

ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE

Publiée sous la direction de G. WERY

Couronnée par l'Académie des Sciences morales et politiques
et par l'Académie nationale d'Agriculture

E. BOULLANGER

DISTILLERIE

— I —

Encyclopédie Agricole

Chaque volume : 10 fr.

Botanique agricole	MM. SCHRIBAUX et NANOT, prof. à l'Inst. agron.
Chimie agricole, 2 vol.	M. ANDRÉ, prof. à l'Inst. agron.
Géologie agricole	M. CORD, professeur d'agriculture.
Hydrologie agricole	M. DIENERT, ingénieur agronome.
Microbiologie agricole, 2 vol.	M. KAYSER, maître de conf. à l'Inst. agron.
Zoologie agricole	M. G. GUÉNAUX, Chef de Travaux à l'Inst. agron.
Entomologie et Parasitologie agr. } Analyses agricoles, 2 vol. } Agriculture générale, 4 vol. } Engrais, 2 vol. } Céréales	M. GUILLIN, dir. du lab. de la S. des ag. de France. M. P. DIFFLOTH, professeur d'agriculture.
Prairies et plantes fourragères ... } Plantes industrielles	M. GAROLA, dir. des serv. agr. d'Eure-et-Loir.
Plantes sarclées	M. HITIER, maître de conf. à l'Inst. agron.
Cultures potagères	M. L. BUSSARD, prof. à l'Ec. d'hort. de Versailles.
Arboriculture fruitière	MM. L. BUSSARD et G. DUVAL.
Sylviculture	M. FRON, inspecteur des eaux et forêts.
Viticulture	M. PACOTTET, chef de lab. à l'Institut. agron.
Cultures de serres	MM. RIVIERE et LECQ, insp. de l'agric. à Alger.
Cultures méridionales	MM. DELACROIX et MAUBLANC.
Maladies des plantes cultivées, 2 v. } Zootechnie générale, 3 vol. } — Races bovines	M. P. DIFFLOTH, professeur d'agriculture.
— Races chevalines	
— Moutons	
— Chèvres, Porcs, Lapins ... }	M. VOITELLIER, maître de conf. à l'Inst. agron.
Apiculture	M. HOMMELL, professeur d'apiculture.
Pisciculture	M. G. GUÉNAUX, Chef de Travaux à l'Inst. agron.
Sériciculture	M. VIEL, insp. de la séric. de l'Indo-Chine.
Alimentation des animaux	M. R. GOUIN, ing. agronome.
Hygiène et maladies du bétail ... }	MM. CAGNY, méd. vétér., et R. GOUIN.
Hygiène de la ferme	MM. REGNARD et PORTIER.
Elevage et dressage du cheval ... }	M. G. BONNEFONT, officier des haras.
Chasse, Elevage du gibier, Piégeage. }	M. A. DE LESSE, ing. agronome.
Pratique du Génie rural	MM. ROLLEY, PROVOST, ing. des amél. agric.
Machines agricoles, 2 vol. }	M. COUPAN, chef de trav. à l'Inst. agronom.
Matériel viticole	M. BRUNET, Introduction par M. VIALA.
Matériel vinicole	
Constructions rurales	M. DANGUY, anc. dir. des ét. de l'Ec. de Grignon.
Arpentage et Nivellement	M. MURET, professeur à l'Institut agronomique.
Irrigations et Drainage	MM. RISLER et WERY.
Electricité agricole	M. PETIT, ingénieur agronome.
Météorologie agricole	M. KLEIN, ingén. agron., docteur ès sciences.
Meunerie	M. L. AMMANN, prof. à l'Ec. de Grignon.
Sucrierie	M. SAILLARD, prof. à l'Ecole des ind. agr.
Brasserie	M. BOULLANGER, s.-dir. de l'Inst. Past. de Lille.
Distillerie	
Pomologie et Cidrierie	M. WARCOLLIER, dir. de la stat. pomol. de Caen.
Vinification	M. PACOTTET, chef de lab. à l'Inst. agron.
Eaux-de-vie et Vinaigres	
Laiterie	M. CH. MARTIN, anc. dir. de l'Ecole d'ind. lait.
Cons. de Fruits et de Légumes, 2 v. }	M. ROLET, professeur d'agriculture à Antibes.
Indust. et Com. des Engrais	M. PLUVINAGE, ingénieur agronome.
Economie rurale	M. JOUZIER, prof. à l'Ecole d'agric. de Rennes.
Législation rurale	
Comptabilité agricole	M. CONVERT, professeur à l'Institut agronom.
Commerce des Produits agricoles. }	M. POHER, insp. commercial à la C ^{ie} d'Orléans.
Comment exploiter un domaine ... }	M. VUIGNIER, ingénieur agronome.
Valeur de la terre en Franco. }	M. P. CAZIOT, inspecteur du Crédit Foncier.
Le Livre de la Fermière	M ^{me} O. BUSSARD.
Précis d'Agriculture	
Lectures agricoles	M. SELTENSPERGE ^r , professeur d'agriculture.
Dictionnaire d'Agriculture	

EC /
352

ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE

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

DISTILLERIE

AGRICOLE ET INDUSTRIELLE

EAUX-DE-VIE DE FRUITS — RHUMS

PAR

Eugène BOULLANGER

INGÉNIEUR AGRONOME

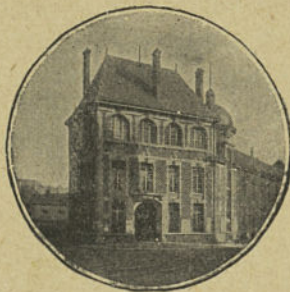
SOUS-DIRECTEUR DE L'INSTITUT PASTEUR DE LILLE

— I —

Matières premières de la Distillerie.
Préparation et Fermentation des Moûts.

TROISIÈME ÉDITION REVUE ET AUGMENTÉE

Avec figures intercalées dans le texte.



PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

19, rue Hautefeuille, près du boulevard Saint-Germain

1924

Tous droits réservés.

IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

PRÉFACE DE LA TROISIÈME ÉDITION

Le cadre primitif de cet ouvrage a été, dans cette nouvelle édition, sensiblement élargi, pour pouvoir donner aux questions de fabrication de l'alcool tout le développement utile. Tandis que dans les deux premières éditions l'industrie de la distillerie était décrite en un seul volume, nous avons dû lui en consacrer deux dans la présente édition : le premier tome comprend l'étude des matières premières, de la préparation et de la fermentation des moûts; le second tome traite de la distillation, de la rectification et des résidus de la distillerie.

Dans notre premier volume, divisé en cinq parties, nous avons d'abord consacré un chapitre à la production et au commerce des alcools; nous y avons joint la description des nouvelles méthodes de fabrication de l'alcool aux dépens du bois et des lessives sulfiteuses et l'étude des débouchés de l'alcool, notamment en ce qui concerne son emploi pour la production de la force motrice.

La deuxième partie est consacrée à l'examen

des propriétés et des usages de l'alcool et à l'alcoométrie.

Dans la troisième, nous avons étudié les diverses matières premières de l'industrie de la distillerie : betteraves, mélasses, matières amylacées, fruits, etc., au point de vue de leurs caractères, de leur composition chimique et de leur analyse.

La quatrième partie comprend la préparation des moûts de betteraves, de mélasses, de topinambours, de fruits, de matières amylacées, la description du matériel employé pour cette préparation, l'étude et la comparaison des divers modes de travail, les méthodes d'analyse des moûts et des pulpes.

La cinquième partie est consacrée à la fermentation de ces divers moûts et à la description de certains procédés spéciaux, tels que le procédé Amylo et les méthodes de fabrication de la levure pressée.

Notre second volume est divisé en trois parties. Dans la première, nous avons étudié la distillation et la rectification de l'alcool au point de vue théorique; cette étude est suivie de la description des appareils de distillation et de rectification et de l'exposé des méthodes d'analyse des alcools.

La seconde partie comprend le contrôle du travail et la détermination du rendement en alcool.

Enfin, la troisième partie est consacrée à l'étude

des résidus de la distillerie au point de vue de leur composition et de leur utilisation agricole. Nous avons tout particulièrement insisté sur les vinasses de betteraves, dont l'emploi en distillerie agricole présente un grand intérêt.

Dans chacune de ces parties, nous avons cherché à mettre d'abord en évidence les bases théoriques sur lesquelles reposent les méthodes de travail, et à appliquer ensuite à la pratique les conclusions fournies par l'étude scientifique. Dans chaque opération, un chapitre spécial a été consacré au matériel et nous sommes heureux de remercier ici MM. les constructeurs qui nous ont très aimablement fourni les dessins utiles pour compléter la description des appareils. Nous avons en outre cherché, dans chaque phase de la fabrication, à donner à l'industriel les renseignements nécessaires pour l'appréciation et le contrôle de son travail, et notamment les méthodes d'analyse chimique et bactériologique à adopter dans chaque cas.

Nous avons enfin réuni, en appendice, les tables de la force réelle, des richesses alcooliques et de mouillage des alcools.

Nous avons dû supposer connues des lecteurs les notions indispensables de bactériologie générale et industrielle et de chimie biologique qui ont été exposées dans cette Encyclopédie, soit dans notre ouvrage sur la *Brasserie*, en ce qui concerne la fermentation alcoolique et la saccharification diastasique de l'amidon, soit dans

l'excellent livre de M. Kayser sur la *Microbiologie agricole*. Le maltage a été également très brièvement traité, cette partie de la fabrication ayant été étudiée dans notre ouvrage sur la *Malterie*, de cette Encyclopédie.

Nous espérons que ce travail pourra rendre quelques services non seulement aux élèves qui désirent acquérir les connaissances théoriques et pratiques indispensables pour aborder l'industrie, mais aussi aux distillateurs et aux agriculteurs, en leur permettant de comparer entre elles les diverses méthodes de fabrication et en leur montrant les services que peuvent se rendre mutuellement la science et la pratique.

Lille, le 30 Août 1923.

Eugène BOULLANGER.



DISTILLERIE

AGRICOLE ET INDUSTRIELLE

EAUX-DE-VIE DE FRUITS, RHUMS

— I —

I. — NOTIONS GÉNÉRALES

L'industrie de la distillerie a pour objet la production de l'alcool par la distillation des moûts fermentés. Ces moûts peuvent s'obtenir aux dépens d'un grand nombre de matières premières. On réserve ordinairement le nom d'*eaux-de-vie* aux alcools qui proviennent de la distillation des vins, cidres et fruits et on désigne sous le nom plus général d'*alcools* les produits obtenus par la fermentation et la distillation des betteraves, des mélasses, des grains, etc.

Les principales matières utilisées en France pour la fabrication des alcools sont : la betterave, la mélasse de betteraves et les substances farineuses telles que le maïs, l'orge, le seigle, le riz et le manioc. En Allemagne, la matière première la plus importante est la pomme de terre, puis le seigle, l'orge, l'avoine et le maïs ; il en est de même en Autriche-Hongrie et en Russie. L'Italie et l'Angle-

terre travaillent surtout le maïs. La transformation de ces diverses matières premières donne lieu à des industries également très diverses, dont quelques-unes présentent, pour l'agriculteur, le plus haut intérêt.

Distillerie de betteraves. — Il y a environ cinquante ans, les alcools provenaient, pour la plupart, de la distillation du vin. En 1854, la crise de l'oïdium vint diminuer dans de grandes proportions la production des vins; le prix de l'alcool s'éleva à plus de 200 francs l'hectolitre et on chercha à appliquer à l'industrie les recherches de Dubrunfaut, qui dès 1824 avait signalé la possibilité d'obtenir de l'alcool par fermentation et distillation du jus de betteraves acidulé par l'acide sulfurique. Les études de Champonnois sur la macération à la vinasse et sur la fermentation des moûts de betteraves furent le point de départ de la nouvelle industrie, et en quelques années on vit s'établir de nombreuses distilleries agricoles, produisant l'alcool avec la betterave et utilisant les résidus pour l'alimentation du bétail.

Cette industrie présente une haute importance agricole et économique. C'est en effet essentiellement une industrie annexe de la ferme, mettant en œuvre les betteraves récoltées sur le domaine. L'alcool, qui provient de la fermentation du sucre, est le seul produit exporté : or le sucre est formé par la betterave aux dépens de l'eau et de l'acide carbonique de l'atmosphère, grâce à la chlorophylle des feuilles. Les matières azotées et salines enlevées au sol lui sont rendues en grande partie sous forme de fumiers ou vinasses. L'autre partie est utilisée par les animaux pour leur alimentation et leur engrais-

sement. La culture de la betterave n'appauvrit donc pas le sol, et comme elle exige des soins minutieux, des labours profonds, des fumures copieuses, des sarclages fréquents, elle contribue sans cesse à accroître la fertilité de la terre et élève ainsi le rendement des plantes qui lui succèdent dans l'assolement. L'extension de la culture de la betterave a permis en outre aux exploitations agricoles d'entretenir et d'engraisser un nombre de têtes de gros bétail beaucoup plus considérable, grâce à la production des pulpes qui constituent un résidu de très grande valeur pour l'alimentation des animaux. Les ouvriers agricoles trouvent enfin dans cette industrie une main-d'œuvre abondante.

Jusqu'en 1878, la distillerie de betteraves s'est peu développée, à cause de la concurrence des distilleries de grains et de mélasses. Mais à partir de 1880, la production des alcools de betteraves a augmenté rapidement; elle a passé de 430.000 hectolitres en 1880 à 1.047.000 hectolitres en 1899. En 1902, l'augmentation progressive de la production des alcools de mélasses et la difficulté d'écoulement des vins, qui entraînait leur distillation en fortes quantités, amenèrent en distillerie de betteraves une crise passagère; la production des alcools de betteraves tomba à 520.707 hectolitres. Cette crise a été rapidement surmontée. A la suite des modifications de notre législation sucrière et notamment de la suppression des primes, certaines sucreries se sont transformées en distilleries de betteraves; en outre la production des alcools de mélasses a sensiblement diminué. La distillerie de betteraves s'est ainsi trouvée de nouveau dans une situation excellente, et dès 1904, elle a été à près d'un

million d'hectolitres. A partir de cette époque, elle a sans cesse progressé pour atteindre, en 1913, 1.559.640 hectolitres, ce qui représentait alors plus de la moitié de la production totale française.

La guerre européenne a considérablement réduit cette production. En 1918, la production des alcools de betteraves était tombée à 283.140 hectolitres. La destruction complète de 111 distilleries de betteraves, situées dans la région du Nord, a été la cause principale de ce déficit. Depuis l'armistice, la production s'est un peu relevée : elle a atteint 474.954 hectolitres en 1920 et 608.492 hectolitres en 1922, par suite de la reconstitution de certaines usines du Nord et de l'augmentation des emblavements de betteraves. Mais cette industrie n'en subit pas moins une crise très grave, pour des raisons générales que nous exposerons plus loin en examinant la production des alcools.

Distillerie de mélasses. — Cette industrie ne présente pour l'agriculture qu'une importance secondaire, car elle est surtout localisée dans de grandes usines qui tirent leur matière première des sucreries et dans lesquelles l'agriculteur n'a aucun intérêt direct. Les salins qu'on extrait des vinasses constituent cependant des engrais potassiques importants.

En 1901 et 1902, la mélasse fournissait près d'un million d'hectolitres d'alcool. Depuis 1903, la production a fortement diminué jusqu'en 1905 où elle est tombée à 516.173 hectolitres, par suite de la crise sucrière. La production des alcools de mélasses s'est ensuite maintenue entre 450.000 et 600.000 hectolitres, la matière première étant devenue plus rare par suite de la diminution de la fabrication du sucre et de l'emploi croissant de la mélasse dans l'alimen-

tation du bétail. La production de 1913 a été de 606.690 hectolitres.

Cette industrie a été également très touchée par la guerre. La production des alcools de mélasse est tombée à 376.951 hectolitres en 1914 et s'est abaissée progressivement à 56.147 hectolitres en 1920, par suite de la destruction d'un grand nombre de sucreries françaises et du manque de matière première. Il y a eu un relèvement sensible en 1921, où la production des alcools de mélasse a atteint 264.101 hectolitres : cette reprise tient évidemment à la reconstitution partielle de nos sucreries françaises et aussi à l'utilisation de la mélasse dans les nouveaux procédés de fabrication de la levure. La distillerie de mélasses souffre cependant beaucoup aussi du régime actuel des alcools et elle est encore loin d'avoir repris sa prospérité d'autrefois.

Distillerie de matières amylacées. — La distillerie de matières amylacées a subi en France de grandes variations par la suite de l'établissement, à diverses reprises, de droits d'accises sur les maïs étrangers. Fortement diminuée en 1891, la production des alcools de substances farineuses a pris jusqu'en 1900 un développement considérable et elle est passée de 292.000 hectolitres en 1891 à 714.000 hectolitres en 1899. L'établissement de nouveaux droits sur les maïs et le bas prix de l'alcool ont fait retomber la production à 219.339 hectolitres en 1902. Par suite du relèvement des cours, la production est remontée à 589.344 hectolitres en 1905 pour redescendre à 358.759 hectolitres en 1906. Depuis cette époque, la production des alcools de substances farineuses s'est élevée peu à peu jusqu'en 1912 où elle a atteint le chiffre de 881.000 hecto-

litres. En 1913, la production est de nouveau tombée à 429.073 hectolitres.

Jusqu'à cette époque, la distillerie de matières amylacées a été en quelque sorte la soupape de régulation des cours de l'alcool. Comme elle ne pouvait produire aussi économiquement que la distillerie de betteraves, elle n'intervenait, en forte production, que lorsque les conditions du marché de l'alcool le lui permettaient, et notamment dans le cas d'élévation des cours par suite de récolte déficitaire de betteraves.

Pendant la guerre, la production des alcools de grains s'est élevée peu à peu pour atteindre en 1916, 665.232 hectolitres et en 1917, 535.480 hectolitres, par suite de l'emploi de substances farineuses étrangères. L'élévation des changes et l'interdiction d'utiliser pour la fabrication de l'alcool les céréales panifiables ont fait retomber la production à 114.077 hectolitres en 1918, et elle s'est maintenue sensiblement à ce chiffre en 1919 et 1920. Elle est remontée en 1921 à 170.557 hectolitres, par suite de la reconstitution de fabriques de levures, qui seules ont aujourd'hui la faculté de distiller des céréales de bonne qualité. Ces céréales sont surtout constituées par du seigle, de l'orge et du maïs.

La distillerie de pommes de terre n'existe pas en France, mais elle a pris une extension considérable en Allemagne où la culture de la pomme de terre occupait avant la guerre plus de 3.000.000 hectares. Les causes du développement de la distillerie de pommes de terre en Allemagne sont assez nombreuses, mais elles résident surtout dans la législation de l'alcool, qui prévoit une réduction de l'impôt pour les petites distilleries qui utilisent les pommes de terre comme matière première.

En France, quelques tentatives très intéressantes ont été faites dans le but de fabriquer de l'alcool avec les pommes de terre, mais cette industrie ne s'est pas développée, et depuis plusieurs années, les statistiques du Ministère des Finances ne signalent plus aucune production d'alcool aux dépens de cette matière première. Cependant, depuis les beaux travaux d'Aimé Girard, on sait que le climat de notre pays est aussi favorable que celui de l'Allemagne à la culture de la pomme de terre et qu'en observant des règles précises pour la culture de ce tubercule et en utilisant des variétés sélectionnées riches en fécule, on peut obtenir des rendements beaucoup plus élevés que ceux qu'on a obtenus pendant longtemps.

Cultivée ainsi d'une façon rationnelle, la pomme de terre est une matière première excellente pour la distillerie agricole. Elle peut fournir un haut rendement en alcool, et livre en outre des drèches excellentes qui permettent de nourrir deux fois plus d'animaux, par hectolitre d'alcool produit, que la pulpe de betteraves.

Distillerie de topinambours. — Cette industrie est peu répandue en France et elle ne se rencontre que dans quelques distilleries qui travaillent successivement des betteraves et des topinambours. Le topinambour a été considéré avec raison comme la betterave des pays pauvres; il fournit un rendement élevé en alcool et donne naissance à des pulpes de très bonne qualité. Dans les sols pauvres où la betterave vient mal, le topinambour est susceptible de devenir une bonne matière première pour les distilleries agricoles, si le développement des usages industriels de l'alcool permet une augmentation de la production,

Eaux-de-vie. — Les eaux-de-vie proviennent de la distillation des vins, des cidres, des marcs, des lies, des fruits et des miels. La production des eaux-de-vie de vin, de cidres, de marcs et de lies, de fruits est extrêmement variable avec les années, suivant l'abondance de la récolte et les conditions économiques du marché de l'alcool. Dans la période comprise entre 1900 et 1914, la production des alcools de vins variait ainsi de 330.966 hectolitres en 1901 à 30.208 hectolitres en 1903, celle des alcools de cidres variait de 115.220 hectolitres en 1901 à 8.507 hectolitres en 1903, celle des alcools de marcs et de lies de 161.820 hectolitres en 1908 à 54.903 hectolitres en 1903, celle des alcools de fruits de 58.016 hectolitres en 1908 à 3.159 hectolitres en 1903.

