant sa mise en levain, dans les recherches précises.

RENDEMENT EN CHAUDIÈRE. — Dans la pratique, on calcule le plus souvent le rendement en pesant le malt mis en œuvre, en mesurant le volume de moût contenu dans les chaudières, au moyen de la règle graduée, et en déterminant son degré densimétrique au densimètre légal à 15°. Le chiffre obtenu pour le volume du moût est faussé par la présence du houblon et du trouble et par la température élevée du liquide. Il est donc nécessaire de lui faire subir une correction. Pour le calcul du rendement qui sert de base à la régie en vue de l'établissement de l'impôt, nous avons vu, au chapitre consacré à la législation, qu'on fait dans ce but une réduction de 4 p. 100 du volume entre 91° et 100° et une réduction de 6 p. 100 au-dessus de 100°.

Le chiffre de 4 p. 100 est certainement trop faible, étant donné qu'il comporte à la fois la correction de température et celle qui correspond au volume du trouble et du houblon.

Pour les calculs de rendement destinés à contrôler la marche pratique du travail, il est préférable d'employer une méthode plus précise. On fait alors une correction de 4,2 p. 100 du volume, pour la température entre 95° et 100° ; on compte en outre que chaque kilogramme de houblon déplace 0^l,7 et que le trouble est de 2 litres par quintal de malt.

Connaissant le poids de malt employé, le volume corrigé du moût et le degré densimétrique, on a tous les éléments pour déterminer le rendement. Il suffit de multiplier le degré densimétrique par le volume du moût, en hectolitres, et de diviser le nombre de degrés-hectolitres ainsi obtenus par le poids de matières premières amylicées mises en œuvre.

RENDEMENT EN CUVE GUILLOIRE. — La détermination du rendement en cuve guilloire est beaucoup plus exacte. Elle se fait de la même manière, mais la correction de température comporte beaucoup moins d'incertitudes.

En outre, le chiffre n'est plus faussé par la présence du

trouble et du houblon, et il tient compte de la perte dans les drêches de houblon. On prend le volume du moût dans une cuve guilloire bien jaugée. En fermentation basse, la température du moût est ordinairement de 5° à 6°, et pour ramener le volume à 15°, il suffit, d'après Windisch et Mohr, d'augmenter le volume de $\frac{1}{450}$.

En fermentation haute, la température est généralement assez voisine de 15°, et on peut le plus souvent négliger dans la pratique la correction de température. On prend alors le degré densimétrique à 15°, on le multiplie par le volume de moût en hectolitres, et on divise le chiffre obtenu par le poids, en quintaux, du malt mis en œuvre.

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE PREMIER

NOTIONS STATISTIQUES, COMMERCIALES ET LÉGISLATIVES

1

Historique, 1. — Propriétés de la bière, 2. — Production de la bière, 4. — Consommation de la bière, 7. — Commerce de la bière, 7. — Législation, 8.

CHAPITRE II

MATIÈRES PREMIÈRES

12

Eau, 12. — Rôle de l'eau en fabrication, 13. — Action des carbonates, 13. — Carbonates de soude et de potasse, 16. — Carbonate de magnésie, 17. — Carbonate de chaux, 17. — Action des sulfates, 17. — Sulfate de chaux, 17. — Sulfate de magnésie, 19. — Sulfate de soude, 19. — Action générale de la chaux à l'état de sel, 19. — Action des chlorures, 20. — Action des sels de fer, 21. — Action des nitrates, 21. — Action des nitrites, 22. — Action de l'ammoniaque, 22. — Matières organiques, 22. — Microbes des eaux, 23. — Correction des eaux destinées à la fabrication, 25. — Emploi de l'eau pour l'alimentation des appareils, 28. — Correction des eaux destinées aux générateurs, 28.

Orge, 29. — Production et commerce, 29. — Caractères botaniques et variétés, 30. — Amélioration des orges de brasserie, 32. — Composition de l'orge, 35. — Appréciation de la valeur de l'orge de brasserie, 40. — Uniformité, 40. — Pouvoir germinatif, 41. — Aspect intérieur du grain, 42. — Pureté, 44. — Couleur, 44. — Forme, 44. — Odeur, 45. — Poids, 45. — Appréciation de la composition chimique de l'orge, 47.