Dans la période de guerre européenne, la production des eaux-de-vie de vins a été très forte en 1915 (209.683 hectolitres); elle est tombée à 27.845 hectolitres en 1916 et s'est relevée peu à peu depuis cette époque pour atteindre 173.378 hectolitres en 1921.

La production des alcools de cidres a considérablement augmenté aujourd'hui, par suite de la création, depuis 1914, de distilleries de pommes. Avant cette époque, la production des alcools de cidres a très rarement dépassé 100.000 hectolitres. Elle a atteint 200.022 hectolitres en 1915 et après un fléchissement jusqu'à 31.917 hectolitres en 1919, elle est remontée à 185.709 hectolitres en 1920 et à 158.147 hectolitres en 1921.

Il en est de même pour les alcools de marcs et de lies, qui ont fourni 204.823 hectolitres en 1920 et 163.915 hectolitres en 1921. Quant aux alcools de fruits, leur production oscille depuis 1914 entre 10.000 et 20.000 hectolitres. Les derniers chiffres ont

été de 19.271 hectolitres pour 1920 et 13.679 hectolitres pour 1921. Les principaux fruits utilisés dans ce but sont les cerises, les prunes, les myrtilles, les mûres et les framboises.

Cette situation très favorable des alcools de vin, de cidres, de marcs, de lies et de fruits provient surtout de la loi du 30 juin 1916, qui a réservé à l'Etat la totalité de la production intérieure des alcools de bouche, à l'exception de ceux qui proviennent de la distillation des vins, cidres, poirés, marcs, lies et fruits frais, qui peuvent seuls être livrés directement à la consommation.

Distillerie de pommes. — Depuis 1914, à côté de la fabrication des eaux-de-vie de cidres des bouilleurs de crû et des cidreries, s'est créée une autre production d'alcool de pommes, provenant de distilleries spécialement agencées pour traiter cette matière première. Ces distilleries peuvent fabriquer à volonté de l'eau-de-vie de cidre à 65 degrés ou de l'alcool neutre de pommes à 90-96 degrés. Leur capacité de production varie de 25 à 100 hectolitres d'alcool pur à 100 degrés par jour. Elles conduisent leurs fermentations comme les distilleries industrielles de betteraves ou de grains et les terminent en quelques jours seulement.

Distillerie de matières sucrées diverses. — Les besoins en alcool du Service des poudres, pendant la guerre européenne, ont conduit à utiliser, pour la préparation de l'alcool, un grand nombre de matières sucrées diverses. On peut citer parmi celles-ci, notamment : les figues, les caroubes, les tiges de sorgho ou de maïs sucré, les marrons d'Inde, les glands, les algues, les figues de Barbarie, les patates, les résidus de corozo, etc.

Les figues sèches donnent un rendement de 18 à 23 litres d'alcool à 100 degrés par 100 kilogrammes; les caroubes donnent 22 à 24 litres, les marrons d'Inde 16 à 23 litres, suivant qu'ils sont entiers ou décortiqués, les glands entiers 18 à 20 litres par 100 kilogrammes de glands secs, les algues 14 à 15 litres par 100 kilogrammes d'algues sèches, les figues de Barbarie 9 litres par quintal sec, les patates 15 litres par 100 kilogrammes, les résidus de corozo 10 à 15 litres d'alcool par 100 kilogrammes.

Nous retrouverons plus loin les modes de préparation des moûts de ces diverses matières premières.

Alcool de bois. — L'idée d'extraire de l'alcool du bois en soumettant celui-ci à une hydrolyse et à une fermentation est très ancienne. Dès 1819, Bracconot avait publié un mémoire à ce sujet. Depuis cette époque, les essais de distillation du bois ont été nombreux, et ils ont donné lieu à la délivrance de beaucoup de brevets.

En 1894, Simonsen a préconisé le traitement de la sciure de bois par les acides étendus et à haute pression. Son procédé, qui permettait d'obtenir 7 lit. 5 à 9 litres d'alcool à 100 degrés par 100 kilogrammes de bois sec, n'est cependant pas devenu industriel, à cause des dilutions trop grandes des jus sucrés.

Depuis 1899, Classen a étudié l'hydrolyse du bois et préconisé certains procédés de travail. Sa méthode consiste à utiliser comme agent d'hydrolyse l'acide sulfureux. La sciure de bois est imbibée avec une solution saturée d'acide sulfureux, de manière à introduire, en acide sulfureux, 3 p. 100 du poids sec du bois. On chauffe ensuite à 150 degrés sous 7 kilogrammes de pression pendant 4 à 6 heures, on épuise le résidu par diffusion et on fait

fermenter les jus sucrés, après les avoir neutralisés.

Ce procédé, qui a été appliqué en Amérique, y a été abandonné par la suite, à cause de l'attaque des appareils, des difficultés d'épuisement et de la dépense en charbon et en acide sulfureux.

Roth emploie les acides sulfurique ou chlorhydrique à 3 ou 4 p. 100 en présence d'ozone, sous une pression qui peut aller jusqu'à 20 atmosphères. D'après les données du brevet, on obtiendrait 34 kilogrammes de dextrose fermentescible par 100 kilogrammes de bois de pin.

Kœrmer n'a pas observé l'action favorisante de l'acide sulfureux, signalée par Classen. Il a constaté au contraire que l'adjonction d'agents d'oxydation diminue le rendement en sucre, sauf avec l'eau oxygénée.

Depuis 1910, Tomlinson a réalisé en grand, en Amérique, la fabrication de l'alcool au moyen de la sciure de bois. Le procédé employé à l'usine de Georgetown serait le suivant : la sciure de bois de sapin est placée dans des digesteurs rotatifs en tôle d'acier, revêtus intérieurement de carreaux céramiques, avec de l'acide sulfurique étendu. On chauffe à la vapeur directe, sous pression, pendant une heure. On évacue la vapeur qu'on condense partiellement pour recueillir l'essence de térébenthine (200 à 300 grammes par tonne de bois sec). La sciure est alors épuisée dans une batterie de diffusion, pressée et utilisée comme combustible. Le jus obtenu est partiellement neutralisé, filtré, refroidi et envoyé à la fermentation. Celle-ci s'effectue en préparant d'abord un levain avec du malt et de l'orge, et en multipliant ensuite la levure obtenue dans une décoction refroidie de germes de malt dans

le jus sucré. Après développement, la levure est utilisée pour l'ensemencement du jus sucré dans les cuves de fermentation. Les rendements industriels, dans les conditions normales, atteignent 7 lit. 3 d'alcool à 100 degrés par 100 kilogrammes de bois sec et la production annuelle de l'usine est de 20.000 hectolitres d'alcool.

En France, la fabrication de l'alcool aux dépens de la sciure de bois a été étudiée et réalisée industriellement dans une distillerie de l'Ardèche, avant 1914.

Pendant la guerre, cette question de la fabrication d'alcool de bois a été reprise, vu les besoins en alcool pour la défense nationale.

Les recherches de Dubosc ont conduit aux conclusions suivantes :

1° En saccharifiant la sciure de bois par 2 parties d'acide sulfurique à 90-95 p. 100 d' SO^4H^2 pour 100 parties de sciure sèche, en présence de 400 parties d'eau, on obtient le maximum de rendement en sucre avec une pression de 7,5 atmosphères; le rendement décroît au-dessus ou au-dessous de cette pression.

2° La transformation est immédiate dès qu'on est arrivé à 7,5 atmosphères : le maximum de rendement est en effet atteint en 15 minutes.

3° En augmentant la durée de la cuisson, on n'augmente pas la teneur en sucre, mais on l'abaisse plutôt : la sciure est attaquée et il se forme des produits secondaires gênants.

4° Avec des sciures de sapins, on obtient un rendement de 22 à 23 p. 100 de sucre donnant en moyenne 100 à 115 litres d'alcool à 95° par tonne de bois traité.

5° A côté du sucre, il se produit de l'acide acétique, à raison de 1,4 p. 100 du bois traité, et de l'acide formique. Ce dernier acide se produit en proportions d'autant plus grandes que la cuisson à 7,5 atmosphères se prolonge davantage et ce fait a une grande importance, vu l'action nuisible de l'acide formique sur la fermentation alcoolique.

En Allemagne, la production de l'alcool de bois a été réalisée pendant la guerre de 1914-1918, avec les procédés Classen ou Windesheim-ten-Doornkaat. Par le procédé Classen, le travail a subi quelques modifications qui le rendent un peu différent de celui que nous avons exposé plus haut. Le chauffage de la sciure de bois se fait pendant 40 minutes dans des autoclaves rotatifs, avec de l'acide sulfureux, à une pression de 7 kilogrammes (165°). La vapeur est alors détendue aussi vite que possible et la masse est vidée dans des diffuseurs. On neutralise le jus obtenu, on l'additionne de sels nutritifs et on met en fermentation avec de la levure pressée. Le rendement est de 8 à 11 litres par 100 kilogrammes de matière sèche.

Dans le procédé Windesheim-ten-Doornkaat, la sciure de bois est chauffée avec de l'acide chlorhydrique dilué en présence de catalyseurs (sels métalliques), dans des autoclaves rotatifs, à 7 ou 8 atmosphères pendant 20 à 30 minutes. Le rendement est de 6 litres d'alcool par 100 kilogrammes de matière sèche, mais il est sûrement susceptible d'être amélioré.

Un nouveau procédé, le procédé Prodor, est basé sur l'hydrolyse de la sciure de bois par l'acide chlorhydrique à froid, ce qui réduit beaucoup la destruction du glucose pendant l'hydrolyse. Le procédé est

continu et permet une récupération presque complète de l'acide chlorhydrique employé. Le rendement serait de 250 litres d'alcool à 100° par tonne de sciure sèche. En outre, il reste dans les vinasses des pentoses non fermentescibles qu'on peut transformer en furfurol et de la lignine qui, par distillation sèche, donne autant d'alcool méthylique qu'en aurait donné tout le bois dont on l'a tirée : on sait, en effet, que la cellulose ne donne pas d'alcool méthylique par distillation.

Ce procédé est encore trop récent pour qu'on puisse en juger les résultats.

Il ne semble pas, d'ailleurs, que l'industrie de la production de l'alcool de bois puisse exister ailleurs que dans d'énormes centres forestiers, tels qu'il en existe en Amérique, susceptibles de fournir pendant toute l'année de grandes quantités de résidus de scieries. Ces conditions paraissent difficilement réalisables en France.

En outre, les rendements en alcool sont très faibles par rapport à ce qu'ils pourraient être. Le sucre fermentescible provient en somme de l'hydrolyse de la cellulose et les observations de Wilkening et Ost, ainsi que celles de Willstøetter et Zechmeister ont montré que la cellulose pure pouvait être saccharifiée par les acides concentrés, avec un rendement en sucre de 106 à 107 p. 100 du poids de la cellulose employée, ce qui représente 95 à 96 p. 100 du rendement théorique. Le rendement en alcool que donne le bois par hydrolyse est donc tout à fait minime par rapport à la quantité de cellulose qu'il renferme.

L'alcool de bois revient d'ailleurs plus cher que l'alcool de sulfite que nous allons étudier.

La production de cet alcool de bois ne pourrait devenir économique que si le bois, après attaque, pouvait être utilisé en vue de l'extraction de l'acétone et de l'alcool méthylique par distillation, comme l'envisage le procédé Prodor.

Alcool de lessives sulfiteuses. — Dans les fabriques de cellulose, on fait bouillir sous pression du bois désagrégé, avec une solution aqueuse de bisulfite de calcium, pour épurer la cellulose contenue dans le bois par élimination des matières qui l'imprègnent. La lessive de bisulfite se charge peu à peu en produits solubilisés : la cuisson achevée, la lessive usagée est évacuée et elle peut constituer une matière première très importante pour la production de l'alcool, car on obtient en moyenne 6 mètres cubes de lessives résiduelles par tonne de cellulose. Cette utilisation des lessives pour la production de l'alcool est d'autant plus intéressante que leur évacuation occasionne souvent de graves ennuis aux producteurs de cellulose.

Nous empruntons à un travail très documenté de M. Henri de Boistesselin, professeur à l'Institut Chimique de Rouen, paru dans le *Moniteur Scientifique* de 1922, les détails suivants, relatifs à cette méthode de fabrication de l'alcool.

De nombreuses recherches ont été faites pour produire de l'alcool avec les lessives sulfiteuses. Les premières études de Mitscherlich, de Sixeen Sandberg, de Lindsey et Tollens ne donnèrent que des résultats peu satisfaisants. Les recherches de Wallin, puis d'Ekstrom furent plus heureuses, et dès 1912, les usines de Skutkär et de Donnarspet en Suède produisaient journellement, par le procédé Ekstrom, 8.000 litres d'alcool à 50 degrés. Cette industrie

s'est beaucoup développée en Suède depuis cette époque; actuellement, 22 usines fabriquent dans ce pays de l'alcool de sulfite et leur production dépasse 20.000.000 litres d'alcool à 100 degrés.

En Allemagne, l'industrie de l'alcool de sulfite s'est établie pendant la guerre, dans 12 usines de cellulose qui produisent un total de 11.600.000 litres d'alcool.

Aux Etats-Unis, l'évolution est plus lente : il n'y existe que deux usines, avec une production totale inférieure à 100.000 hectolitres.

En France, aucune fabrique de cellulose ne produit d'alcool de sulfite. Cependant, la capacité de production de cellulose au sulfite en France est de 60.000 tonnes, ce qui permettrait d'assurer une fabrication de 24.000 hectolitres d'alcool à 100 degrés, et nous sommes obligés de demander à l'étranger 200 000 tonnes de pâtes, lesquelles correspondent à 81.000 hectolitres d'alcool. Si nous produisions toute la pâte dont nous avons besoin, il serait possible de fabriquer par cette voie 105.000 hectolitres d'alcool. Or, ce développement de l'industrie de la cellulose semble parfaitement réalisable, surtout en y adjoignant la production de l'alcool aux dépens des lessives résiduelles. Actuellement, les usines de cellulose établies en France ne fabriquent pas d'alcool de sulfite, parce que l'économie du procédé exige des usines de 30.000 tonnes de pâtes par an, susceptibles de fournir plus de 12.000 hectolitres d'alcool à 100 degrés. Les usines allemandes sont de ce type, tandis que la France n'a pas d'unités de ce genre. Il semble cependant que des installations ayant une capacité de production de 10.000 à 12.000 tonnes annuelles puissent encore envisager la fabrication de

l'alcool de sulfite, comme le font en Suède des usines de cette même puissance.

L'alcool de sulfite résulte de la fermentation des sucres contenus dans les lessives résiduelles. Ces lessives renferment en fin de cuisson environ 100 grammes de matières organiques par litre, dont 16 grammes de sucres fermentescibles et 9 grammes de pentoses infermentescibles. Cette composition est d'ailleurs variable suivant le mode de cuisson et la densité du chargement en bois par rapport au volume de lessive introduite.

Les méthodes employées pour la fabrication de l'alcool de sulfite se ramènent à deux types principaux : la méthode suédoise avec les procédés de Wallin, d'Ekstrom et de Landmarck et la méthode américaine avec les procédés de Marchand et de Mac Kee. La caractéristique de la méthode suédoise est l'élimination préalable, par voie chimique, de l'acide sulfureux de la lessive, tandis que la méthode américaine utilise, pour le même but, la chauffe et l'insufflation d'air.

Dans les procédés Wallin-Ekstrom, les lessives venant des digesteurs sont neutralisées par la chaux éteinte et le carbonate de soude, dans de grandes cuves en ciment armé. On les fait couler alors dans des tours de graduation où l'aération oxyde les matières organiques, enrichit le liquide en oxygène nécessaire à la vie de la levure, refroidit le liquide de 90 degrés à 30-35 degrés et le concentre de 2,5 à 8 p. 100. L'excès de chaux est éliminé par décantation et le liquide clair, renfermant 23 gr. 8 de sucres par litre est pompé dans des cuves de fermentation en ciment armé, munies de serpentins de réchauffage et de dispositifs d'injection d'air stérilisé. L'ense-

mencement se fait au moyen d'un pied de cuve à base de drèche de malt; la fermentation dure six jours à une température de 27 à 32 degrés : cette durée peut être réduite à trois jours en ajoutant des sels ammoniacaux à la lessive, avant la mise en fermentation. La levure est alors séparée et le liquide, qui titre 1,15 d'alcool, est envoyé à la distillation.

Dans le procédé Landmarck, on ajoute du petit-lait à la lessive avant sa neutralisation. Par ce moyen, il n'est pas nécessaire d'acclimater la levure à la vie en liqueur sulfiteuse pour obtenir la fermentation.

Le rendement en alcool est de 8 à 10 litres à 93 degrés par mètre cube de lessive. En 1914, le prix de revient de l'alcool à 100 degrés se montait pour une usine de 2.000 litres par jour à 0 fr. 325, soit 0 fr. 293 le litre d'alcool à 90 degrés, y compris les droits de fabrication, les droits de brevets, l'amortissement et les frais généraux. Le prix de fabrication proprement dit entrait dans ce total pour 17 centimes. Actuellement, le prix de revient comptable ressort, pour cette même unité, à 0 fr. 412 le litre.

Les procédés américains semblent encore trop récents pour qu'on puisse porter sur eux une appréciation. Dans le procédé Mac-Kee, on élimine le gaz sulfureux libre en faisant bouillir la lessive en même temps qu'on y fait passer un courant d'air jusqu'à ce que la teneur en gaz sulfureux ne dépasse pas 0 gr. 35 par litre. Cette opération est longue et pénible. On refroidit alors à 27-28 degrés, on ajoute la levure et on injecte de l'air pendant la fermentation. Dans des essais semi-industriels, on a obtenu un rendement en alcool à 95 degrés de 0,55 à 1,35 p. 100 du volume primitif de la lessive traitée.

Dans le procédé Marchand, on admet la lessive dans un jaugeur réchauffeur, après lui avoir ajouté de l'acide sulfurique et avoir éliminé les boues qui se précipitent. On maintient la lessive au-dessous de l'ébullition, puis on l'admet dans un évaporateur sous vide où une partie du gaz sulfureux est mise de nouveau en liberté; la lessive passe alors dans un second évaporateur où elle est maintenue à température plus basse sous un vide plus profond. Le jus est enfin traité par un oxydant pour transformer le sulfureux libre restant en acide sulfurique, puis il est envoyé à la fermentation. Marchand accuse obtenir 1,25 p. 100 d'alcool en volume.

Sous l'empire des circonstances créées par la guerre, la fabrication de l'alcool aux dépens des lessives sulfiteuses a été également réalisée en Allemagne par le procédé suivant : on élimine d'abord les acides acétique et formique en insufflant de l'air dans la lessive portée à 85-90 degrés, et en l'additionnant de carbonate de chaux et d'un peu de chaux éteinte. Cette opération, qui doit amener la masse à un degré d'acidité assez faible pour que la fermentation puisse s'y produire, se fait dans des récipients en béton, appelés tours de neutralisation, dans lesquels on laisse encore la lessive pendant quelques heures pour qu'elle se clarifie. La lessive séparée des boues subit alors une deuxième clarification dans un réservoir qui sert à remplir les cuves de fermentation. La lessive est alors envoyée dans une tour de concentration refroidie par de l'air, dans laquelle elle se refroidit, se sature d'air et se concentre jusqu'à un certain degré. La fermentation est faite dans de grandes cuves de 1.000 hectolitres de capacité à l'aide d'une levure très active et accou-

tumée lentement au milieu spécial que constitue la lessive bisulfiteuse. On y ajoute soit du sulfate d'ammoniaque, soit des superphosphates, soit de l'extrait de levure qui est préparé dans les distilleries de lessives avec la lavure en excès. La fermentation se fait à 29-30 degrés; elle demande en moyenne 72 heures et produit 9 litres à 9,5 litres d'alcool par mètre cube de lessive résiduaire.

La distillation des jus fermentés demande des appareils distillatoires spécialement agencés pour le traitement des jus très pauvres en alcool (0,9 à 0,95 p. 100); elle doit se faire en présence de carbonate de soude destiné à retenir les acides organiques volatils.

L'alcool obtenu contient parfois encore un peu d'acide sulfureux. Il ne se distingue des autres alcools bruts que par une faible teneur en alcool méthylique et en aldéhyde. Il est très amélioré par les appareils distillatoires qui travaillent avec séparation des têtes de façon à obtenir, par séparation de têtes représentant 10 p. 100 de l'ensemble, un alcool de sulfite susceptible d'être dénaturé et des têtes à purifier.

La fabrication de l'alcool de lessives sulfiteuses est donc particulièrement intéressante, et il est à souhaiter que cette source d'alcool soit utilisée en France où elle pourrait donner annuellement, comme nous l'avons vu, plus de 100.000 Hl d'alcool pour les usages industriels. La concentration de la vinasse provenant du moût sulfiteux et son traitement pour l'obtention d'alcool méthylique, d'acétone, d'acide acétique et de poix de cellulose par distillation sèche permettrait de réduire les frais de production et le prix de revient de cet alcool de sulfite.

Alcool synthétique. — Berthelot a réalisé la synthèse de l'alcool en partant de l'éthylène qu'il faisait barboter dans l'acide sulfurique.

Il se forme de l'acide sulfovinique décomposable par l'eau, mais cette réaction, très lente, est restée du domaine du laboratoire. Cependant, de Loisy a montré récemment qu'il serait possible de réaliser la fabrication d'alcool synthétique aux dépens de l'éthylène que renferment les gaz de distillation de la houille. Une tonne de houille donne en effet environ 300 mètres cubes de gaz, contenant plus de 4 mètres cubes d'éthylène, qui correspondent théoriquement à 10 litres d'alcool absolu. Or, il est possible d'accélérer beaucoup la fixation de l'éthylène par l'acide sulfurique en employant des catalyseurs tels que les acides vanadique, uranique, tungstique molybdique, en présence de mercure; dans ces conditions, il se forme généralement de l'acide sulfovinique ou d'autres composés utilisables. Mais dans cette réaction on met déjà en jeu deux fois plus d'acide qu'on obtient d'alcool : la méthode ne peut donc être économique que si l'on arrive à régénérer cet acide sans dépense sensible. Or, on peut utiliser pour l'absorption de l'ammoniaque du gaz de houille l'acide qui, après dilution, a distillé son alcool : on trouve ainsi gratuitement, pour ce dernier, l'acide habituellement dépensé pour le sulfate d'ammoniaque. En outre, avant de sortir du cycle sous cette dernière forme, l'acide peut capter, pour les transformer, les traces de propylène, butylène et carbures acétyléniques contenus dans le gaz ; il peut aussi retenir la vapeur d'eau du gaz, car il faut absolument préserver l'acide concentré qui doit absorber l'éthylène et qui perdrait par dilution toute activité. Mais ce

dernier, précisément, doit être étendu pour la formation de l'alcool, de sorte qu'en faisant avancer méthodiquement à la rencontre du gaz un même acide concentré additionné de 1 p. 100 de catalyseur, il absorbera successivement l'éthylène, les carbures adventices, l'eau du gaz, puis après avoir rendu son alcool ou son éther (suivant le degré de dilution), il sera transformé en sulfate d'ammoniaque.

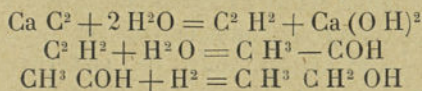
Deux difficultés se présentent cependant encore. La première consiste en ce fait que la fixation de l'éthylène demande l'acide à 66° B, tandis que la fabrication du sulfate se contente d'acide à 50° B au plus. Il faut donc, pour obtenir de l'alcool avec l'acide nécessaire au sulfate, payer la différence de prix importante qui correspond à la plus haute concentration. La seconde provient de ce qu'il faut, pour les teneurs habituelles en éthylène et en ammoniaque, au moins deux fois plus d'acide pour l'éthylène que pour l'ammoniaque. Il faut donc ou ne produire que la moitié de l'alcool possible, ou trouver un emploi pour l'excédent d'acide.

Ces deux difficultés se résolvent aisément si l'on remarque que le gaz déshydraté par le réactif sulfurique devient un agent de concentration excellent pour l'acide dilué. Comme, aussi bien, les chaleurs perdues des fumées, après les récupérateurs des fours, peuvent gratuitement échauffer l'acide à concentrer, on peut établir un cycle où n'entre, à part une infime quantité de catalyseur, que l'acide à basse concentration nécessaire à l'habituelle fabrication du sulfate d'ammoniaque.

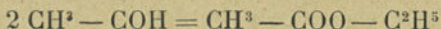
Cette méthode est encore trop récente pour qu'on puisse juger ses possibilités de réalisation industrielle.

La fabrication de l'alcool par synthèse au moyen de l'acétylène est beaucoup plus avancée. La méthode consiste en principe à traiter par l'eau le carbure de calcium : il se forme de l'hydrate de calcium et de l'acétylène. L'acétylène, conduit dans une solution chaude d'acide sulfurique étendu, en présence d'un sel mercurique approprié (sulfate ou bichlorure) se transforme en aldéhyde acétique. L'acétylène se combine au sel mercurique en donnant un produit d'addition qui se décompose dans l'eau acidulée, en donnant l'aldéhyde et en reformant le sel mercurique.

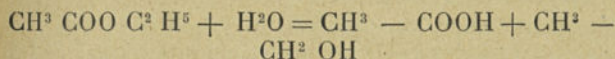
D'autre part, l'aldéhyde acétique, chauffée en présence d'hydrogène et d'un agent métallique agissant comme catalyseur (nickel, par exemple) fixe cet hydrogène et se transforme en alcool. Le cycle des réactions est donc, théoriquement, le suivant :



On peut également faire agir sur l'aldéhyde de petites quantités d'éthylate d'aluminium en présence de chlorure d'aluminium ; l'aldéhyde se transforme en acétate d'éthyle suivant la formule :



Par hydrolyse, l'acétate d'éthyle donne de l'alcool éthylique.



Ces diverses méthodes de fabrication ont été réalisées industriellement en Suisse par les usines de la Lonza à Visp, en Allemagne pendant la guerre, en France par la Société des Produits chimiques d'Alais

et de la Camargue et par la Société des Usines du Rhône.

Cette fabrication pourrait donc constituer une grave menace pour notre agriculture, si elle venait à se généraliser par suite de l'abaissement du prix du carbure.

Mais la question est en réalité très complexe : la production de l'alcool synthétique est d'abord liée à celle du carbure de calcium ; or, les possibilités de production de cette dernière substance, qui s'obtient en chauffant à très haute température du charbon et de la pierre à chaux, sont limitées et ses emplois pour l'éclairage et pour la préparation de la cyanamide sont déjà considérables. D'ailleurs, un kilogramme de carbure peut fournir 1 kgr. 25 environ de cyanamide calcique à 20 p. 100 environ d'azote, et si l'on compte qu'un kilogramme d'azote, employé sous forme d'engrais, peut donner un excédent de récolte de 100 kilogrammes de betteraves, l'utilisation d'un kilogramme de carbure sous forme de cyanamide permet d'avoir une plus-value de 20 kilogrammes de betteraves, soit environ 1 lit. 7 à 1 lit. 8 d'alcool si on les suppose à environ 7^o5 de densité. Or, cette même quantité de carbure ne produirait par voie chimique que 0 lit. 63 environ d'alcool synthétique.

Il est donc plus intéressant d'utiliser le carbure à la fabrication de la cyanamide calcique, à moins que cette substance ne soit battue en brèche par les engrais à base d'azote nitrique ou ammoniacal obtenus par les procédés synthétiques modernes. Dans ce cas, le débouché de la cyanamide devenant très réduit, le carbure de calcium produit par les usines actuelles pourrait être utilisé pour la fabrication de l'alcool

ALCOOL (EN HECTOLITRES) PROVENANT DE LA DISTILLATION DES :

ANNÉES	SUBSTANCES FARINEUSES	MÉLASSES	BETTERAVES	VINS	CIDRES ET POIRÉS	MARCS LIES, ETC.	FRUITS	SUBSTANCES DIVERSES	TOTAL.
1901	269.074	1.006.933	578.628	330.966	115.220	114.893	21.557	693	2.437.964
1902	219.339	914.898	520.707	105.745	33.609	80.237	11.941	278	1.886.754
1903	352.928	670.969	926.159	30.208	8.507	54.903	3.159	207	2.047.040
1904	380.710	626.722	992.149	88.756	22.586	121.006	25.144	175	2.257.248
1905	589.344	516.173	1.002.429	262.725	71.380	141.035	24.323	1.227	2.608.626
1906	358.759	772.485	1.160.554	234.213	46.368	125.065	11.244	1.143	2.709.831
1907	454.142	466.608	1.145.433	239.877	69.283	122.608	16.658	201	2.514.810
1908	362.550	447.878	1.259.346	211.672	36.338	161.820	58.016	360	2.538.030
1909	356.731	477.255	1.173.583	199.900	65.102	128.227	24.781	147	2.426.726
1910	464.757	505.428	1.182.889	69.202	77.446	78.495	12.699	303	2.391.219
1911	661.881	503.696	1.015.728	54.571	51.798	98.799	27.926	734	2.415.133
1912	880.821	465.325	1.620.552	103.257	89.861	123.580	20.944	5.269	3.309.609
1913	429.073	606.690	1.559.640	109.714	129.594	105.576	11.493	2.128	2.953.908
1914	466.336	376.951	505.922	94.386	112.111	82.785	45.495	313	1.654.299
1915	356.532	317.173	797.019	209.683	200.022	82.670	23.572	766	1.987.437
1916	665.232	155.271	450.624	27.845	95.400	77.022	11.881	74.380	1.557.655
1917	535.480	152.340	538.610	51.276	67.054	80.776	24.904	41.068	1.491.508
1918	114.077	150.245	283.140	66.569	97.178	105.138	14.685	1.290	832.322
1919	115.834	71.909	308.268	133.010	31.917	146.825	13.404	49	821.216
1920	122.126	56.147	474.954	226.516	185.709	204.823	19.271	5.410	1.294.956
1921	170.557	264.101	608.492	173.378	158.147	163.915	13.679	1.544	1.553.813

synthétique et des mesures de protection s'imposeraient pour l'agriculture française.

Production et commerce des alcools en France. — La production moyenne des alcools et eaux-de-vie en France a été jusqu'en 1914 de 2.500.000 à 3.000.000 hectolitres. Depuis la guerre de 1914-1918, cette production a considérablement diminué, et elle n'est encore que de 1.500.000 hectolitres à l'heure actuelle. Le tableau de la page 33. indique les variations de cette production, par nature de substances mises en œuvre, depuis 1901. Il est facile de suivre sur ce tableau les variations que nous avons déjà signalées plus haut dans la production des alcools aux dépens des diverses matières premières. On voit que la production a beaucoup diminué dans la période qui s'est écoulée entre 1914 et 1918 malgré les grands besoins de la défense nationale.

Depuis la signature de la paix, la reconstitution d'un certain nombre de distilleries détruites a permis de faire remonter la production à 1.553.813 hectolitres en 1921.

Le tableau de la page 35 indique l'importation des alcools depuis 1901. On voit que jusqu'en 1914 l'importation a atteint en moyenne 180.000 hectolitres par an; elle était constituée en majeure partie par les rhums et les tafias de la Martinique et de la Guadeloupe. Pendant la guerre de 1914-1918, les besoins de la défense nationale ont fait monter considérablement les importations d'alcool, qui ont atteint près de 1.400 000 hectolitres en 1917, par suite de l'insuffisance de la production française. Depuis 1918, l'importation a peu à peu diminué, mais elle était encore à 280.655 hectolitres en 1921, c'est-à-dire bien au-dessus du chiffre d'avant-guerre. Quant

à l'importation des liqueurs, elle est faible et elle n'atteignait pas 4.000 hectolitres avant 1914. Elle est encore insignifiante à l'heure actuelle.

Si nous examinons maintenant l'exportation des alcools, nous voyons par le tableau de la page 36.

Importations en hectolitres.

ANNÉES	ALCOOL PUR PROVENANT DE			Total de L'ALCOOL pur IMPORTÉ	LIQUEURS (volume total)
	l'Allemagne	l'Angleterre	autres pays		
1901	303	2.129	95.017	97.449	1.017
1902	368	2.679	128.865	131.912	948
1903	391	2.847	88.174	91.412	1.176
1904	395	3.008	110.180	113.583	2.703
1905	440	2.678	177.551	180.669	3.518
1906	556	2.402	143.063	146.021	3.830
1907	739	2.386	150.383	153.508	2.533
1908	862	2.210	186.236	188.400	3.031
1909	1.143	2.483	176.989	180.615	3.370
1910	1.209	2.274	173.949	177.432	4.234
1911	1.321	2.582	189.612	193.515	3.417
1912	1.482	2.737	179.329	183.548	3.646
1913	1.285	2.651	176.496	180.432	3.648
1914	713	2.002	176.782	179.497	2.688
1915		8.494	437.436	445.930	2.388
1916		7.827	1.208.175	1.216.002	3.632
1917		2.402	1.397.187	1.399.589	137
1918		2.207	631.476	633.683	46
1919	1	11	637.434	637.446	257
1920		40	557.313	577.353	1.490
1921	414	430	279.811	280.655	141

qu'elle s'élevait en moyenne, avant 1914, à 280.000 hectolitres par an. Une grande partie de cet alcool, constitué surtout par de l'alcool de vin, était exportée en Angleterre. L'exportation a été considérablement réduite pendant la guerre de 1914-1918 et, à part l'année 1920, elle n'a pas encore atteint aujourd'hui

le chiffre d'avant-guerre. Nous étions exportateurs avant 1914, et à l'heure actuelle, la balance est encore nettement en faveur de l'importation, sauf pour les liqueurs pour lesquelles l'exportation est très supérieure à l'importation.

Exportations en hectolitres.

ANNÉES	ALCOOL PUR A DESTINATION DE			Total de L'ALCOOL pur EXPORTÉ	LIQUEURS (Volume total)
	l'Allemagne	l'Angleterre	autres pays		
1901	7.681	111.703	176.849	296.233	29.646
1902	7.523	90.599	158.281	257.403	30.795
1903	7.329	81.890	178.871	268.090	32.234
1904	7.119	79.079	165.246	251.444	28.789
1905	8.371	98.723	164.893	271.987	34.534
1906	9.423	84.901	188.420	282.744	33.501
1907	9.456	97.801	193.436	300.693	40.186
1908	11.548	74.804	177.040	263.392	37.695
1909	11.868	72.591	191.170	275.629	45.360
1910	8.401	65.869	182.037	256.307	41.151
1911	4.922	70.097	178.902	253.921	54.421
1912	4.631	70.281	189.080	263.992	54.549
1913	4.678	72.321	206.337	283.336	53.100
1914	2.795	74.482	142.183	219.460	37.611
1915		75.430	73.899	149.329	25.150
1916		52.812	73.437	126.249	30.182
1917		32.988	34.650	67.638	19.935
1918		30.868	12.644	43.512	15.494
1919	36.371	39.252	66.385	142.008	24.154
1920	49.350	55.324	198.781	303.655	67.755
1921	23.267	19.715	85.609	128.591	39.535

Les documents relatifs aux prix moyens des alcools et à la consommation imposée de 1901 à 1921 sont réunis dans le tableau de la page 37.

On voit que le prix moyen de l'alcool de bourse s'est maintenu dans les années 1903-1914 entre 40 et 60 francs. A partir de 1914, ce prix s'est élevé, pour

atteindre 97 francs dans les huit premiers mois de l'année 1915. D'autre part, les distilleries de betteraves de mélasses et de grains ont été réquisitionnées dès 1914, afin d'utiliser leur production

Production, prix et consommation des alcools depuis 1901.

ANNÉES	QUANTITÉS FABRIQUÉES	PRIX MOYENS		QUANTITÉS IMPOSÉES	QUANTITÉ MOYENNE par habitant
		de l'alcool de Bourse à 90°	du trois-six de vin à 86°		
	Hectolitres.	Francs.	Francs.	Hectolitres.	Litres.
1901	2.437.964	28	50	1.346.635	3,52
1902	1.886.754	31	54	1.258.955	3,26
1903	2.047.040	43	80	1.368.904	3,54
1904	2.257.248	44	86	1.514.309	3,89
1905	2.608.626	45	65	1.381.761	3,57
1906	2.709.831	42	64	1.378.194	3,56
1907	2.514.810	43	66	1.289.408	3,31
1908	2.538.030	43	79	1.339.578	3,44
1909	2.426.726	41	85	1.342.006	3,46
1910	2.391.219	52	100	1.399.034	3,59
1911	2.415.133	59	105	1.574.018	4,04
1912	3.309.609	59	117	1.515.859	3,86
1913	2.953.908	42	110	1.558.234	3,96
1914	1.654.299	47	102	1.316.503	3,35
1915	1.987.437	97	182	1.101.123	3,04
1916	1.557.655	»	350	863.779	2,38
1917	1.491.508	»	643	701.134	1,87
1918	832.322	»	713	509.232	1,53
1919	821.216	»	805	680.832	1,73
1920	1.294.956	»	950	774.850	2,26
1921	1.553.813	»	426	788.839	2,09

dans la fabrication des poudres à feu ; par la suite, l'article 4 de la loi du 30 juin 1916 a sanctionné ce régime en réservant à l'État la totalité de la production intérieure des alcools de bouche, autres que ceux provenant de la distillation des vins, cidres, poirés

marcs, lies et fruits frais, avec la faculté d'en rétro-céder pour les usages médicinaux et les besoins de certaines industries indispensables à la vie économique du pays, Ces dispositions ont été successivement prorogées depuis cette époque. Il en résulte que l'alcool de bourse n'est plus cot e depuis le 31 août 1915. Le prix d'achat par l'Etat de l'hectolitre d'alcool pur, depuis la p eriod e de réquisition, a été le suivant :

CAM- PAGNES	ALCOOLS DE BETTERAVES			ALCOOLS DE MÉLASSES		ALCOOLS DE GRAINS	
	Flegm�es.	Alcools rectifi�es.	Observa- tions.	Alcools rectifi�es.	Observa- tions.	Alcools rectifi�es.	Observa- tions.
	Fr. c.	Fr. c.		Fr. c.		Fr.	
1915-16	90 »	100 »	prix net.	100 »	prix net.	»	»
1916-17	94 75	100 »	prix net.	100 »	prix net.	»	»
1917-18	102 »	105 »	(*)	112 50	(*)	»	»
1918-19	130 50	131 50		159 20		»	»
1919-20	126 70	134 70		200 »		»	»
1920-21	265 30	286 »	prix net.	210 »	prix net.	356 »	en
1921-22	171 89	184 29	prix net.	115 »	prix net.	190 »	moyenne

(*) Pour un prix de charbon de 100 francs la tonne.

D'autre part, la moyenne des prix de vente par l'Etat aux industries privilégiées de l'intérieur ressort à 133 francs en 1916, 195 francs en 1917, 313 francs en 1918, 350 francs en 1919, 460 francs en 1920 et 319 francs en 1921.

Le prix moyen des trois-six dits de Montpellier, qui était de 102 francs en 1914 est montée successivement jusqu'à 950 francs en 1920. Mais après la loi du 25 juin 1920 qui aggravait les charges fiscales

supportées par l'alcool, et à la suite de la crise des affaires, de la réduction des salaires et du chômage, il s'est produit un affaissement des cours et la moyenne des prix du trois-six en 1921 n'a plus été que de 426 francs.

Nous reviendrons plus loin sur la consommation de l'alcool, dont le tableau de la page 37 indique la quotité moyenne par habitant, en litres, depuis 1901.

II. — L'ALCOOL. — ALCOOMÉTRIE

L'alcool s'obtient industriellement par fermentation alcoolique de jus sucrés et distillation. On prépare d'abord un moût, soit avec des matières sucrées (betteraves, mélasses), soit avec des matières amylacées qu'on saccharifie (substances farineuses). On soumet ce moût à la fermentation alcoolique, puis à la distillation. On obtient ainsi d'une part un alcool à titre plus ou moins élevé qu'on appelle *flegme* et un résidu épuisé qui est la *vinasse*. Le flegme est alors soumis à la rectification qui l'épure et le transforme en alcool marchand.

Propriétés de l'alcool. — L'alcool est un corps ternaire répondant à la formule C^2H^6O , et renfermant par suite 52,17 p. 100 de carbone, 13,04 p. 100 d'hydrogène et 34,78 p. 100 d'oxygène. C'est un liquide incolore, très mobile, d'une saveur brûlante, et facilement inflammable. Il brûle avec une flamme peu éclairante et très chaude.

Sa densité est de 0,80667 à 0° et de 0,79425 à 15°. Il se solidifie à — 130° sous forme d'une masse blanche. Il bout à 78°4 sous la pression de 760 millimètres de mercure. Le point d'ébullition des mélanges d'eau et d'alcool s'élève à mesure que la proportion d'eau augmente en se rapprochant de plus en plus de 100° qui correspond au point d'ébul-

lition de l'eau pure. La teneur en alcool de la vapeur produite par l'ébullition des liquides alcooliques est plus élevée que la teneur en alcool du liquide bouillant. Ce fait a pour conséquence l'appauvrissement du mélange en alcool jusqu'à ce qu'il ne soit plus composé que d'eau pure. Nous retrouverons cette question en étudiant la distillation.

La distillation ordinaire ne permet pas d'obtenir l'alcool anhydre : on ne peut pas, par cette méthode, dépasser le titre de 97 à 98 degrés. Pour enlever les 2 à 3 p. 100 d'eau qui restent, on a recours à la deshydratation par certains agents chimiques, tels que la chaux vive, le carbure de calcium, le chlorure de calcium, etc. L'alcool ainsi deshydraté est alors soumis à la distillation pour obtenir l'alcool, dit *absolu*.

Cette méthode est délicate, assez onéreuse et elle convient mal à la grande production industrielle d'alcool deshydraté qui est nécessaire pour la préparation des carburants à base d'essence et d'alcool. De récents perfectionnements introduits dans le fonctionnement des appareils distillatoires ont permis d'obtenir en marche industrielle des alcools presque complètement deshydratés et entièrement solubles dans l'essence. Une première méthode consiste à remplacer, dans les appareils de rectification, la rétrogradation habituelle soit par un absorbant de l'eau, soit par un absorbant de l'alcool. Dans le premier cas, on fait passer dans les plateaux de la glycérine, à la place de la rétrogradation, et on obtient ainsi, grâce à la glycérine qui est plus avide d'eau que l'alcool, des alcools à plus de 98 d.5. La glycérine résiduaire est évaporée pour en extraire l'eau et l'alcool et elle peut être alors utilisée de

nouveau. Dans le second cas, on emploie des liquides peu volatils, insolubles dans l'eau, tels que certaines huiles de pétrole, de vaseline, des carbures. On redistille simplement l'absorbant alcoolisé pour obtenir l'alcool deshydraté (Mariller).