Houblon, 49. — Production et commerce, 49. — Caractères botaniques et variétés, 52. — Composition du houblon, 54. — Appréciation de la valeur du houblon, 57. — Degré de siccité, 57. — Arôme, 57. — Proportion et état de la lupuline, 58. — Couleur, 59. — Odeur, 59. — Cueillette et triage, 59. — Forme et état des cônes, 50. — Uniformité des cônes, 60. — Finesse du rachis et écartement moyen des bractées, 60. — Proportion de graines, 62. — Composition chimique, 62. — Conservation du houblon, 63.

Matières amylacées diverses, 66. — Riz, 66. — Maïs, 67. — Autres matières amylacées, 69.

Matières sucrées, 70. — Glucoses, 70. — Sucre cristallisé, 71. — Sucre interverti, 72.

Produits accessoires divers, 72. — Clarifiants, 72. — Colorants, 73. — Poix, 74.

CHAPITRE III

MALTAGE

76

Caractères anatomiques du grain d'orge, 77.

Travail préparatoire de l'orge, 78. — Magasinage, 78. — Séchage de l'orge, 80. — Nettoyage de l'orge, 81.

Trempe, 89. — Phénomènes qui se produisent pendant la trempe, 90. — Fixation d'eau par le grain, 90. — Phénomènes chimiques et biologiques, 90. — Pratique de la trempe, 92. — Trempe ordinaire, 92. — Trempe avec aération, 95. — Températures de trempe, 97. — Lavage des grains, 98. — Emploi d'antiseptiques à la trempe, 99. — Circonstances qui influent sur la durée de la trempe, 100. — Caractères d'une bonne trempe, 101.

Germination, 102. — Étude théorique de la germination, 102. — Conditions nécessaires à la germination, 102. — Phénomènes qui accompagnent la germination, 102. — Désagrégation, 103. — Variations du pouvoir diastasique, 104. — Formation des sucres, 106. — Absorption d'oxygène et dégagement d'acide carbonique, 107. — Transformations des matières azotées, 108. — Autres modifications produites par la germination, 110. — Mécanisme de l'ali-

- mentation de l'embryon, 111. — Pratique de la germination, 112. — Conditions à réaliser dans la pratique. — 112. — Maltage au germoir, 116. — Germoirs, 116. — Pratique du travail au germoir, 118. — Sueur, 119. — Pelletages, 120. — Épaisseur des couches, 121. — Feu-trage, 122. — Dessiccation des couches et arrosages, 123. — Durée de la germination. Caractères d'une germination suffisante, 124. — Moisissures au germoir, 125. — Mal-tage pneumatique, 125. — Maltage pneumatique en cases, 125. — Maltage en tambours, 134. — Comparaison du maltage au germoir et du maltage pneumatique, 136. — Maltage par le procédé Kropf, 138. — Fanage du malt, 139.
- Tourailage*, 140. — Étude théorique du tourailage, 141. — Phénomènes qui se produisent dans le grain pendant le chauffage, 141. — Conditions à réaliser dans la pratique, 143. — Étude pratique du tourailage, 146. — Tourailles, 146. — Tourailles à feu direct, 146. — Tourailles à air chaud, 148. — Plateaux des tourailles, 152. — Retourneur mécanique, 154. — Tirage de la touraille, 157. — Contrôle des températures, 157. — Comparaison des divers types de tourailles, 159. — Nouveaux systèmes de tourailage, 161. — Pratique du tourailage, 164. — Tourailage des malts foncés, genre Munich, 166. — Tourailage des malts foncés, genre Pilsen, 167. — Tourailage en tam-bours, 167.
- Traitement du malt après tourailage*, 168. — Dégermage, 168. — Conservation du malt, 170.
- Malts colorants*, 172. — Préparation du malt colorant, 172. — Préparation du malt caramel, 173. — Composition des malts colorants, 173. — Emploi des malts colorants, 174.
- Contrôle de la malterie*, 174. — Pertes au maltage, 174. — Contrôle de la malterie, 177.
- Installation d'une malterie*, 179.
- Composition et appréciation du malt*, 183. — Composition du malt, 183. — Appréciation du malt, 187. — Examen physique du malt, 187. — Prélèvement de l'échantillon, 188. — Pureté, 188. — Couleur, 188. — Odeur, 188. — Poids de l'hectolitre, 188. — Poids de mille grains, 189. — Dimension des grains, 189. — Longueur de la plumule, 189. — État de l'amande, 190. — Pouvoir germinatif des