D'autre part, Loriette a montré qu'on peut préparer industriellement de l'alcool à 99°8 en deshydratant non pas l'alcool liquide, mais les vapeurs d'alcool par passage de ces vapeurs, au cours de la fabrication, à travers une colonne garnie d'une substance deshydratante, telle que la chaux vive.

L'alcool est très avide d'eau, à laquelle il se mélange en toutes proportions. Ce mélange est accompagné d'un dégagement de chaleur et d'une contraction de volume. La contraction, très faible quand la proportion d'eau est élevée, croît rapidement à mesure que le mélange contient plus d'alcool et atteint un maximum pour 54 centimètres cubes d'alcool et 42 cmc. 722 d'eau. Le volume total forme alors, non pas 103 cmc. 722, mais 100 centimètres cubes et la contraction atteint 3 cmc. 722. A partir de ce chiffre, la contraction devient plus faible à mesure que le taux d'alcool s'élève et que celui de l'eau diminue; elle tombe à 2 cmc. 419 pour 85 centimètres cubes d'alcool et 17 cmc. 419 d'eau qui donnent 100 centimètres cubes au lieu de 102 cmc. 419, et elle n'est plus que de 0 cmc. 285 pour 99 centimètres cubes d'alcool et 1 cmc. 285 d'eau. Les tables de Brix donnent la valeur de cette contraction pour tous les mélanges alcooliques de 1 à 99 degrés.

D'après Jamin et Amaury, la chaleur spécifique moyenne de l'alcool pur, entre 0 et 2 t° est de $0,580 + 0,00350 t$. Sa chaleur de vaporisation est

de 209 calories. Il faut donc dépenser 254 cal. 48 pour transformer 1 kilogramme d'alcool à 0° en vapeur à 78°4. Les mêmes auteurs ont étudié également les variations de la chaleur spécifique des divers mélanges d'eau et d'alcool : pour une même température, elle croît avec la proportion d'alcool jusqu'à 20 degrés puis décroît jusqu'à 100 degrés

Usages de l'alcool. — Si on se rapporte aux statistiques des divers emplois de l'alcool dans ces dernières années, on constate que les principaux débouchés de l'alcool sont la consommation de bouche et l'emploi sous forme d'alcool dénaturé pour l'éclairage, le chauffage et la force motrice, pour la fabrication des vernis, de certaines matières plastiques (celluloïd, fibrolithoïd, etc.), de certaines teintures et de certaines couleurs, de la présure liquide, du collodion, de la soie artificielle, du chloroforme, du chloral, des tanins, de certains produits chimiques ou pharmaceutiques (extraits, alcaloïdes, insecticides, savons transparents, etc.) de l'éther, des fulminates de mercure, des explosifs, etc., et enfin pour certaines industries telles que l'ébénisterie (alcools d'éclaircissage) et la chapellerie et pour les usages scientifiques. En dehors de ces deux usages principaux, consommation et alcool dénaturé pour les emplois ci-dessus, l'alcool est également utilisé pour la fabrication des vinaigres et pour le vinage des vins de liqueurs.

Consommation de bouche. — Le tableau de la page 37 donne la consommation de bouche en alcool distillé, par habitant et par an, depuis 1901. Cette consommation n'était que d'un litre en 1830. Elle s'est peu à peu élevée à 3 l. 64 en 1880, a dépassé 4 litres à partir de 1889 et a atteint son maximum,

soit 4 l. 70, en 1898. Grâce aux efforts des ligues anti-alcooliques, elle a sensiblement diminué depuis cette époque et elle a oscillé entre 3 l. 26 et 4 l. 0 dans la période comprise entre 1901 et 1914. Elle s'est considérablement abaissée pendant la guerre, à cause du haut prix des alcools, de leur réquisition par l'Etat pour la défense nationale et de la réglementation restrictive de la consommation. Elle n'était plus que de 1 l. 53 par habitant et par an en 1918, mais elle s'est légèrement relevée depuis cette date, par suite de la suppression des restrictions, jusqu'à 2 l. 26 en 1920 et 2 l. 09 en 1921. Elle est donc, fort heureusement, encore inférieure de près de moitié à ce qu'elle était avant 1914. Les quantités imposées, comprenant aujourd'hui, en raison de la fusion des comptes édictée par la loi du 25 juin 1920, les alcools de toute nature, les vermouths et les vins de liqueurs, n'étaient plus que de 788.839 hectolitres en 1921, tandis qu'elles étaient de plus de 1.500.000 hectolitres en 1911, 1912 et 1913, en ne comprenant que les spiritueux proprement dits.

La consommation est très variable suivant les diverses régions de la France : elle est notamment beaucoup plus élevée dans le Nord-Ouest, et surtout dans certaines villes comme Rouen et Le Havre, que dans le Sud-Ouest.

Alcool dénaturé. — Les quantités soumises à la dénaturation ont beaucoup augmenté depuis 1890, par suite de l'extension des emplois industriels de l'alcool. La consommation d'alcool dénaturé, qui était environ de 110.000 hectolitres en 1890, s'est élevée peu à peu jusqu'en 1903 à 375.000 hectolitres, et a atteint en 1906 près de 550.000 hectolitres. Depuis cette époque, la quantité d'alcool utilisé

pour les usages industriels s'est élevée peu à peu jusqu'en 1914. Pendant la guerre, le chiffre est devenu très considérable (2.057.097 hectolitres en 1917), par suite de la fabrication intensive des explosifs pour la défense nationale. Elle est retombée aujourd'hui à 300.000 hectolitres environ, par suite de l'insuffisance de la production des alcools depuis la fin de la guerre.

Le tableau de la page 46 indique d'ailleurs les quantités soumises à la dénaturation, pour les divers usages industriels, depuis 1911.

L'emploi de l'alcool pour le chauffage, l'éclairage et la force motrice a beaucoup augmenté de 1900 (125.000 hectolitres) à 1913 (512.000 hectolitres). Pendant la guerre, la quantité d'alcool utilisée dans ce but a sans cesse diminué, à cause des besoins considérables de la défense nationale pour les fabrications de guerre. Elle était tombée à 71.005 hectolitres en 1918. Depuis cette date, elle s'est relevée progressivement jusqu'à 259.148 hectolitres en 1921, et on peut espérer voir ce chiffre augmenter rapidement à la suite du vote par le Parlement de la loi sur le carburant national.

Les quantités indiquées comprennent celles qui sont utilisées pour l'éclairage, pour le chauffage et pour la force motrice.

L'éclairage par l'alcool ne s'est pas beaucoup développé, bien que les lampes à alcool donnent une lumière vive et agréable et qu'elles ne répandent aucune odeur. Certains types de lampes brûlent l'alcool liquide à flamme libre; mais comme l'alcool pur ne donne qu'une flamme peu éclairante, on doit brûler dans ces lampes de l'alcool carburé, c'est-à-dire additionné d'une certaine proportion de benzine.

QUANTITÉS TALES (EN HECTOLITRES) SOUMISES A LA DÉNATURATION
PENDANT LES ANNÉES

DÉSIGNATION DES PRODUITS	QUANTITÉS TALES (EN HECTOLITRES) SOUMISES A LA DÉNATURATION PENDANT LES ANNÉES										
	1911	1912	1913	1914(*)	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921
1° Alcools de chauffage et d'éclairage . . .	502.822	479.330	513	314.894	289.433	139.820	135.706	71.005	118.192	236.852	259.148
2° Vernis.	14.581	15.964	18	10.513	8.637	9.205	14.576	21.908	8.193	11.580	9.269
3° Alcools d'éclaircissage (ébénisterie). . .	894	660	15	671	233	305	895	524	322	76	64
4° Matières plastiques (celluloïd, fibroli- thoïd, etc.)	18.664	18.527	15	12.936	2.629	5.952	6.979	4.332	8.249	16.540	7.824
5° Chapellerie	598	684	10	567	371	440	163	469	433	420	44
6° Teintures et couleurs.	808	773	3	369	492	589	275	199	271	768	1.228
7° Présure liquide.	173	188	6	179	170	152	130	149	174	154	105
8° Collodion.	1.355	1.808	3	855	315	378	321	482	457	886	766
9° Soie artificielle.	3.837	2.219	3	"	"	"	"	"	"	"	2
10° Chloroforme.	271	665	9	366	"	"	30	109	172	355	110
11° Chloral	69	88	8	145	"	17	"	"	17	283	300
12° Tannins	3	"	"	"	"	"	"	"	3	"	7
13° Produits chimiques, produits pharma- ceutiques et produits divers, extraits, alcaloïdes, insecticides, savons trans- parents, etc.	3.291	4.297	15	3.034	3.152	4.491	6.608	4.163	6.325	7.638	15.481
14° Usages scientifiques	306	268	2	210	109	125	162	139	154	219	214
15° Ethers, fulminates de mercure, explo- sifs, etc.	128.528	155.714	163	222.064	507.682	1.442.795	1.891.251	999.257	93.098	34.575	11.349
Totaux.	676.200	681.185	729	566.803	813.273	1.604.269	2.057.097	1.402.736	236.060	310.346	305.911

(*) Au total, non compris 83.985 hectolitres dénaturés dans le Sud et le Nord, dont la répartition par espèces de produits fabriqués n'a pu être déterminée par suite des événements de guerre.

D'autres lampes, bien meilleures, font passer d'abord l'alcool à l'état de vapeurs, puis ces vapeurs sont brûlées par un courant d'air au contact d'un manchon d'incandescence. Il est certain que l'extension de cet emploi de l'alcool serait aujourd'hui beaucoup plus considérable sans les frais de remplacement des verres, manchons et mèches qui ont déterminé très fréquemment le retour à l'éclairage au pétrole.

Les poêles pour le chauffage, les réchauds pour les cuisines sont aujourd'hui assez répandus et ont largement contribué à la progression de la consommation de l'alcool dénaturé avant 1914. A l'heure actuelle, leur emploi est plus réduit, à cause du haut prix de l'alcool.

C'est surtout vers l'emploi de l'alcool pour la production de la force motrice que des efforts très importants ont été faits avant 1914, et surtout depuis 1919, grâce aux études effectuées en vue de la création du Carburant National.

Les premiers essais faits dans cette voie ont été fort peu encourageants. Le pouvoir calorifique de l'alcool est en effet de 4.600 calories par litre contre 7.500 calories pour l'essence. Mais les concours organisés par le Ministère de l'Agriculture en 1901 et 1902 montrèrent bientôt que le rendement thermodynamique d'un moteur marchant à l'alcool est bien supérieur à celui du même moteur marchant à l'essence, et bien que l'alcool ait un pouvoir calorifique beaucoup plus faible que celui de l'essence, la consommation par cheval-heure est à peu près la même pour l'alcool que pour l'essence. Il faut, en effet, à l'alcool 6 mètres cubes d'air par kilogramme pour brûler complètement tandis qu'il faut 11 à 12 mètres

cubes d'air par kilogramme d'essence. Il en résulte qu'un mètre cube de mélange explosif constitué soit avec l'essence, soit avec l'alcool contient à peu près la même quantité de calories, soit 850. En outre, l'alcool permet une compression atteignant 15 kilogrammes par centimètre carré sans crainte d'inflammation spontanée, tandis que l'essence s'enflamme spontanément dès que la compression dépasse 4 kilogrammes.

Donc une combustion meilleure de l'alcool, une récupération des chaleurs perdues pour sa vaporisation dans le carburateur, une compressibilité plus grande sans craindre l'inflammation spontanée avant le moment opportun permettent une meilleure utilisation des calories de l'alcool et un rendement au litre qui est au moins égal à celui de l'essence.

En 1900, l'Institut des Fermentations de Berlin a fait des comparaisons, pour la production de la force motrice, entre l'alcool pur et l'alcool carburé à 20 p. 100 de benzol. Les essais ont montré qu'il n'y avait aucune difficulté dans la mise en marche des moteurs à alcool carburé, que ces moteurs, comparés aux moteurs à essence, fournissaient un excédent de travail d'environ 25 p. 100 et que la combustion de l'alcool carburé était parfaite, avec production de gaz d'échappement tout à fait inodores.

En France, du 11 juin au 1^{er} novembre 1907, les autobus parisiens ont parcouru 3.570.000 kilomètres et consommé 22.000 hectolitres d'alcool; la consommation n'a pas dépassé de plus de 6 p. 100 celle de l'essence. A cette époque, la Compagnie des Omnibus est revenue au benzol, par suite de la baisse considérable survenue en 1908 sur ce produit.

On a fait également à l'alcool le reproche d'atta-

quer les cylindres par formation de produits acides, mais ce fait ne s'observe que quand la combustion est incomplète, quand le carburateur fonctionne mal, et quand le graissage est imparfait. La composition du carburant peut d'ailleurs intervenir pour saturer ces produits acides, s'ils viennent éventuellement à se former.

Aujourd'hui, la consommation d'essence devient de plus en plus grande par suite du développement incessant de l'automobilisme, et on peut prévoir à bref délai que la production d'essence deviendra insuffisante; en outre, les pays non producteurs de pétrole ont évidemment intérêt à fabriquer le combustible liquide nécessaire aux dépens des matières premières qu'ils produisent. Tel est le cas de la France, et depuis 1918, on a travaillé beaucoup à la solution de ce problème par la création d'un carburant national.

Les formules proposées ont été extrêmement nombreuses. Un premier groupe comprend les mélanges d'alcool et de benzol. Nous avons déjà signalé les bons résultats obtenus dans les essais de l'Institut des Fermentations de Berlin avec ces mélanges. M. Leprêtre a montré aussi, il y a une vingtaine d'années, qu'un mélange de 50 p. 100 en poids d'alcool et de benzol 90° convient parfaitement, à condition que ce benzol à 90° soit composé, non pas de benzine pure, mais de 84 p. 100 de benzine, 15 p. 100 de toluène et 1 p. 100 de xylène pour éviter la séparation en deux couches et abaisser le point de congélation. Mais notre pays produit trop peu de benzol, par rapport à la consommation de carburant, pour que le mélange alcool-benzol puisse constituer un carburant national. En outre, il se produit souvent, avec ce mélange, des difficultés dans le départ des moteurs

à froid. Il est vrai que cet inconvénient peut être considérablement réduit quand on remplace dans le mélange précédent 10 à 15 p. 100 de benzol par de l'essence de pétrole.

Les mélanges d'alcool et d'essence de pétrole conviennent bien, mais l'essence de pétrole ne se dissout pas dans l'alcool, et il faut ajouter une autre substance pour obtenir un mélange homogène. Sorel a proposé dans ce but, dès 1902, l'emploi de l'alcool amylique presque pur et un mélange de 50 p. 100 d'alcool à 95°, de 10 à 15 p. 100 d'alcool amylique presque pur et anhydre et de 40 à 35 p. 100 d'essence légère semble excellent. Mais, à cette époque, les alcools supérieurs constituaient des substances coûteuses et de production très faible. Il n'en est plus de même aujourd'hui. Les procédés de Fernbach et Strange, de Weizman et Ricard permettent d'obtenir industriellement, en partant du maïs, de l'alcool butylique et de l'acétone. Ce dernier produit peut être réduit, par catalyse, à l'état d'alcool isopropylique. Ces deux alcools supérieurs, alcool orthobutylique et alcool isopropylique pourraient constituer d'excellents solvants des mélanges alcool-essence. D'autre part, le concours du carburant national, tenu à Béziers en 1922, a mis en évidence l'action dissolvante, envers les mélanges alcool-essence, du cyclohexanol que l'on peut préparer industriellement par l'hydrogénation catalytique du phénol au moyen du procédé Mailhe. Le carburant distribué par le comité du concours comprenait en effet :

Essence de tourisme	85,3 p. 100
Alcool à 95°	9,48 —
Cyclohexanol	1,66 —
Phénol	3,55 —

(Formule de M. Godchalet).

Il semble donc que le problème de la dissolution de l'essence dans l'alcool sans qu'il y ait de séparation des liquides en deux couches, puisse être industriellement résolu. La difficulté provient surtout de la présence de l'eau dans l'alcool : c'est elle qui empêche la dissolution de l'essence, qui se fait parfaitement dans l'alcool absolu. La préparation de mélanges stables d'alcool et d'essence a donc donné un intérêt tout particulier à la préparation industrielle de l'alcool deshydraté. Nous avons déjà vu plus haut, en étudiant les propriétés de l'alcool, que cette fabrication a fait de très grands progrès dans ces dernières années et qu'on peut obtenir, soit par voie chimique, soit par voie physique, de l'alcool presque complètement deshydraté. Mariller a montré d'ailleurs qu'il est possible de deshydrater l'alcool par l'essence elle même. Quand on mélange de l'essence avec de l'alcool à 96 degrés on met en présence deux corps miscibles, l'alcool pur et l'essence et un troisième corps, l'eau, qui ne l'est pas avec l'un d'eux. Un tel mélange obéit à la loi bien connue des phases; la couche supérieure est riche en essence et en alcool deshydraté; la couche inférieure au contraire est pauvre en essence et riche en eau. En faisant écouler en sens inverse les deux liquides à mélanger dans des colonnes remplies de garnissages, Mariller a pu séparer les deux couches par décantation : l'une, à la partie supérieure, est le carburant composé d'essence et d'alcool deshydraté; l'autre, à la partie inférieure, constitue le résidu, qu'il faut distiller pour régénérer l'alcool à 96 degrés et l'essence.

La distillation de mélanges eutectiques permet d'arriver au même résultat. Young a montré en 1902 le profit qu'on peut tirer de l'intervention d'une

tierce substance dans la distillation de l'alcool pour en bouleverser les lois et franchir la limite habituelle. En distillant par exemple un mélange contenant 50 p. 100 d'alcool à 93 d. et 50 p. 100 de benzine, il passe un mélange ternaire emportant l'eau à 64°86, un mélange binaire alcool-benzène à 68°24 et de l'alcool pur deshydraté à 78°3. Chavanne a montré en 1913 que le bichlorure d'acétylène permet la préparation de l'alcool absolu dans des conditions semblables. Mariller a pu obtenir, avec l'essence elle-même, une distillation semblable à celle de Young et rendre la méthode industrielle. On introduit dans la colonne à distiller, à l'allure voulue, au contact de l'alcool, la quantité d'essence nécessaire et on fractionne. On obtient en tête un distillat qui, par décantation et lavage, régénère l'essence et des eaux alcooliques que l'on fait rentrer dans le circuit; en queue, un mélange contenant environ 50 p. 100 d'alcool (richesse variable avec l'essence) que l'on dilue ensuite par de l'essence pour constituer le carburant définitif (Mariller).

Tous ces progrès ont beaucoup facilité l'utilisation des mélanges d'alcool et d'essence pour la production de la force motrice et ont permis au Parlement d'adopter un projet de loi imposant l'adjonction d'alcool à toutes les essences destinées aux automobiles. C'est là un premier pas dans la voie de la solution du problème du Carburant National.

Les mélanges alcool-éther ont été beaucoup expérimentés. Les colonies anglaises ont employé les premières un carburant, breveté sous le nom de Nataline et dont la formule est la suivante :

Alcool à 95°	54,3 p. 100 en poids
Ether	45,0 — —

Ammoniaque.	0,5 p. 100 en poids
Arsenic	0,2 — —

Ce mélange donne des résultats analogues à ceux que donne l'essence sous le rapport de la mise en marche du moteur, de la puissance développée et du nombre de kilomètres parcourus avec un même volume de carburant. On lui a reproché de dégraisser les parois des cylindres et de faciliter ainsi l'attaque par l'acide acétique qui peut toujours se former si la carburation est mal réglée. La quantité d'ammoniaque, qu'on ne peut guère augmenter, pourrait alors être insuffisante pour neutraliser cet acide. Aussi un perfectionnement important a-t-il été obtenu par l'adjonction, au mélange alcool-éther, de pétroles légers et de pyridine. C'est la formule du carburant S. A. M. breveté.

Il se compose de :

Alcool à 95°	60 p. 100 en poids
Ether.	25 — —
Pétroles légers ou benzol 90°.	14 — —
Pyridine	1 — —

La pyridine dénature le produit et joue en outre le rôle de base susceptible de neutraliser l'acide acétique, s'il s'en forme dans la combustion. Enfin les pétroles légers concourent au graissage et protègent les cylindres.

Mariller a toutefois fait remarquer très justement que les frais de fabrication de l'éther aux dépens de l'alcool amènent le litre d'éther à un prix qui est celui du litre d'alcool multiplié par 1,35. Chaque litre d'éther substitué à l'alcool entraîne donc une plus-value de 30 p. 100 qui n'est pas compensée par une diminution du prix de la calorie obtenue.

Beaucoup d'autres formules de carburants ont été

signalées et des brevets sont pris chaque jour à ce sujet. Le véritable Carburant National devrait être entièrement préparé avec des produits qui dérivent des matières premières livrées par notre sol. Mais nos besoins actuels en carburant peuvent être évalués à un minimum de 6 millions d'hectolitres par an. Or, notre production d'alcool n'est actuellement, comme nous l'avons vu, que de 1.500.000 hectolitres sur lesquels la consommation de bouche prélève déjà près de 800.000 hectolitres. En dehors de cet alcool, nous disposons de 250.000 hectolitres de benzol, de 120.000 hectolitres d'essence de schiste, de 60.000 hectolitres d'essence de pétrole nationale et de 30.000 hectolitres de méthylène. Le total ne représente donc qu'environ un million d'hectolitres, sur les six millions nécessaires.

Il en résulte que le problème du Carburant National est double et qu'il doit être envisagé pour le présent et pour l'avenir. Pour le présent, il s'agit de constituer des mélanges formés en majeure partie d'essence de pétrole, à laquelle seront incorporés l'alcool et autres combustibles nationaux dont nous disposons à l'heure actuelle. Nous avons vu plus haut comment le problème peut être résolu par l'incorporation de 10 p. 100 d'alcool à l'essence, en présence de solvants appropriés, et le projet de loi que nous avons signalé en permet la réalisation pratique.

Au fur et à mesure qu'augmentera la production des combustibles liquides nationaux, le problème du Carburant français évoluera en vue de la réduction de plus en plus grande des quantités d'essence que nous devons actuellement importer. La distillerie industrielle est susceptible de produire beaucoup plus d'alcool, en intensifiant la culture de la bette-

rave, en utilisant, comme le conseille M. Barbet, les farines de bananes et de manioc qu'on peut faire venir en grandes quantités de nos colonies à l'état sec, en traitant enfin les résidus de cellulose, les sciures de bois par les méthodes que nous avons étudiées. D'autre part, la distillation des houilles, des lignites, des schistes peut augmenter beaucoup notre production en benzol. Les divers carburants à base d'alcool, d'éther, de benzol que nous avons signalés pourront alors être préparés dans notre pays, sans avoir recours à aucune importation étrangère. L'établissement du statut définitif du régime de l'alcool permettra bientôt à la distillerie de reprendre sa production d'avant-guerre et même de l'augmenter. L'accord survenu le 9 avril 1922 à Béziers entre les représentants du Nord et du Midi a déjà fixé les bases du statut de l'alcool par l'entente directe des intéressés. Suivant cet accord, le marché de la consommation de bouche à l'intérieur doit être entièrement réservé à l'alcool naturel, sauf dans les années où la production des vins en France serait inférieure, stocks à la propriété compris, à 40.000.000 d'hectolitres et où les stocks d'alcools naturels disponibles ne dépasseraient pas le tiers de la consommation de l'année précédente, auquel cas l'alcool d'industrie serait exceptionnellement admis à faire l'appoint au cours de l'alcool naturel, majoré de 50 francs par hectolitre. D'autre part, le marché de la consommation à l'exportation demeure ouvert aux alcools d'industrie. Enfin, une contribution de 1 franc par hectolitre sur la consommation taxée des vins et de 0 fr. 50 par hectolitre sur la consommation taxée des cidres, des taxes appropriées sur les rhums, tafias et spiritueux d'exportation fourniront

des ressources qui seront employées à céder au-dessous du prix de revient, tant au chauffage qu'à l'éclairage et aux moteurs, l'alcool industriel qui devra demeurer un élément essentiel du Carburant National.

Dès que le statut définitif de l'alcool sera fixé par les Chambres, les problèmes de l'alcool moteur et du Carburant National pourront donc être rapidement résolus, au grand profit de notre pays.

La dénaturation de l'alcool se fait en France au moyen de 10 litres de méthylène type régie (composé de 65 p. 100 d'alcool méthylique, de 25 p. 100 d'acétone, de 2,5 p. 100 d'impuretés pyrogénées et de 7,5 p. 100 d'eau) et d'un demi-litre de benzine lourde, distillant de 150 à 200 degrés. La quantité de méthylène a été abaissée à 5 litres depuis la guerre. De nombreuses demandes ont été faites pour réduire encore la dose de méthylène et pour remplacer la benzine lourde par un autre produit qui n'ait pas l'inconvénient de donner des produits acides et de provoquer des dépôts gras et charbonneux. Ces demandes sont restées jusqu'ici sans résultat parce que la question de l'utilisation de l'alcool industriel se complique d'une question fiscale très importante, car le Trésor, par crainte de voir l'alcool retourner, par voie de fraude, à la consommation de bouche, hésite à modifier le procédé de dénaturation actuel.

Les autres emplois de l'alcool dénaturé, en dehors du chauffage, de l'éclairage et de la force motrice, sont indiqués dans le tableau de la page 46.

Certains de ces emplois sont devenus, depuis la guerre, beaucoup plus réduits (alcool d'éclaircissage, soie artificielle, etc.). Le chiffre relatif à la fabrication des explosifs, qui n'était en moyenne que de

150.000 hectolitres avant 1914, a atteint presque 1.900.000 hectolitres en 1917, dans la période active des fabrications pour la défense nationale. Il est retombé aujourd'hui bien au-dessous du chiffre d'avant-guerre (11.349 hectolitres en 1921).

Emploi de l'alcool pour la préparation des vinaigres et pour le vinage. — La préparation des vinaigres entraîne chaque année une consommation d'alcool voisine de 40.000 hectolitres. Les chiffres des cinq dernières années ont été les suivants :

1917	35.674 hectolitres	
1918	35.919	—
1919	42.103	—
1920	46.728	—
1921	37.255	—

Les quantités d'alcool utilisées pour le vinage ont diminué pendant la période de 1914 à 1918, mais elles dépassent maintenant de nouveau 70.000 hectolitres. Les chiffres des cinq dernières années ont été les suivants :

1917	53.842 hectolitres	
1918	54.212	—
1919	70.524	—
1920	77.970	—
1921	71.830	—

ALCOOMÉTRIE

L'alcoométrie a pour objet la détermination de la richesse alcoolique des mélanges d'eau et d'alcool. Elle est basée sur le principe suivant. La densité de l'alcool pur est, à 15 degrés, de 0,7947 d'après Gay-Lussac, de 0,7939 d'après Tralles, et 0,7943 d'après les dernières expériences effectuées par les régies de France et d'Allemagne. La densité des mélanges

d'alcool et d'eau s'élève au fur et à mesure que la proportion d'alcool s'abaisse, et on se base ordinairement sur cette constatation pour déterminer la teneur en alcool.

Cette richesse alcoolique peut être évaluée de deux manières, *en volumes* ou *en poids*. Dans le premier cas, on exprime le volume d'alcool contenu dans 100 volumes du liquide alcoolique. Dans le second cas, on exprime le poids d'alcool contenu dans 100 parties en poids du mélange.

L'alcoométrie volumétrique est la méthode adoptée par la régie française.

L'*alcoomètre centésimal de Gay-Lussac* (fig. 1) qui sert à la détermination du degré d'alcool, est un appareil qui, plongé dans un mélange d'alcool et d'eau à la température de 15 degrés, indique directement, par la graduation de sa tige et son point d'affleurement, le volume d'alcool pur contenu dans 100 volumes du liquide. Si, par exemple, l'alcoomètre, plongé à 15 degrés dans un mélange d'eau et d'alcool, affleure au chiffre de 50 d., on en conclut que 100 centimètres cubes du mélange contiennent 50 centimètres cubes d'alcool et on dit que l'alcool est à 50 degrés Gay-Lussac, ce que nous représenterons par le symbole 50 d., pour éviter la confusion avec les degrés de température. L'instrument est réglé de telle sorte que dans l'eau pure, il



Fig. 1. — Alcoomètre centésimal de Gay-Lussac.

affleure au point zéro, et dans l'alcool absolu au point 100. Les degrés intermédiaires indiquent le volume d'alcool pur contenu dans 100 volumes du liquide.

Il importe de remarquer que le volume de l'eau ne peut se déduire par différence du chiffre donné pour l'alcool par l'alcoomètre, à cause de la contraction de volume qui accompagne le mélange.

La détermination ne souffre aucune difficulté si la température du mélange alcoolique est de 15° C. Il suffit de plonger l'instrument dans l'alcool et de lire le point d'affleurement. Mais, en pratique, il n'est pas commode de ramener exactement l'échantillon à la température de 15° C. et alors le problème se complique singulièrement.

Quand la température est différente de 15° C., l'alcoomètre ne donne qu'un degré *apparent* qui doit être corrigé pour obtenir le degré véritable. A cet effet, Gay-Lussac a dressé une table appelée *table de la force réelle des liquides alcooliques*, que nous donnons en appendice et qui fait connaître l'indication que donnerait l'alcoomètre si le liquide alcoolique était ramené à la température de 15° C. avant d'en effectuer la pesée. Cette table porte en outre, en dessous du chiffre qui donne la force réelle, le volume réel qu'occuperaient 1.000 litres de l'alcool expérimenté s'il était à 15° C. au lieu d'être à la température d'expérience. Si le chiffre qui indique ce volume fait défaut, on doit prendre le premier nombre qu'on rencontre vers la gauche sur la même ligne.

Par exemple, si l'alcoomètre marque 82 degrés à la température de 20° C., la table fait connaître que la force réelle du liquide est de 80 d. 5, c'est-à-dire

qu'on aurait obtenu 80 d. 5 si on avait pris la précaution de refroidir à 15° C. le liquide avant d'en prendre le litre.

Mais nous commettrions une grave erreur si nous nous servions de ce chiffre pour calculer directement la quantité d'alcool pur contenu dans le volume de liquide alcoolique que nous analysons. Supposons que nous ayons 200 litres de liquide marquant 82 degrés à 20° C. La table précédente nous a bien indiqué la force réelle du liquide si nous l'avions refroidi à 15° C. pour l'examen. Cette force est de 80 d. 5. Mais, par ce refroidissement, il se serait produit une contraction de volume. Au lieu de 200 litres, nous n'en aurions plus que 199. La quantité totale d'alcool pur contenue dans nos 200 litres de liquide n'est donc pas de $200 \times 80,5 = 161$ litres d'alcool pur, mais bien de $199 \times 80,5 = 160$ lit. 19.

Il est donc nécessaire de faire une deuxième correction relative au volume pour obtenir la richesse alcoolique réelle du liquide, c'est-à-dire le nombre de litres d'alcool contenus dans 100 litres du liquide essayé.

La régie française a dressé une seconde table, appelée *table des richesses alcooliques*, que nous donnons également en appendice et qui tient compte de cette double correction. Mais il importe de bien remarquer que cette table ne donne pas le degré alcoolique réel du liquide : celui-ci s'obtient par la table des forces réelles de Gay-Lussac. Les chiffres qu'indique la table de la régie ne sont que des facteurs par lesquels il faut multiplier le volume observé à une température donnée pour obtenir le volume d'alcool pur à 15° qui s'y trouve contenu, Dans l'exemple cité plus haut, la table de la régie

donne comme richesse alcoolique du liquide titrant 82 d. à 20° C. le chiffre 80,1 ce qui veut dire qu'il suffit de multiplier ce chiffre par le volume, c'est-à-dire 200 litres dans notre exemple actuel, pour connaître la quantité réelle d'alcool pur contenu dans nos 200 litres de liquide, $200 \times 80,1 = 160 \text{ lit.}$ 2. Nous retrouvons ainsi, à très peu près, le chiffre de 160 lit. 19 obtenu plus haut par la double correction de température et de volume. Mais la force réelle du liquide n'est pas de 80 d. 1, mais bien de 80 d. 5, chiffre fourni par la table des forces réelles de Gay-Lussac.

La confusion entre la table des richesses alcooliques et la table des forces réelles cause fréquemment des erreurs. Nous empruntons à M. Barbet l'exemple suivant : si on veut connaître le degré de l'alcool fourni par un rectificateur, on devra recourir à la table des forces réelles, puisqu'on veut connaître ce degré d'une façon indépendante des volumes d'alcool distillés. Si donc un rectificateur donne de l'alcool marquant en hiver 94 d. 4 à 5°, au printemps, 96 d. 5 à 15°, en été, 98 d. 6 à 25°, la table des forces réelles nous indique que cet appareil donne uniformément, en toute saison, de l'alcool à 96 d. 5 à 15°. Si nous utilisons au contraire par erreur la table de la régie, nous trouvons que cet appareil donne de l'alcool à 97 d. 5 en hiver, à 96 d. 5 au printemps, à 95 d. 6 en été ; d'où la créance, fortement enracinée dans l'esprit des praticiens, qu'un rectificateur donne deux degrés de moins en été qu'en hiver.

Inversement, si un chimiste a distillé au laboratoire un liquide alcoolique quelconque, préalablement mesuré, et s'il veut savoir la quantité réelle d'alcool que contenait son liquide, il devra recourir

à la table des richesses alcooliques et non pas à la table des forces réelles qui ne tient pas compte de la correction relative au volume.

L'alcoométrie volumétrique présente de gros inconvénients. Les contractions de volume que subissent les mélanges d'eau et d'alcool, les dilata-tions sous l'action de la chaleur compliquent beau-coup le problème. La confusion entre les tables des richesses alcooliques et des forces réelles occasionne souvent des erreurs et des contestations. Aussi M. Lejeune en 1872 et M. Barbet en 1893 ont-ils proposé la substitution de l'alcoométrie pondérale à l'alcoométrie volumétrique. Le problème est dans ce cas beaucoup plus simple, car les poids d'alcool sont invariables, quelle que soit la température. Il s'agit alors de déterminer le poids d'alcool contenu dans 100 parties en poids du mélange. Cette méthode est employée en Allemagne depuis 1887. L'alcoomètre pondéral allemand est muni d'un thermomètre, et la température normale pour la pesée de l'alcool est de 15° C. Des tables spéciales, dressées par la commis-sion officielle des poids et mesures, donnent la force alcoolique vraie d'après les indications de l'alcoomètre pondéral à diverses températures.

Mouillage de l'alcool. — Quand on veut ramener un alcool donné à un degré alcoolique inférieur, il faut lui ajouter une quantité d'eau assez difficile à déterminer exactement, à cause des contractions qui se produisent et du dégagement de chaleur qui accompagne le mélange de l'eau et de l'alcool. Des tables ont été dressées qui donnent la quantité d'eau à ajouter à un alcool de titre donné pour le ramener à un autre titre. Nous donnons ces tables, dues à M. Guillemin, en appendice : elles ne sont exactes

qu'à la température de 15 degrés à laquelle elles ont été établies. Par exemple, pour ramener un alcool à 96 d. à 45 d., on cherche dans la colonne verticale marquée 96 le chiffre correspondant à la ligne horizontale marquée 45; on trouve ainsi 120,03 ce qui veut dire qu'à 100 volumes d'alcool à 96 d., il faut ajouter 120 vol. 03 d'eau pour obtenir de l'alcool à 45 d.

III. — MATIÈRES PREMIÈRES DE LA DISTILLERIE

On peut diviser les matières premières employées en distillerie en deux grandes classes : les *matières sucrées*, telles que la betterave à sucre, la mélasse, les fruits et miels, et les *matières amylicées* telles que les grains et les pommes de terre. Avec les matières sucrées, le problème de l'alcoolisation est simple. Ces substances contiennent en effet des sucres fermentescibles par la levure, soit directement, soit par inversion par une diastase hydrolysante sécrétée par la cellule de levure. La transformation des matières amylicées en alcool est plus complexe, car l'amidon doit être, au préalable, transformé en sucre, qui subit alors la fermentation alcoolique.

I. — BETTERAVE

Caractères botaniques et variétés (1). — La betterave appartient à la famille des Chénopodées, genre *Beta*. La betterave cultivée (*Beta vulgaris*) est une plante bisannuelle, qui ne produit, la première année, que son pivot charnu et qui donne,

(1) Pour plus de détails, consulter l'ouvrage de l'ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE : *Plantes industrielles*, de M. HITIER.

dans une deuxième année de végétation des tiges florifères et des graines.

Les fleurs sont réunies en glomérules assemblés eux-mêmes en épis. Chaque glomérule renferme un certain nombre de fleurs qui se soudent, après la fécondation, en un groupement unique, renfermant plusieurs graines, qui constitue ce qu'on appelle la graine de betterave. La teinte de ces glomérules varie du brun verdâtre au brun jaunâtre.

Le développement de la betterave a été étudié par Aimé Girard. Les expériences de ce savant ont montré que dans les deux premiers mois de culture, la betterave constitue surtout son appareil foliacé : le pivot reste faible, et l'appareil radicaire, qui représente au début un proportion notable du poids de la plante, diminue rapidement. Dans les deux derniers mois de la végétation au contraire, l'appareil foliacé reste sensiblement stationnaire, le pivot charnu augmente et représente à maturité environ les deux tiers du poids de la plante.

Le sucre qui s'accumule dans la betterave est élaboré dans les feuilles sous l'influence de la lumière solaire, et sa production est d'autant plus grande que l'intensité lumineuse est plus forte. La plus grande partie du sucre ainsi formé dans les feuilles pendant le jour va pendant la nuit s'emmagasiner dans la souche. Cette accumulation ne se fait pas également dans toutes les parties du pivot. Le sucre est inégalement réparti aussi bien dans les différentes zones d'une section perpendiculaire à l'axe que dans celle d'une section longitudinale suivant toute la longueur de la racine. La richesse en sucre est surtout élevée au tiers de la hauteur à partir du collet ; elle va en diminuant vers le collet et vers le pivot.

Les variétés de betteraves sont extrêmement nombreuses, car cette plante a subi sous l'influence de la sélection des transformations profondes surtout au point de vue du rendement cultural et de la richesse en sucre. La forme et la couleur des racines sont



Fig. 2. — Betterave blanche française riche, Vilmorin.

variables suivant l'espèce : la forme est tantôt ronde, tantôt ovale, tantôt pivotante; la couleur est tantôt blanche, tantôt jaune, tantôt rouge. Le pivot est parfois entièrement souterrain; parfois il émerge au contraire plus ou moins en dehors du sol.

On utilise en distillerie deux classes de variétés de betteraves : 1° les betteraves riches ou sucrières, dont la richesse en sucre varie de 14 à 15, 5 p. 100 et dont le rendement cultural oscille entre 25.000 et 30.000 kilogrammes à l'hectare; 2° les betteraves demi-sucrières, dont la richesse en sucre varie de 10

à 13 p. 100 et dont le rendement cultural oscille entre 35.000 et 50.000 kilogrammes à l'hectare.

Les principales variétés de betteraves riches utilisées en France sont la betterave blanche améliorée Vilmorin, la betterave de Klein-Wanzeleben et la betterave française riche ou race Fouquier d'Hérouel. La betterave blanche améliorée Vilmorin (fig. 2) se distingue par sa racine mince, tout à fait enterrée, son collet court, ses feuilles petites, planes ou légèrement ondulées sur les bord, et sa peau rugueuse. La richesse en sucre est de 15 à 16 p. 100 et sa conservation est parfaite.

La betterave de Klein-Wanzeleben (fig. 3), sélectionnée en Allemagne, est la plus répandue en France. Elle se distingue surtout par son collet large et court, son feuillage frisé et fortement ondulé sur les bords. C'est une race productive, dont la richesse en sucre est de 14 à 15 p. 100.

La betterave française riche ou race Fouquier d'Hérouel est une betterave de forme très longue et effilée, à collet très étroit, et dont le feuillage est dressé et uni sans frisures. Sa richesse en sucre varie de 14 à 16 p. 100, mais ses caractères sont moins bien fixés que ceux des variétés précédentes, et elle présente souvent d'assez grandes irrégularités dans sa composition chimique.

A côté de ces variétés, on peut citer aussi les excellentes betteraves des producteurs français Simon Legrand, Eloir, Hary, Gorain, Hélot, etc., qui fournissent d'excellents résultats sous le rapport de la richesse et du rendement.

Parmi les variétés demi-sucrières ou de distillerie, deux sont particulièrement importantes, la betterave Brabant et la betterave à sucre à collet rose,

La betterave Brabant à collet vert (fig. 4) est une race à fort rendement cultural, dont la richesse en sucre est de 12 à 13 p. 100. Sa forme est longue, son collet vert. Elle était autrefois employée pour la



Fig. 3. — Betterave blanche à sucre, Klein-Wanzeleben.

sucrerie; aujourd'hui, elle n'est plus utilisée que pour la distillerie.

La betterave blanche à sucre à collet rose (fig. 5) est très voisine de la précédente par ses caractères. Elle est plus arrondie que la Brabant, et s'en distingue aussi par la couleur de son collet. Elle est utilisée aujourd'hui comme race de distillerie.

On peut signaler encore, parmi les betteraves dites de distillerie, la betterave à sucre à collet gris, la Desprez, la géante blanche demi-sucrière, etc.

Parmi ces nombreuses variétés de betteraves, le

distillateur a choisi jusqu'à présent surtout les variétés demi-sucrières de richesse moyenne en sucre et de rendement cultural élevé. En effet, le problème ne semble pas se poser, à première vue, en distillerie comme en sucrerie. On cherche surtout, en distillerie agricole, à produire le maximum de pulpes pour l'alimentation des animaux. Il en résulte qu'une betterave de richesse moyenne en sucre, mais à grand rendement à l'hectare, semble préférable à une betterave très riche à rendement plus faible, puisqu'elle peut donner le même rendement en alcool à l'hectare et fournir des résidus beaucoup plus abondants. Le distillateur préfère donc les variétés de richesse moyenne qui donnent par hectare le plus fort rendement en alcool et en pulpe, sans viser à obtenir les hautes richesses saccharines des betteraves destinées à la sucrerie.