malts touraillés, 192. — Appréciation d'un malt par l'analyse chimique, 192. — Humidité, 192. — Durée de saccharification, 193. — Rendement en extrait, 194. — Couleur du moût; limpidité et odeur, 194. — Teneur du moût en maltose, 194. — Acidité, 195. — Matières azotées, 195. — Pouvoir diastasique, 196.

CHAPITRE IV

BRASSAGE

197

Concassage du malt, 197. — Principes du concassage, 197. — Moulins à malt, 200. — Pratique du concassage, 206.

Brassage, 210. — *Étude des principales diastases qui interviennent dans le brassage*, 211. — Saccharification diastasique de l'amidon, 211. — Historique, 211. — État naturel, 211. — Préparation de l'amylase, 212. — Propriétés de l'amidon, 213. — Action générale des diastases amylolytiques sur l'amidon, 216. — Dynamique de la saccharification diastasique de l'amidon, 217. — Théories de la saccharification, 219. — Action de la chaleur sur les diastases amylolytiques et sur leurs réactions, 221. — Marche de la saccharification par l'amylase, 224. — Arrêt de la saccharification, 226. — Influence de la réaction du milieu, 227. — Action des diastases protéolytiques, 228. — Action des sels et de certaines substances chimiques sur la saccharification, 228. — Produits de la saccharification diastasique, 229. — Diastases protéolytiques du malt, 231.

Matériel employé pour le brassage, 233. — Hydrateurs, 233. — Hydrateur mécanique, 233. — Hydrateur automatique, 234. — Cuve matière, 235. — Macérateur, 239. — Cuiseur, 242. — Chaudière à trempes, 243. — Cuve à filtrer, 249. — Cuve matière filtrante, 249. — Cuve à filtrer proprement dite, 252. — Filtre à mouls, 255. — Chaudières à houblonner, 260. — Panier à houblon, 264. — Croix écossaise, 265. — Autres appareils utilisés pour le brassage, 266. — Disposition des appareils de brassage, 267.

Description des principales méthodes de brassage, 272. — Méthodes de brassage avec malt pur, 273. — Méthodes par infusion, 273. — Méthodes par décoction, 275. — Méthode

bavaroise, 275. — Brassage abrégé, 277. — Brassage par sauts, 277. — Méthodes mixtes, 277. — Méthodes de brassage avec emploi de grains crus, 278. — Méthodes mixtes d'infusion et de décoction avec emploi des grains crus, 278. — Méthodes de décoction avec emploi des grains crus, 280. — Méthodes spéciales de brassage, 281. — Procédé Schmitz par saccharification complémentaire, 281. — Procédé Kubessa, 282. — Empâtage préalable, 282. — Procédé Wahl, 283.

Étude théorique de l'empâtage et du brassage, 284. — Empâtage, 284. — Influence de la température sur l'empâtage, 284. — Action de la durée sur l'empâtage, 285. — Influence de la quantité d'eau employée à l'empâtage, 286. — Influence du malt sur la température d'empâtage, 287. — Brassage proprement dit, 288. — Transformations des matières hydrocarbonées dans le brassage, 288. — Influence de la température, 288. — Influence de la durée, 289. — Influence de la nature du malt, 290. — Influence de la nature de l'eau de brassage, 290. — Transformations des matières azotées, 290. — Influence de la température, 291. — Influence de la nature du malt, 292. — Influence de la durée et du mode de brassage, 292. — Influence de la nature de l'eau, 293. — Transformations des matières minérales, 293. — Cas de l'emploi des grains crus, 294.