Toutefois, la question semble aujourd'hui changer de face à la suite des expériences entreprises dans ces dernières années sur les deux groupes de betteraves, sucrières et demi-sucrières, et des résultats obtenus par les sucreries qui se sont transformées en distilleries au moment de la crise sucrière et qui travaillent des betteraves riches pour la fabrication de l'alcool. M. Saillard a notamment comparé, au point de vue de la sucrerie, les deux groupes de betteraves, en tenant compte de la production de sucre à l'hectare, des frais de transport et de fabrication, et de l'épuisement du sol en principes nutritifs. Il a constaté, comme des travaux de MM. Champion et Pellet l'avaient déjà montré en 1880, que les variétés riches et les variétés demi-sucrières peuvent donner par hectare la même quantité de sucre, la richesse des uns étant compensée par l'augmenta-

tion de production des autres. Les betteraves demi-sucrières n'ont donc pas l'avantage de donner un rendement plus élevé en sucre et par suite en alcool à l'hectare.



Fig. 4. — Betterave blanche à sucre à collet vert, race Brabant.

Les expériences de M. Vuafart ont conduit à des conclusions analogues, comme l'indique le tableau suivant que nous empruntons à un rapport de M. Pellet

Betteraves riches.

Graines Klein..	36.000 kgr. × 14,47 sucre = 5.209 kgr. sucre.	
Hary n° 1 . . .	36.000 kgr. × 14,26 sucre = 5.133	—
Hary n° 2 . . .	35.000 kgr. × 14,42 sucre = 5.047	—
Dennetière. . .	31.000 kgr. × 14,00 sucre = 4.340	—
Fouquier d'Hé- rouel	33.000 kgr. × 14,00 sucre = 4.620	—
Eloir E.-W. . .	34.000 kgr. × 14,66 sucre = 4.984	—
Laurent Mou- chon	31.000 kgr. × 15,00 sucre = 4.650	—
	Moyenne.	4.855 —

Betteraves pauvres.

Simon Legrand.	45.000 kgr. × 11,21 sucre = 5.044 kgr. sucre.	
Simon Legrand.	47.000 kgr. × 10,28 sucre = 4.831	—
	Moyenne.	4.935 —

On peut donc obtenir, avec la betterave sucrière, autant d'alcool à l'hectare qu'avec la betterave demi-sucrière.

Les frais de transport de la betterave riche à l'usine sont naturellement beaucoup moins élevés que ceux de la betterave pauvre. Pour une même production de sucre, le rendement de la betterave demi-sucrière est en effet supérieur d'environ un tiers à celui de la betterave riche, et les frais de transport augmentent donc sensiblement avec les betteraves demi-sucrières.

Enfin, la betterave riche épuise beaucoup moins le sol que la betterave demi-sucrière pour la même quantité de sucre produit à l'hectare, comme l'ont montré les travaux de MM. Champion et Pellet, Saillard, Vuafart, etc. L'exemple suivant, tiré par M. Pellet d'un rapport de M. Vuafart, montre nettement cet avantage de la betterave riche.

		Betterave riche.	Betterave demi- sucrière.	Différence en moins pour les betteraves riches.
Matières fertilisantes enlevées par hectare pour un même poids de 4.500 kgr. de sucre produit	{ Azote . . .	65,5	83,7	18,8
	{ Acide phosphorique.	27,9	39,6	11,7
	{ Potasse . .	74,7	127,8	53,1



Fig. 5. — Betterave blanche à sucre à collet rose.

L'agriculteur a donc intérêt, au point de vue de l'exportation des éléments fertilisants, à donner la

préférence à la betterave riche qui épuise moins le sol.

Le rendement en pulpe est naturellement plus élevé avec la betterave demi-sucrière qu'avec la betterave riche, mais cet avantage doit être mis en balance avec tous les inconvénients qu'entraîne l'emploi de la betterave pauvre, c'est-à-dire l'augmentation des frais de transports, l'épuisement plus considérable du sol en principes nutritifs, la prolongation de la durée de fabrication, l'augmentation de tous les frais généraux qu'entraînent cette prolongation et le travail des moulins peu concentrés. Pour les petites distilleries agricoles, le rendement en pulpe constitue un des éléments les plus importants de l'industrie, et la betterave demi-sucrière peut rester dans ce cas la plus avantageuse. Mais pour les grandes distilleries industrielles et pour les sucreries transformées pour la production de l'alcool, nous nous rangeons à l'opinion émise par M. Saillard qui prévoit un avenir prochain où la betterave riche sera préférée, à cause de ses multiples avantages. Cette conclusion suppose évidemment, ce qui est le cas général, que ces usines possèdent un outillage qui leur permet de travailler, avec un bon épuisement, les betteraves riches et un procédé de levurage approprié à la fermentation des jus de ces betteraves.

Composition chimique de la betterave.

— La composition chimique de la betterave est extrêmement complexe. D'une manière générale, on peut dire que la betterave se compose d'un *jus* renfermant toutes les matières solubles et d'un *marc* ou d'une *pulpe* constitué par les matières insolubles. Dans la betterave, ce marc n'est pas anhydre. Payen a signalé en effet pour la première fois, en 1867, que la betterave contient, en dehors du jus, de l'eau

combinée au marc et non chargée de sucre, et Scheibler a donné à cette eau le nom d'*eau colloïdale*. Les analyses de betteraves confirment l'exactitude de ce fait. M. Pagnoula, par exemple, déterminé la quantité de jus contenu dans les betteraves en dosant le sucre s dans la racine et le sucre S dans le jus et en employant la formule de Jicinsky qui donne le jus J p. 100.

$$J = 100 \frac{S}{s}.$$

Il a, d'autre part, déterminé directement le marc et le jus par épuisement à l'eau et il a obtenu dans ce second cas pour le jus des chiffres plus élevés de 1,7 p. 100 en moyenne. Cette quantité 1,7 représenterait donc l'eau colloïdale.

La proportion de marc contenu dans la betterave varie assez peu ; elle est en général de 4,5 à 5 p. 100. Les 95,5 p. 100 qui restent constituent le jus *total*, dont la proportion oscille également entre les limites étroites. Le jus *extractible*, c'est-à-dire, d'après M. Pagnoul, le poids de jus identique avec le jus extrait qu'il faudrait obtenir pour avoir la totalité du sucre contenu dans la betterave, varie davantage, mais ses variations sont également faibles pour un même type de betteraves et sa proportion est voisine de 93 p. 100 pour les betteraves riches. Toutefois, ce coefficient n'est pas absolument fixe : il est plus élevé pour les betteraves pauvres que pour les betteraves sucrières et M. Vuafart a constaté qu'il peut varier de 98,4 pour la betterave à 7 p. 100 de sucre à 92,3 pour la betterave à 16 p. 100 de sucre. On voit donc qu'il ne peut exister de coefficient exact pour passer de la teneur en sucre du jus à la teneur en sucre de la betterave et que la richesse saccharine de la betterave

ne peut être déterminée que par le dosage direct du sucre dans la racine.

Les proportions relatives d'eau et de matières sèches contenues dans la betterave sont très variables. La proportion d'eau oscille de 77 à 88 p. 100, l'extrait de 12 à 23 p. 100. Ces variations proviennent surtout de la teneur différente en sucre, car la somme eau + sucre reste relativement constante dans tous les cas.

Le marc est constitué principalement par des matières pectiques (pararabine, métrarabine, acide arabique), de la cellulose, des matières azotées insolubles (caséine végétale, légumine, etc.) et des sels minéraux (silice, sels de chaux, de magnésie, phosphates). D'après Schwackhöfer, le marc contiendrait :

Pararabine	Environ 2,4 p. 100 de la betterave.	
Acide arabique	— 1,6	—
Cellulose	— 0,7	—
Matières azotées	— 0,1	—
Matières minérales	— 0,1	—
	<hr/>	
Total du marc	4,9	

Considérées dans leur ensemble, les matières solubles et insolubles qui composent la betterave sont d'abord des matières hydrocarbonées, notamment le saccharose, le sucre interverti, le raffinose, des pentosanes (arabanes, xylanes), des hexosanes (galactanes), des matières organiques azotées, notamment des matières albuminoïdes (albumine, légumine, etc.) des peptones, des nucléines, l'asparagine, la glutamine, la bétaine, la leucine, la tyrosine, la lécithine, la choline; enfin des matières minérales, notamment la potasse, la soude, la chaux, la magnésie combinées à des acides minéraux tels que les acides phosphorique, nitrique, sulfurique, chorhydrique, sili-

cique et à des acides organiques tels que les acides oxalique, malonique, succinique, malique, tartrique, citrique et glycolique.

La saccharose est l'élément le plus important de la betterave industrielle. Sa proportion dans la betterave peut varier de 3 p. 100 dans certaines variétés fourragères à 18-20 p. 100 dans certaines betteraves, exceptionnellement riches. La présence du sucre interverti, dans la betterave fraîchement arrachée, a été très discutée.

Les travaux de Pellet ont montré que la betterave sucrière fraîchement arrachée contient toujours un peu de sucre réducteur (0,08 à 0,15 p. 100) et que contrairement à ce que l'on admet souvent, la betterave arrachée depuis plusieurs jours et laissée à l'air libre n'augmente pas en réducteur pour 100 grammes de sucre. Certaines betteraves, demi-sucrières ou fourragères, peuvent contenir à l'arrachage une dose de réducteurs relativement considérable atteignant jusqu'à 42 p. 100 de saccharose.

Enfin la conservation, faite dans de bonnes conditions, ne semble pas augmenter sensiblement le chiffre des sucres réducteurs.

La betterave renferme également du raffinose en proportions variables suivant les conditions de végétation et de température; il y en a en moyenne 0,03 à 0,04 p. 100 d'après Lippmann, mais cette proportion peut s'élever dans certains cas jusqu'à 0,08 p. 100.

Les pentosanes (arabanes, xylanes) sont assez abondants dans la betterave. Stoklasa a obtenu en effet, par hydrolyse à l'acide chlorhydrique, 3 gr. 68 de furfurool par 100 grammes d'extrait sec dans une betterave après quatre mois de végétation. Des hexo-

sanés, et notamment des galactanes, accompagnent le plus souvent ces pentosanes dans la betterave.

La présence des matières pectiques dans la betterave a été signalée pour la première fois par Payen. Frémy a montré que la betterave renferme de la *pectose*, insoluble dans l'eau, l'alcool et l'éther. Bracconot a vu que cette pectose se transforme sous l'action de la chaleur et des acides de la plante en *pectine*, soluble dans l'eau à laquelle elle communique de la viscosité et non précipitable par l'acétate neutre de plomb. Soumise à l'ébullition, la pectine se transforme d'abord en *parapectine* qui précipite par l'acétate neutre de plomb, puis en *métapectine* soluble dans l'eau. Sous l'influence d'une diastase coagulante, la *pectase*, la pectine se coagule en une masse gélatineuse épaisse qui est constituée par l'*acide pectosique* de Frémy. Cette coagulation est favorisée par la présence des sels de chaux. L'acide pectosique est à peine soluble dans l'eau froide; à l'ébullition ou sous l'action des alcalis, il se transforme en *acide pectique* insoluble dans l'eau froide. L'acide pectique se dissout par longue ébullition dans l'eau et se transforme en *acide parapectique*, précipitable par l'eau de baryte, puis en *acide métapectique*, non précipitable par l'eau débaryte. Des travaux plus récents ont permis de caractériser quelques matières pectiques de la betterave, et notamment l'*acide arabique*, identique à l'acide métapectique de Frémy, donnant par hydrolyse un mélange d'arabinose et de galactose; la *pararabine*, isolée par Reichardt, modification de l'arabine; la *métarabine* de Scheibler.

Toutes ces matières pectiques paraissent constituées par un mélange d'arabanes et de galactanes

et donnent par hydrolyse les sucres réducteurs correspondants.

Les celluloses et hémi-celluloses forment avec les substances ligneuses le tissu cellulaire de la betterave. Quant aux matières grasses, elles sont peu abondantes et ne représentent en moyenne que 0,1 p. 100 du poids de la betterave.

Les matières organiques azotées de la betterave sont extrêmement nombreuses. La richesse du pivot en azote total peut varier entre des limites assez étendues, de 0,08 à 0,5 p. 100. Cet azote provient d'abord des matières albuminoïdes solubles et insolubles et des peptones dont nous avons donné les caractères généraux dans notre volume consacré à la brasserie. Urban a constaté que l'azote albuminoïde peut représenter dans la betterave 30 à 35 p. 100 de l'azote total. D'après Wendeler, l'azote des albuminoïdes représente, dans les jus de betteraves pressées, 0,385, et celui des peptones et propeptones 0,026 p. 100 du sucre. Les nucléines, composés organiques phosphorés, insolubles dans l'eau froide, se rencontrent dans le marc. Ce sont ces substances, qui donnent très probablement, par leur décomposition, certains produits azotés qu'on retrouve seulement dans les mélasses, et dont l'existence dans la betterave même est douteuse, notamment la guanine, la xanthine, l'hypoxanthine, l'adénine, la carnine et l'hétéroxanthine.

Les acides amidés sont représentés dans la betterave principalement par l'asparagine (C^2H^3) (AzH^2) ($COAzH^2$) $CO^2 H$, et son homologue supérieur, la glutamine (C^3H^5) (AzH^2) ($COAzH^2$) (CO^2H). On trouve enfin, parmi les matières organiques azotées, la bétaine ou triméthylglycocolle (COO) CH^2Az

$(\text{CH}^3)^3$, la choline Az $(\text{CH}^3)^3 (\text{C}^2\text{H}^4\text{OH})(\text{OH})$, un peu de leucine ou acide α -amidocaproïque $(\text{CH}^3) - \text{CH} (\text{AzH}^2) (\text{CO}^2\text{H})$, de tyrosine ou oxyphénylanine $(\text{C}^6\text{H}^4(\text{OH}) - \text{CH}^2 - \text{CH} (\text{AzH}^2) (\text{CO}^2\text{H}))$, et plusieurs lécithines, combinaisons organiques azotées et phosphorées qui se forment dans les feuilles sous l'influence de la lumière solaire et s'accumulent ensuite dans la racine, comme l'ont montré les expériences de Stoklasa.

La richesse moyenne des betteraves sucrières et demi-sucrières en matières minérales est de 0,76 p. 100 d'après M. Vivien. Ce chiffre peut d'ailleurs varier de 0,5 à 1,0 et représenter 2 à 7 p. 100 de la matière sèche. Chez les betteraves pauvres, la teneur en cendres est beaucoup plus élevée; elle est en moyenne de 1,36 p. 100 et peut représenter jusqu'à 10 à 20 p. 100 de la matière sèche. Les betteraves à grande richesse saccharine sont en général des espèces pauvres en cendres.

Les matières minérales de la betterave sont constituées par de la potasse, de la soude, de la chaux, de la magnésie, de l'oxyde de fer, des phosphates, de la silice et des chlorures. Le tableau suivant, dû à Rümpler, indique les variations de ces divers éléments dans le pivot des betteraves à sucre.

	Mx.	Mn.		Mx.	Mn.
Potasse	78,1	26,9	Acide phosphorique .	27,1	3,4
Soude	24,0	0,0	Acide sulfurique . .	14,3	1,3
Chaux	17,8	1,6	Silice	12,1	0,0
Magnésie	11,9	2,3	Chlore	18,4	0,2
Oxyde de fer . . .	4,9	0,2			

Les betteraves contiennent en outre des nitrates en quantités variables suivant les conditions de culture. En général, la proportion de nitrates est faible et ne présente qu'environ 2 à 3 p. 100 de l'azote total.

II. — MÉLASSES DE BETTERAVES

La mélasse est un résidu de la fabrication du sucre de betteraves. Elle contient une forte proportion de saccharose, qui ne peut cristalliser, à cause de la grande quantité de matières salines et organiques qui l'accompagnent.

Composition de la mélasse de betteraves. — La composition moyenne de la mélasse de betteraves est la suivante :

Eau	16 à 20 p.	100
Saccharose	44 à 52	—
Non-sucre	30 à 36	—

En dehors du saccharose, la mélasse renferme un peu de sucre interverti et de raffinose en proportions variables.

Le non-sucre est constitué en moyenne par 11 p. 100 de matières organiques non azotées, 11 p. 100 de matière organique azotées et 11 p. 100 de matières minérales.

Les matières organiques non azotées comprennent d'abord des acides organiques nombreux tels que les acides tartrique, malique, citrique, pectique, lactique, arabique, succinique, formique, acélique, butyrique, etc. Ces acides forment la majeure partie du non-sucre organique non azoté. Le reste est constitué par de la pectine, de la pectose et des gommés.

Les matières organiques azotées sont constituées surtout par de la bétaine et des acides amidés. On trouve en outre des matières albuminoïdes, des peptones et propeptones. La richesse des mélasses en azote total varie de 1,2 à 2,3 p. 100, soit en moyenne

1,7 p. 100, en comprenant dans ce chiffre l'azote nitrique et ammoniacal. D'après Andrlík, Urban et Stanek, la bétaine et les acides amidés représentent environ 90 p. 100 de ce chiffre; l'azote des albuminoïdes et des propeptones 3 p. 100, l'azote des peptones 1,9 p. 100, l'azote ammoniacal 3,2 p. 100 et l'azote nitrique 1,9 p. 100. La quantité d'albumine et de peptones contenues dans les mélasses est donc très faible.

Les matières minérales varient de 9 à 13 p. 100. Elles sont constituées surtout de potasse, de soude et de chaux, combinées à l'acide carbonique provenant de la décomposition des sels organiques pendant la calcination. On y trouve en outre des phosphates, des sulfates, des chlorures. Voici les résultats obtenus pour quelques mélasses par Andrlík, Urban et Stanek :

Dans 100 de cendres.	
Potasse	50,36 à 56,98
Soude	5,85 à 10,74
Chaux	0,39 à 1,92
Magnésie.	0,21 à 0,39
Oxyde de fer et alumine	0,84 à 0,09
Insoluble dans l'acide chlorhydrique.	0,14 à 0,53
Acide phosphorique	0,13 à 0,90
Acide sulfurique	1,43 à 4,52
Chlore	3,27 à 3,86
Acide carbonique.	27,34 à 30,06

On voit que ces cendres sont surtout constituées par du carbonate de potasse. Voici, d'autre part, d'après Wolff, la composition de ces cendres, privées d'acide carbonique :

	Maximum.	Minimum.	Moyenne.
Potasse	72,74	66,15	69,85
Soude	15,86	9,42	12,17
Chaux	7,09	4,37	5,70
Magnésie.	0,78	0,00	0,39

	Maximum.	Minimum.	Moyenne.
Oxyde de fer	0,45	0,08	0,26
Acide phosphorique.	0,80	0,23	0,60
Acide sulfurique . . .	2,56	1,59	2,04
Silice.	1,45	0,00	0,72
Chlore	11,32	8,51	10,26

La teneur moyenne des cendres en acide carbonique étant de 27 à 28 p. 100, on peut compter que les cendres renferment environ 80 p. 100 de carbonates provenant des sels organiques de la betterave décomposés lors de la calcination.

III. — MÉLASSES DE CANNES

La mélasse de cannes est utilisée pour la fabrication du rhum de mélasses ou *tafia*. Elle constitue un résidu de la sucrerie de cannes.

Composition de la mélasse de cannes.

— La composition de cette mélasse est assez variable. D'après M. Pairault, la composition moyenne de la mélasse de cannes serait la suivante, pour 100 grammes de produit :

Eau et matières organiques indéterminées (non sucre)	32 à 34
Saccharose	30 à 40
Sucres réducteurs	22 à 32
Matières minérales.	4 à 6

On voit que la composition de cette mélasse est très différente de celle de la mélasse de betteraves. Elle est moins riche en saccharose et en sels et beaucoup plus riche en sucres réducteurs.

D'après M. Pellet, les variations du saccharose et des sucres réducteurs sont très considérables, suivant la qualité de la canne et le mode de travail des

sucreries. On trouve ainsi des mélasses ayant 40 à 45 p. 100 de saccharose et 10 à 15 p. 100 de sucres réducteurs, et d'autres mélasses contenant 25 à 30 p. 100 de sucres réducteurs et 25 à 30 p. 100 de saccharose. Voici une analyse de mélasses de cannes de sucrerie d'Égypte, due à MM. Pellet et Meunier :

Matières sèches	73,28
Eau	26,72
Saccharose	36,40
Dextrose	6,10
Lévulose	8,48
Glucose	2,40
Mannose	0,20
Matières minérales (sans acide carbo- nique)	8,40
Matières organiques	11,30
	<u>100,00</u>

On voit que les sucres réducteurs sont composés principalement de glucose et de lévulose en proportions inégales qui ne correspondent pas par suite à celles qu'on trouve dans le sucre inverti. On rencontre en outre un peu de mannose et une quantité sensible de glucose. Ce dernier sucre, infermentescible, reste dans les moûts après fermentation, ce qui explique la proportion assez considérable de sucres réducteurs qu'on retrouve dans les moûts fermentés de mélasses de cannes.