Application pratique aux diverses méthodes de brassage, 295. — Empâtage; emploi des appareils, 296. — Influence du mode d'empâtage, 297. — Température, 297. — Durée, 299. — Volume d'eau à employer, 299. — Brassage; emploi des appareils, 300. — Influence de la température, 301. — Influence de la durée, 302. — Influence de la nature du malt, 303. — Mécanisme des méthodes par infusion avec malt pur, 304. — Mécanisme des méthodes par décoction avec malt pur, 305. — Mécanisme de la méthode à moût trouble, 307. — Cas de l'emploi des grains crus, 308.

Soutirage et lavages, 309. — Mécanisme du soutirage, 309. — Soutirage par faux fond, 309. — Soutirage au filtre à moûts, 311. — Mécanisme des lavages, 312. — Emploi des appareils, 313. — Cuve à filtrer et filtre à moûts, 314. — Pratique du soutirage; soutirage sur faux fond, 316. — Soutirage par le filtre à moûts, 318. — Pratique des lavages; lavage sur faux fond, 318. — Degré d'épuisement, 319. — Lavages au filtre à moûts, 321.

CHAPITRE V

CUISSON ET HOUBLONNAGE

321

But de la cuisson, 321. — Phénomènes qui accompagnent la cuisson, 322. — Stérilisation du moût ; 322. — Concentration du moût, 322. — Coagulation des matières azotées, 322. — Cassure, 324. — Dissolution des principes du houblon, 324. — Oxydation du moût, 326. — Pratique de la cuisson et du houblonnage, 327. — Houblonnage, 328. — Modes de houblonnage, 328. — Nature du houblon à employer, 330. — Doses de houblon à employer, 330. — Épuisement du houblon, 332.

Rendement au brassage, 336. — Causes qui font varier le rendement au brassage, 337. — Comparaison du rendement au laboratoire avec le rendement pratique, 339. — Détermination du rendement, 342. — Rendement en chaudière, 343. — Rendement en cuve guilloire, 343.

Usines MEURA

TOURNAI (Belgique)



CONSTRUCTION

≡ DE TOUS LES ≡

APPAREILS de BRASSERIE



FILTRE A MOULTS MEURA

le Premier et le plus Perfectionné



PROJETS

PLANS

DEVIS

ET PRIX

SUR DEMANDE



PRÈS D'UN SIÈCLE D'EXPÉRIENCE

Dans
le traitement
des bières, cidres, vins,
le
**Pasteurisateur
Gasquet**
assure, au maximum,
**sécurité
économie**

SOCIÉTÉ DU FILTRE GASQUET

110, Rue Notre-Dame, BORDEAUX
PARIS - ALGER - ORAN

Projets Devis sur demande, sans engagement

SOCIÉTÉ RAPIDASE

64, Rue d'Arras, 64

(NORD) **SECLIN** (FRANCE)

Brasserie : Super-Clastase

Vous assure une augmentation de
Rendement — Facilite le Travail
Accélère la Filtration — Permet la
Récupération de l'Amidon des drèches

Distillerie : Procédés AMYLO Procédés EFFRONT

Installation — Contrôle — Mise en route
Redressement — Fournitures Levures
Mucors — Produits Nutritifs Antiseptiques

Tannerie : Batinase

Le seul confit bactérien donnant des
Peaux pleines, des Résultats constants

Textile : Rapidase

Pour le Désencollage de tous tissus — La Fabrication
de tous Apprêts et Encollages

La plus importante Malterie d'Europe

MALTERIES FRANCO-BELGES

Société anonyme au capital de 5.000.000 de francs

Anciens Établissements RENÉ BOUCHART

R.C. SEINE 14 971

Siège social et bureaux :

47, boulevard Haussmann, 47

PARIS (9^e)

3 USINES :

Ris - Orangis : (Seine-et-Oise) Confins
BEAUCE - GATINAIS

Prouvy : NORD (France)

Belœil : BELGIQUE