Ces mélasses renferment enfin, d'après M. Pairault, 0,2 à 0,3 p. 100 d'azote total. Elles ne contiennent pas de nitrates. Contrairement aux mélasses de betteraves qui sont presque toujours neutres ou alcalines, les mélasses de cannes sont le plus souvent légèrement acides (3 à 4 grammes par litre en acide sulfurique).

IV. — FRUITS, MIELS ET MATIÈRES SUCRÉES DIVERSES

Les principaux fruits employés pour la fabrication d'eaux-de-vie sont les cerises qui servent à préparer le *kirsch*, les prunes dont la distillation fournit le *quetsch*, les groseilles, les myrtilles, les mûres, les framboises, les figues, les dattes. Nous ne nous occuperons pas ici du raisin dont les eaux-de-vie sont traitées dans un volume spécial (1).

Les pommes, qui sont aujourd'hui souvent utilisées pour la production d'alcools rectifiés, sont constituées de 92 à 97 p. 100 d'une pulpe qui renferme elle-même 96,5 à 97,5 p. 100 de jus. La densité de ce jus varie de 1.040 à 1.100, suivant les variétés, et il renferme par litre de 85 à 210 grammes de sucres (glucose, lévulose et saccharose); son acidité, constituée surtout par de l'acide malique, est de 0 gr. 5 à 10 grammes par litre, évaluée en acide sulfurique; il contient enfin en moyenne 3 grammes de tannin, 7 grammes de matières pectiques et 0 gr. 600 de matières azotées par litre. Ce dernier chiffre est très faible: le jus de pommes est donc un milieu très pauvre en azote et nous aurons à revenir sur ce fait en étudiant sa fermentation.

La composition chimique des fruits est extrêmement variable suivant les conditions météorologiques et suivant l'état de maturité; il est donc difficile de donner sous ce rapport des chiffres précis. En moyenne, on peut admettre pour les divers fruits la richesse suivante en sucre:

(1) Voir *Vinification* par P. P. Corret

Cerises douces	9 à 10 p.	100
Prunes	6,5	—
Groseilles.	6	—
Framboises	5 à 6	—
Figues	10 à 12	—
Dattes	50 à 65	—

Les sucres contenus dans ces fruits sont constitués le plus souvent par un mélange de glucose, de lévulose et de saccharose.

On fabrique également des eaux-de-vie avec le miel. Le miel se compose en moyenne de 65 à 75 p. 100 de glucose et de lévulose, de 2 à 10 p. 100 de saccharose et de 22 à 25 p. 100 d'eau. Il est très pauvre en matières azotées et en matières minérales.

En dehors des fruits et des miels, on a recommandé un certain nombre d'autres substances sucrées pour la fabrication de l'alcool, notamment le sorgho sucré, les caroubes, les tiges vertes de maïs, la racine de chicorée, la racine de garance, etc. Les tiges du sorgho sucré renferment, à maturité, de 12 à 16 p. 100 de saccharose, et les tiges vertes de maïs, de 5 à 10 p. 100 de sucres fermentescibles. Les caroubes contiennent de 32 à 40 p. 100 de sucres, constitués pour les trois quarts par du saccharose et pour un quart par du glucose. On y trouve en outre en moyenne 1,3 p. 100 d'acide butyrique qui rend la fermentation difficile et donne à l'alcool un goût désagréable. Cette matière première est surtout employée en Portugal. Enfin la racine de chicorée renferme en moyenne 3 à 4 p. 100 de sucre et 16 à 23 p. 100 de matières saccharifiables par l'acide sulfurique étendu.

V. — TOPINAMBOURS

Le topinambour est une plante vivace de la famille des Composées, dont les tubercules souterrains peuvent être utilisés pour la préparation de l'alcool. Les principales variétés sont le topinambour commun à peau rose, le topinambour jaune et le topinambour patate de H. de Vilmorin, à tubercules plus gros et plus réguliers que les deux précédents.

Composition du topinambour. — MM. Müntz et Girard donnent pour les topinambours de diverses provenances la composition moyenne suivante :

	Dordogne.	Charente.	Seine.
Eau	77,18	79,60	80,30
Sucres et inuline . . .	14,27	13,40	12,42
Matières azotées . . .	2,03	2,00	2,27
Matières grasses . . .	0,12	0,11	0,11
Cellulose	0,88	0,86	0,66
Corps pectiques, etc. .	4,09	2,64	2,59
Matières minérales . .	1,43	1,39	1,65
	100,00	100,00	100,00

D'autre part, Petermann a trouvé les chiffres suivants :

Eau	75,04 à 79,43
Hydrates de carbone saccharifiables	12,72 à 16,37
Hydrates de carbone non saccharifiables	3,93 à 7,12
Matières grasses	0,11 à 0,26
Protéine	1,06 à 1,56
Cendres	0,92 à 1,39

Les hydrates de carbone du topinambour sont constitués, d'après M. Tanret, d'inuline et d'un

corps complexe appelé *lévuline* ou *synanthrose* qui est un mélange de saccharose et de différentes lévulosanes telles que l'inulénine, l'hélianthénine et la synanthrine. Le topinambour contient également de la pseudo-inuline ; tous ces corps se transforment, sous l'action des acides, soit en lévulose, soit en glucose et lévulose.

Le topinambour renferme peu de matières azotées : leur proportion varie de 1 à 2,5 p. 100. Elles sont formées environ de 60 p. 100 d'albuminoïdes et de 40 p. 100 de composés amidés, de sels ammoniacaux et de nitrates.

VI. — MATIÈRES AMYLACÉES

Les principales matières amylacées employées en France pour la fabrication de l'alcool sont, comme nous l'avons vu, l'orge, le maïs, le seigle et le manioc ; on travaille en outre parfois le riz et on utilise aussi de petites quantités de blé et d'avoine. La pomme de terre est très rarement employée.

Nous avons étudié, dans un autre volume (1), la composition chimique de l'orge, du maïs et du riz. Nous n'y reviendrons donc pas ici, et nous nous bornerons à rappeler, dans le tableau suivant, les limites entre lesquelles oscillent les diverses matières qui composent ces grains, d'après Dietrich et Kœnig.

Il nous reste à indiquer la composition du seigle, du blé, de l'avoine, du manioc et de la pomme de terre.

(1) Voir E. BOULLANGER, *Brasserie* (ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE).

	EAU	AMIDON et SUCRES	MATIÈRES AZOTÉES	CELLULOSE	MATIÈRES GRASSES	MATIÈRES MINÉRALES
Orge.	Maximum.	20,88	74,70	18,27	10,80	3,24
	Moyenne .	13,78	65,51	11,16	4,80	2,12
	Minimum .	8,34	56,10	6,19	2,22	1,02
Mais.	Maximum.	22,40	72,69	15,12	8,50	9,16
	Moyenne .	13,88	66,78	10,05	4,59	4,76
	Minimum .	8,09	59,03	5,82	0,99	1,54
Riz décortiqué . .	13,11	76,75	7,85	0,63	0,63	1,01
Riz non décortiqué.	9,55	75,85	5,87	5,80	1,84	1,09

Seigle. — Le seigle est utilisé principalement dans les fabriques de levure pressée.

D'après Kœnig, sa composition est la suivante :

Eau	8,51 à 19,43
Matières hydrocarbonées solubles.	60,91 à 72,61
Protéine brute	7,91 à 16,93
Matières grasses	0,90 à 2,86
Cellulose	1,04 à 4,25
Cendres	1,45 à 2,93

Les matières hydrocarbonées solubles sont composées en majeure partie d'amidon, environ 62 p. 100, et d'un peu de sucre et de dextrines (4 à 5 p. 100).

Le seigle est très riche en matières azotées, et c'est à cette richesse qu'il doit ses propriétés avantageuses pour la fabrication de la levure pressée.

Blé. — Le blé est rarement employé pour la fabrication de l'alcool : on l'utilise cependant en Belgique pour la préparation du malt. Voici, d'après Kœnig, sa composition moyenne :

Eau	5,33 à 19,10
Matières hydrocarbonées solubles.	59,90 à 73,77
Protéine brute	7,61 à 21,37

Matières grasses	1,00 à 3,57
Cellulose	1,24 à 6,34
Cendres	0,52 à 2,68

Les matières hydrocarbonées solubles sont constituées, comme dans le seigle, en majeure partie par de l'amidon, en moyenne 64 p. 100, et par 3 à 4 p. 100 de sucres et de dextrines. Le gluten forme la plus grande partie des matières azotées.

Avoine. — L'avoine est très peu employée en France, mais son emploi est au contraire assez répandu en Allemagne et en Hongrie pour la préparation du malt dans les fabriques de levure pressée. L'avoine est moins riche en amidon que le seigle, mais beaucoup plus riche en matières grasses, comme le montrent les chiffres suivants, dus à Kœnig et Dietrich :

Eau	7,6 à 18,46
Matières hydrocarbonées solubles.	42,82 à 65,45
— azotées	6,25 à 19,15
— grasses	2,76 à 7,31
Cellulose	6,66 à 20,02
Cendres	1,61 à 6,11

Les matières hydrocarbonées solubles sont composées surtout d'amidon, environ 51 p. 100, et de 4 p. 100 en moyenne de sucres, gommés et dextrines. Les matières azotées sont constituées principalement par de la caséine végétale et par un peu de gliadine.

Manioc. — Les racines de manioc, importées en France, sont employées depuis quelques années en assez grande quantité pour la fabrication de l'alcool. L'analyse suivante, due à l'obligeance de M. Boidin, indique la composition d'un manioc de la Réunion :

Eau	13,30 p. 100
Amidon	68,57 —
Sucre interverti	1,72 —
Autres sucres réducteurs	1,39 —
Azote total	0,18 —
Cendres	1,87 —
Alcalinité des cendres p. 100 de manioc	1 ^{re} ,40 (SO ⁴ H ²)
Acide phosphorique	0,337 p. 100

La composition du manioc est d'ailleurs assez variable : certains échantillons possèdent plus de 80 p. 100 d'amidon et de sucres. Le manioc est très pauvre en matières azotées et doit être mélangé dans le travail à des grains qui apportent la quantité d'azote nécessaire pour le bon développement de la levure.

Pomme de terre. — La pomme de terre (*Solanum tuberosum*) est une plante de la famille des Solanées, dont les tubercules renferment une forte proportion de fécule. Il en existe un grand nombre de variétés, qui présentent entre elles de très grandes différences sous le rapport du rendement à l'hectare et de la richesse en fécule. Les meilleures variétés pour les distillateurs sont celles qui fournissent à la fois un haut rendement cultural avec une forte richesse en fécule. Ces variétés ont été particulièrement sélectionnées par les agronomes allemands, à cause de l'intérêt qui s'attache dans leurs pays à la pomme de terre comme matière première des distilleries agricoles. Une station spéciale a été créée pour l'étude des variétés les plus productives, les plus riches en fécule et les moins sensibles aux maladies; on a pu déterminer ainsi en outre les espèces qui conviennent à chaque nature de sol. La culture de la pomme de terre a été ainsi puissamment développée, et les agriculteurs allemands

obtiennent aujourd'hui aisément de hauts rendements culturaux et de riches tubercules.

Nous avons déjà signalé les beaux travaux de M. A. Girard en France sur cette importante question. Grâce à ses études, nous connaissons aujourd'hui les procédés de culture favorables à la pomme de terre et les moyens d'obtenir de forts rendements. En utilisant ces moyens et en cultivant des variétés productives et riches en fécule, la pomme de terre peut devenir une matière première aussi avantageuse que la betterave pour la production de l'alcool.

Parmi les variétés industrielles allemandes, on peut citer : *Richters Imperator*, dont A. Girard a propagé la culture en France, *Professeur Maercker*, *Président Krüger*, *Fürst Bismarck*, *Bund d. Landwirthe*, *Boncza*, *Unica*, etc. Le rendement moyen de ces variétés est de 27.000 kilogrammes à l'hectare et la richesse moyenne en fécule de 18,4 p. 100. Parmi les variétés françaises, on peut citer : *Institut de Beauvais*, *Magnum Bonum*, etc.

Maercker donne, d'après Morgen, les chiffres suivants pour la composition de la pomme de terre :

	Maximum.	Moyenne.	Minimum.
Eau	79,67	74,43	69,61
Matière sèche	20,39	25,57	20,33
Azote total	0,489	0,324	0,229
— soluble	0,446	0,270	0,202
— — albuminoïde	0,225	0,141	0,099
— — amidé	0,219	0,118	0,073
— — indéterminé	0,033	0,012	0,002
— insoluble	0,100	0,056	0,009
Hydrates de carbone évalués en sucre	27,283	22,237	16,730
Dont :			
Amidon	24,26	16,615	14,532
Sucre	1,08	0,267	0,073
Dextrines	0,276	0,164	0,049

Cendres totales	1,208	1,076	0,650
— solubles	0,948	0,730	0,503
— insolubles	0,477	0,262	0,079

On voit que l'humidité est très variable dans la pomme de terre. Certains tubercules sont très aqueux, surtout dans les années humides : la proportion d'eau est alors voisine de 80 p. 100. Dans d'autres cas, au contraire, la teneur en eau s'abaisse à 68-70 p. 100.

Les hydrates de carbone saccharifiables de la pomme de terre sont presque entièrement constitués par la fécule. On trouve en outre un peu de sucre inverti et de glucose, et aussi, d'après Morgen, un peu de dextrine. La proportion de fécule varie beaucoup avec la nature du sol, la variété, le mode de culture, les engrais et les conditions climatériques. On peut ainsi trouver de 16 à 25 p. 100 de fécule. La richesse en fécule est surtout considérable dans les années sèches et chaudes.

Les matières azotées de la pomme de terre sont constituées, d'après Schultze et Barbieri, par 44 à 65 p. 100 de matières albuminoïdes et 34,5 à 56 p. 100 de composés amidés. Maercker a montré que les pommes de terre riches en azote contiennent proportionnellement plus de matières amidées que les pommes de terre pauvres, et que les variétés pauvres en amidon sont en général pauvres en amides. Une proportion élevée d'amides et d'azote total dans la pomme de terre est ordinairement un signe d'insuffisance de maturité.

Le suc de la pomme de terre a une réaction acide; il renferme en effet des sels organiques acides, notamment des citrates, des oxalates, des lactates et de l'acide pectique soluble.

Les matières minérales sont constituées en moyenne pour les trois quarts de sels solubles et pour un quart par des sels insolubles.

Autres matières amylacées. — On peut signaler encore, parmi les matières amylacées utilisées pour la fabrication de l'alcool, le dari, le sarrasin et les patates douces.

La composition du dari est la suivante, d'après de Bibra :

Eau	11,95
Amidon et balles	70,23
Sucre	1,46
Albumine	"
Glyadine et caséine	4,58
Matières azolées insolubles dans l'eau et l'alcool	4,06
Matières grasses	3,90
Gommes	3,82

La teneur en amidon varie de 63 à 71 p. 100. Cette matière première donne un alcool très pur.

Le sarrasin ou blé noir est peu employé pour la distillerie, mais on l'utilise fréquemment en Allemagne dans les fabriques de levure pressée. Sa composition, d'après Kœnig, est la suivante :

	Grains		Farine.
	non mondés.	mondés.	
Eau	11,93	12,63	14,27
Mat. hydrocarbonées	55,81	72,15	72,46
	(amidon, 63,81)		
Mat. azotées	10,30	10,19	9,28
Mat. grasses	2,81	1,28	1,89
Cellulose	16,44	1,51	0,89
Cendres	2,12	2,24	1,21

D'autres auteurs donnent pour la teneur en amidon des chiffres plus faibles. En réalité, la richesse du sarrasin en amidon est variable et peut osciller entre 45 et 65 p. 100.

Enfin les patates douces produisent des rhizomes qui renferment environ 20 à 25 p. 100 de matières hydrocarbonées saccharifiables quand ils sont riches, et 16 à 19 p. 100 quand ils sont pauvres. Ces hydrates de carbone sont constitués par 14 à 22 p. 100 d'amidon et 2 à 10 p. 100 de sucres, parmi lesquels le saccharose domine.

VII. — ANALYSE DES PRINCIPALES MATIÈRES PREMIÈRES

Analyse de la betterave.

Cette opération présente une grande importance pour le distillateur. Il importe d'abord de prendre un échantillon bien homogène. A cet effet, on prend soit dans le champ, soit dans le chariot de transport, un certain nombre de betteraves à divers points, en choisissant des grosses, des moyennes et des petites. Le lot doit être assez considérable pour que l'analyse représente bien un échantillon moyen. On brosse alors les betteraves, on enlève la terre adhérente et les radicelles, on coupe le collet et on soumet les betteraves au râpage pour les transformer en pulpe. Cette opération se fait ordinairement sur une partie de la betterave au moyen de la râpe conique de MM. Pellet et Lomont.

Densité. — On introduit la râpure dans un sac en toile fine et on presse lentement et énergiquement. On recueille tout le jus qui s'écoule, et après dix minutes de repos, on décante lentement dans une éprouvette, en faisant couler le liquide le long des parois pour éliminer la mousse et les bulles d'air.

On y plonge alors le densimètre régie, qui indique la densité si la température est de 15 degrés. On peut également employer le saccharomètre en poids qui indique à 15 degrés le poids de sucre dissous dans 100 grammes de la solution, ou le saccharomètre Vivien qui indique à 15 degrés le poids de sucre dissous dans 100 centimètres cubes de la solution. Si la température de la prise de densité est différente de celle qui correspond à la graduation de l'instrument, on doit faire une correction dont la valeur est indiquée par des tables spéciales.

Il importe de remarquer que les résultats obtenus pour la densité sont variables avec le type de râpe employé, l'intensité et la durée de la pression, la finesse de la râpure, etc. Il faut donc opérer toujours dans les mêmes conditions si on veut obtenir des résultats comparables.

Sucre du jus. — Pour faire ce dosage, on mesure 100 centimètres cubes de jus, on ajoute 10 centimètres cubes de sous-acétate de plomb, on agite, on filtre, on acidifie par une ou deux gouttes d'acide acétique cristallisable et on polarise dans le tube de 22 centimètres. Le chiffre obtenu, multiplié par 0,1626 donne le sucre pour 100 centimètres cubes de jus. Pour avoir le sucre pour 100 grammes de jus, il suffit de diviser ce chiffre par la densité du jus.

Sucres réducteurs du jus. — On mesure 100 centimètres cubes de jus, on les additionne de 10 centimètres cubes d'acétate neutre de plomb; on précipite l'excès de plomb par une pincée de carbonate de soude sec et on filtre. Dans le liquide filtré, on dose les sucres réducteurs au moyen de la liqueur cupropotassique, soit en précipitant à l'état d'oxyde tout le cuivre de la liqueur et en la décolorant par suite

complètement, soit, ce qui est préférable, en employant un excès de liqueur cuprique pour ne précipiter qu'une partie du cuivre et en pesant le cuivre précipité ou en dosant le cuivre restant non précipité.

La première méthode, *par décoloration ou méthode Viollette*, présente l'avantage d'être rapide, mais elle n'est qu'approximative. On étend d'abord la liqueur avec une quantité suffisante d'eau distillée pour qu'elle contienne, au maximum 1 p. 100 de sucre réducteur; on détermine cette dilution par un essai préalable. On mesure alors 10 centimètres cubes de liqueur cupropotassique, on les place dans un tube assez large avec 20 centimètres cubes d'eau et on porte à l'ébullition. On fait tomber dans ce liquide, goutte à goutte, la solution sucrée diluée, en entretenant sans cesse l'ébullition, jusqu'à ce que la décoloration de la liqueur soit complète. Le volume V de liqueur sucrée versé renferme alors un poids de sucre interverti, égal à celui qui est nécessaire pour décolorer les 10 centimètres cubes de liqueur. Ce poids constitue le *titre* qu'on détermine au préalable, de la même manière, avec une solution à 1 p. 100 de sucre interverti : T étant ce titre, V le volume versé, le sucre interverti pour 100 centimètres cubes de jus sera :

$$S = \frac{T}{V} \times 100$$

Les méthodes basées sur la pesée du cuivre précipité ou sur le dosage du cuivre restant dans la liqueur sont plus exactes que la précédente. Il est préférable dans ce cas de ne pas déféquer. On opère alors soit par la méthode de Soxhlet, soit par celle de Lehmann modifiée par Maquenne, soit par celle de

Mohr modifiée par Bertrand, soit enfin celle de Weill modifiée par Pellet.

Par la méthode pondérale de Soxhlet, la liqueur cupro-potassique à employer se compose des deux solutions suivantes : A : 34 gr. 639 de sulfate de cuivre, amenés à 500 centimètres cubes avec de l'eau distillée; B : 173 grammes de sel de Seignette et 125 grammes de potasse caustique complétés à 500 centimètres cubes. On mélange à volumes égaux les deux solutions seulement au moment de l'emploi.

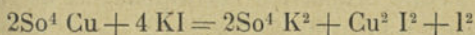
Voici comment on doit opérer : on mélange 30 centimètres cubes de liqueur A avec 30 centimètres cubes de liqueur B; on ajoute 60 centimètres cubes d'eau, on porte à l'ébullition, puis on ajoute 25 centimètres cubes de la solution sucrée, renfermant au maximum 0,5 p. 100 de sucre réducteur. On fait bouillir deux minutes dans une capsule de porcelaine, puis on filtre rapidement sur un tube de Soxhlet garni d'un tampon d'amiante et taré à l'avance. On recueille ainsi l'oxyde cuivreux précipité. La filtration par le vide permet d'opérer très vite. On lave à l'eau chaude, puis à l'alcool et à l'éther pour dessécher; on adapte le tube à l'extrémité d'un appareil à hydrogène et on chauffe l'oxyde pour le réduire, dans un courant d'hydrogène, à l'état de cuivre. L'augmentation de poids du tube donne le poids de cuivre précipité. Il suffit alors de se reporter aux tables spéciales qui donnent la quantité de sucre interverti qui correspond au poids de cuivre obtenu. Connaissant cette quantité, il est facile de calculer la quantité de sucre interverti contenu dans 100 centimètres cubes de jus.

Les méthodes volumétriques de dosage des sucres réducteurs ont l'avantage d'être plus simples, plus

rapides et elles sont, à notre avis, aussi exactes que la méthode pondérale quand elles sont bien exécutées.

Pour la méthode de Lehmann-Maquenne, la liqueur cupro-potassique comprend une liqueur A identique à la précédente et une liqueur B obtenue en mélangeant 173 grammes de sel de Seignette et 51 gr. 6 de soude caustique NaOH et en complétant à 500 centimètres cubes.

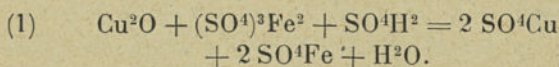
On place dans un matras conique de 125 centimètres cubes, 10 centimètres cubes de liqueur A et 10 centimètres cubes de liqueur B. On fait bouillir et on ajoute aussitôt 20 centimètres cubes de liqueur sucrée renfermant au maximum 0,4 p. 100 de sucre réducteur. On fait bouillir deux minutes, on refroidit rapidement le matras dans l'eau courante et on ajoute 10 centimètres cubes d'acide sulfurique à 50 p. 100 en volume. On refroidit de nouveau et on ajoute 10 centimètres cubes d'une solution fraîche d'iodure de potassium à 10 p. 100. Il se forme de l'iodure cuivreux avec le cuivre non réduit, et il se sépare une quantité d'iode égale à celle qui est contenue dans l'iodure cuivreux :



Il suffit donc de doser l'iode à l'hyposulfite de soude, en présence de quelques gouttes d'empois d'amidon comme indicateur. On emploie une solution d'hyposulfite à 2 p. 100 environ, titrée préalablement par rapport à la solution A de sulfate de cuivre, dont la quantité de cuivre a été rigoureusement déterminée par la méthode électrolytique. Soit P le poids de cuivre contenu dans 10 centimètres cubes de la liqueur A, N le nombre de centimètres cubes d'hyposulfite de soude nécessaires pour ce

10 centimètres cubes de liqueur A, qu'on traite comme ci-dessus par l'iodure de potassium. Chaque centimètre cube d'hyposulfite de soude correspond donc à $\frac{P}{N}$ de cuivre. Après réduction de la liqueur cupropotassique par le sucre, sur 20 centimètres cubes de liqueur renfermant 10 centimètres cubes de liqueur A, nous ne versons plus que n centimètres cubes d'hyposulfite. La quantité de cuivre réduit est donc $(N - n) \frac{P}{N}$. Il suffit alors de se reporter aux tables de Massol et Gallemand (1) pour avoir la quantité de sucre correspondant au poids de cuivre réduit et par conséquent aux 20 centimètres cubes de liqueur sucrée employée, d'où il est facile de remonter au liquide primitif si on a effectué une dilution pour le dosage.

La méthode de Mohr-Bertrand, qui est rapide, exacte et précise, consiste, en principe à recueillir l'oxydule de cuivre précipité et à dissoudre cet oxydule par une solution acide de sulfate ferrique. L'oxydule se dissout à l'état de sulfate de cuivre, tandis qu'une proportion correspondante de sel ferrique passe à l'état de sel ferreux :



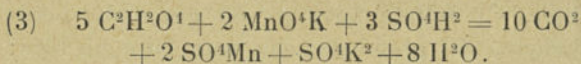
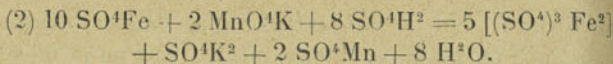
On dose le sel ferreux au permanganate de potassium, et on déduit, d'après l'équation ci-dessus, le cuivre précipité.

Les liqueurs à employer sont les suivantes : A) sulfate de cuivre pur : 40 grammes; eau pour faire

(1) Voir BOULLANGER, *Brasserie Hydromels*, T. II, p. 671 (ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE).

un litre; B) Sel de Seignette, 200 grammes; soude caustique en plaques, 150 grammes; eau pour faire un litre; C) Sulfate ferrique, 50 grammes; acide sulfurique, 200 grammes; eau pour faire un litre; D) Permanganate de potasse, 5 grammes; eau pour faire un litre.

Dans une fiole conique de 125 centimètres cubes, on place 20 centimètres cubes de liqueur cuprique A, 20 centimètres cubes de liqueur alcaline B et 20 centimètres cubes de solution sucrée renfermant au maximum 0,5 p. 100 de sucre réducteur. On fait bouillir trois minutes, on filtre rapidement par le vide sur un tube de Soxhlet garni d'amiante, en évitant d'entraîner sur le filtre le précipité d'oxyde cuivreux. On lave, puis on ajoute de la liqueur ferrique C sur le précipité resté dans la fiole conique. On vide, d'autre part, et on rince le vase de filtration; on fait tomber goutte à goutte dans le tube à amiante quelques centimètres cubes de liqueur ferrique pour dissoudre complètement le précipité entraîné dans ce tube; on lave à l'eau chaude et on réunit le liquide de filtration à celui qu'on a obtenu par dissolution du précipité resté dans la fiole conique. On titre alors ce liquide au permanganate. Soit V le nombre de centimètres cubes de permanganate ainsi versé. La solution de permanganate de potasse est titrée au préalable à l'oxalate d'ammoniaque. On pèse 250 milligrammes de ce sel, qu'on met dans une capsule de porcelaine avec 100 centimètres cubes d'eau et 2 centimètres cubes d'acide sulfurique pur; on chauffe à 60-80 degrés et on verse la solution de permanganate jusqu'à coloration rose (environ 22 centimètres cubes). Or, d'après les réactions ci-dessous :



une molécule d'acide oxalique, ou, ce qui revient au même, une molécule d'oxalate d'ammoniaque cristallisé $\text{C}^2\text{H}^2\text{O}^4 \cdot 2 \text{NH}^3 + \text{H}^2\text{O}$ (poids moléculaire 142,1) équivaut à 2Fe, soit, d'après l'équation (1) à 2 Cu (poids atomique 63,6). En multipliant donc le poids d'oxalate, 0 gr. 250 par $\frac{63,6 \times 2}{142,1}$ ou 0,8951, on a la quantité de cuivre qui correspond au volume de solution de permanganate employé pour amener la coloration rose.

Cette détermination du titre permet de connaître la quantité de cuivre qui correspond à 1 centimètre cube de solution de permanganate. On en tire la quantité de cuivre correspondant au volume V versé dans le dosage du sucre. Connaissant cette quantité de cuivre, les tables dressées par Bertrand (1) donnent immédiatement la quantité de sucre qui correspond aux 20 centimètres cubes de liqueur sucrée qu'on a employés, et par suite, en tenant compte des dilutions effectuées, celle qui correspond à 100 centimètres cubes de liqueur primitive.

La méthode de Weill modifiée par M. Pellet consiste à recueillir l'oxydure de cuivre, à le transformer en oxyde cuivrique par calcination, à le dissoudre par l'acide chlorhydrique et à le titrer par le chlorure stanneux.

On prend 40 centimètres cubes de liqueur de Fehling, 20 centimètres cubes de liqueur sucrée

(1) Voir BOULLANGER, *Brasserie, Hydromels*, T. II, p. 672
(ENCYCLOPÉDIE DE L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE) Université Lille 1

renfermant environ 0 gr. 100 de sucre réducteur et 20 centimètres cubes d'eau. On met au bain-marie bouillant, et on chauffe jusqu'à ce qu'un thermomètre plongé dans la liqueur marque 87-88 degrés. On prolonge le chauffage pendant trois minutes en agitant, on retire le vase, on verse 50 centimètres cubes d'eau froide, on agite et on filtre. On lave à l'eau bouillante, puis on calcine le résidu pour le transformer en oxyde cuivrique. On dissout le précipité par l'acide chlorhydrique pur; il se forme du chlorure cuivrique; on recueille le liquide dans un ballon de 150 à 200 centimètres cubes, on ajoute un grain de chlorate de potasse et on porte à l'ébullition. L'acide chlorhydrique donne avec le chlorate de potasse du chlore qui transforme en chlorure cuivrique le peu de chlorure cuivreux qui pourrait exister. Le chlore étant bien chassé par l'ébullition, on verse peu à peu dans la liqueur, en maintenant l'ébullition, une liqueur titrée de protochlorure d'étain. Le chlorure stanneux ramène la liqueur verte de chlorure cuivrique à l'état de chlorure cuivreux incolore tandis qu'il passe lui-même à l'état de chlorure stannique également incolore. La décoloration effectuée, on lit le volume de chlorure stanneux versé et on en déduit la proportion de sucres réducteurs. Il faut avoir soin de faire simultanément un dosage à blanc avec 40 centimètres cubes de liqueur de Fehling et 40 centimètres cubes d'eau. Le chiffre obtenu dans ce dosage est retranché du premier.

La liqueur de protochlorure d'étain se prépare avec 10 grammes de protochlorure, 50 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et 200 centimètres cubes d'eau. On fait un premier titrage avec 10 centimètres cubes de liqueur de Fehling, 10 centimètres cubes

d'acide chlorhydrique pur et 10 centimètres cubes d'eau, on fait bouillir et on verse le chlorure stanneux dans le ballon jusqu'à décoloration exacte. On étend alors la liqueur de manière à verser 10 centimètres cubes de liqueur d'étain pour 10 centimètres cubes de liqueur de Fehling titrée par rapport au sucre inverti. La liqueur de chlorure stanneux s'altère rapidement; on doit donc déterminer son titre à chaque opération.

Cendres. — On mesure 10 centimètres cubes de jus, on dessèche, on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique et on incinère au moufle. En multipliant le chiffre de cendres obtenues par 0,9, on obtient les cendres, car on admet que l'addition d'acide sulfurique, en donnant naissance à des sulfates, a augmenté le poids des cendres et que 10 de cendres sulfatées représentent 9 de cendres réelles. Ce procédé n'est évidemment pas rigoureux, mais il donne des indications suffisantes pour la pratique.

Dosage du sucre dans la betterave. — Les procédés les plus employés dans ce but sont ceux de digestion aqueuse et d'extraction alcoolique. Les méthodes de digestion aqueuse à chaud et à froid sont les plus pratiques et les plus usitées en France.

Digestion aqueuse à chaud. — On réduit la betterave en râpure au moyen de la râpe à tambour ou de la râpe Pellet et Lomont. On pèse 32 gr. 52 de râpure, en écartant les semelles, bien mélangée dans une main en nickel; on les introduit avec un agitateur et un entonnoir à large col dans le ballon de digestion, qui est jaugé à 200-201 centimètres cubes. On rince l'agitateur, la capsule, l'entonnoir et le col du ballon avec un filet d'eau chaude à 85-90 degrés. On ajoute 7 à 8 centimètres cubes de sous-acétate de

plomb à 28-30 degrés B. On amène le contenu du ballon à 160-170 centimètres cubes avec de l'eau à 90 degrés, on mélange. On place le ballon dans un bain d'eau à 90-95 degrés dont le niveau de l'eau dépasse un peu le trait de jauge du ballon, une fois que celui-ci est plongé dans le bain. Après dix minutes ou un quart d'heure on agite plusieurs fois et assez longtemps le ballon en tournant pour favoriser le départ des bulles d'air et on abat la mousse par quelques gouttes d'éther. On remplit le ballon avec de l'eau presque bouillante jusqu'au trait de jauge et même un peu au-dessus et on le laisse dans le bain pendant 20 minutes ou une demi-heure. On retire le ballon du bain chaud et on le refroidit dans un courant d'eau. On abat de nouveau la mousse avec quelques gouttes d'éther; on complète à 201 centimètres cubes avec de l'eau. On agite plusieurs fois le ballon en le retournant. On filtre; on jette les premières portions de filtrat; on ajoute quelques gouttes d'acide acétique et on polarise. Le chiffre lu représente la richesse pour cent de la betterave en sucre, si la lecture se fait dans le tube de 20 centimètres (Méthode du laboratoire du Syndicat des fabricants de sucre de France.)

Digestion aqueuse instantanée à froid. — La digestion peut être employée à froid, à condition d'opérer sur de la pulpe très fine et très régulière. Cette pulpe peut s'obtenir avec la râpe conique de Pellet, dans laquelle les lames à dents de scie sont remplacées par des dents analogues à celles d'une lime à bois. On peut utiliser également le foret-râpe, ou encore passer la betterave au hache-viande, puis traiter la pulpe ainsi obtenue à la presse Sans-Pareille de MM. Mastain et Delfosse. Cette presse se compose

d'un cylindre dans lequel on introduit la pulpe ou les fragments de cossettes. Le pourtour inférieur de ce cylindre est muni de fines arêtes vives. Un piston, mû par un volant, s'engage dans le cylindre, y comprime la matière qui s'échappe en passant par la fraisure et sort sous forme de pulpe extrêmement fine et analysable à froid.

On prend un ballon gradué à 200 centimètres cubes et 200 cmc. 5, on y introduit successivement 16 gr. 26 de râpure fine, puis 4 à 5 centimètres cubes de sous-acétate de plomb. On agite en tournant pour favoriser l'élimination de l'air; on peut même s'aider, dans ce but, d'un peu d'alcool ou d'éther. On amène peu à peu à 200 cmc. 5 avec de l'eau froide; on laisse reposer quelques instants, on filtre et on polarise.

Cette méthode a l'inconvénient d'exiger une pulpe spéciale très fine; et les résultats obtenus ne sont exacts qu'avec une râpe qui donne constamment une pulpe de cette nature : aussi doit-on contrôler de temps en temps, par une digestion à chaud, si la râpure a toujours la finesse voulue.

On peut également opérer par la méthode de Kaiser-Sachs. Cette méthode est basée sur ce fait que 32 gr. 52 de râpure renferment en moyenne 1 gr. 55 de marc et 28 cmc. 8 de jus. En ajoutant à 32 gr. 52 de pulpe, à l'aide d'une pipette automatique, 171 cmc. 2 d'eau contenant 5 centimètres cubes de sous-acétate de plomb, on obtient donc exactement 200 centimètres cubes de liquide. On filtre et on polarise. On évite ainsi le transvasement de la pulpe et l'affleurement à 200 centimètres cubes.

Extraction alcoolique. — Cette méthode est surtout pratiquée en Allemagne. On place le poids

normal de râpures dans un appareil Soxhlet et on y extrait le sucre par l'alcool. A cet effet, les vapeurs alcooliques provenant d'un ballon vont se condenser dans un réfrigérant, retombent sur la râpures, puis rentrent dans le ballon par un siphon. L'extraction dure deux heures et demie. On refroidit le liquide, on ajoute 3 à 5 centimètres cubes de sous-acétate de plomb. On complète à 100 centimètres cubes avec de l'alcool, on filtre et on polarise. On en déduit le sucre pour 100 grammes de betteraves.

Digestion alcoolique. — On pèse 32 gr. 52 de râpures ordinaires, on les introduit dans un matras jaugé à 200 centimètres cubes, 200 cmc. 5, 201 centimètres cubes. On ajoute 4 à 5 centimètres cubes de sous-acétate de plomb, et 160 centimètres cubes d'alcool à 85 degrés Gay-Lussac. On bouche avec un bouchon de caoutchouc donnant passage à un tube de 50 centimètres de longueur destiné à condenser les vapeurs alcooliques. On place le matras incliné dans un bain-marie, on laisse bouillir 20 minutes. On le sort du bain, on lave le bouchon et le tube à l'alcool, on remplit avec de l'alcool jusqu'au trait de jauge, et on remet au bain-marie à 80 degrés pendant une demi-heure. On refroidit, on complète au trait de jauge, on laisse au repos une demi-heure ou une heure, on filtre et on polarise (Méthode Rapp-Degener).

Analyse des mélasses de betteraves et de cannes.

Les principales déterminations à effectuer sont : l'eau, le saccharose, les sucres réducteurs et les cendres.

Eau. — La meilleure méthode pour la détermination de l'eau est celle de Pellet. La dessiccation de la mélasse est très difficile à réaliser directement d'une façon complète. On la réalise facilement de la manière suivante : Sur le pourtour d'une capsule de nickel portant un évidement sur le côté, on verse environ 40 centimètres cubes de ponce fine fraîchement calcinée. On y place un petit agitateur, on couvre et on fait la tare. On met alors dans l'évidement 3 grammes de mélasse, on ajoute 5 centimètres cubes d'eau bouillante, on agite et, en inclinant la capsule, on fait absorber le liquide par la ponce. On lave l'évidement à deux reprises avec 3 centimètres cubes et 2 centimètres cubes d'eau, qu'on fait également absorber, puis on mélange intimement toute la masse. On dessèche à l'étuve à huile à 102-105 degrés; au bout de quatre heures au maximum, le poids est devenu constant. On en déduit l'humidité de 3 grammes de mélasse.

Saccharose. — On ne peut se contenter, dans le cas des mélasses, d'une simple polarisation, à cause de la présence de matières azotées actives et aussi de sucres réducteurs en quantités sensibles, surtout dans les mélasses de cannes. Les principales méthodes employées pour le dosage du saccharose dans les mélasses sont les suivantes :

a) *Méthode Clerget.* — On pèse 32 gr. 52 de mélasse et on les transvase avec de l'eau chaude dans un ballon jaugé de 200 centimètres cubes. On défèque avec 15 à 20 centimètres cubes de sous-acétate de plomb à 28° B, après avoir neutralisé à l'acide acétique.

On refroidit, on amène à 200 centimètres cubes avec de l'eau, on agite, on filtre et on polarise dans

le tube de 20 centimètres. Soit P le chiffre obtenu pour cette polarisation directe.

Dans un ballon de 50-55 centimètres cubes, on introduit 50 centimètres cubes du liquide déféqué et filtré, on y ajoute 5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur à 22 degrés; on mélange bien en tournant. On place le ballon dans un bain d'eau qu'on chauffe de manière à arriver à 68-70 degrés dans l'intérieur du ballon en 10 à 12 minutes. On extrait le ballon du bain et on abandonne au refroidissement spontané jusqu'à 40 degrés; on achève de refroidir dans un courant d'eau froide et on affleure à 55 centimètres cubes avec de l'eau. On ajoute, si besoin est, un peu de noir lavé à l'acide, puis à l'eau, et séché. On agite, on filtre et on polarise dans le tube de 22 centimètres. Soit P' le chiffre obtenu pour la polarisation après inversion. Le sucre cristallisable S est alors donné par la formule de Clerget :

$$S = \frac{100 (P + P')}{144 - 0,5 t}$$

t étant la température à laquelle s'est effectuée la polarisation après inversion.

b) *Méthode Lindet*. — La polarisation directe se fait comme dans la méthode précédente.

On prend ensuite 40 centimètres cubes de la liqueur déféquée et filtrée, on les place dans une fiole de 100 centimètres cubes environ avec 5 grammes de zinc en poudre, et on suspend cette fiole dans la vapeur d'un bain-marie bouillant. Au bout de quelques instants, on ajoute en quatre ou cinq fois, à quatre ou cinq minutes d'intervalle, 20 centimètres cubes d'une solution à 50 p. 100 d'HCl en volume. Quelques minutes après, on décante, on

filtre et on lave, en recueillant le liquide dans un ballon de 100 centimètres cubes. On affleure à 100 centimètres cubes après refroidissement à 20 degrés et on polarise dans le tube de 20 centimètres. Le résultat obtenu est multiplié par 2,5 pour avoir le chiffre P', correspondant à la polarisation après inversion sur la liqueur normale.

On calcule le sucre cristallisable par la formule qui correspond à ce mode d'inversion. L'emploi du zinc en poudre préserve contre l'attaque des sucres par les acides après l'inversion.

La différence entre la polarisation directe et le Clerget dépend surtout de la teneur des mélasses en acides aspartique et glutamique, qui agissent sur la lumière polarisée. D'après Saillard, le Clerget indique moins de saccharose qu'il y en a réellement dans la mélasse (abstraction faite du sucre inverti éventuellement présent). L'erreur principale vient de ce fait que ces matières azotées actives ont généralement un pouvoir rotatoire droit en milieu acide et diminuent ainsi après inversion la déviation à gauche due au sucre inverti. Pour éviter cet inconvénient, Saillard a proposé une méthode par double polarisation neutre.

On transvase 52 grammes de mélasse dans un ballon de 200 centimètres cubes, on défèque avec 10 à 20 centimètres cubes de sous-acétate, on amène 200 centimètres cubes et on filtre (filtrat R).

On prend 100 centimètres cubes du filtrat R, on élimine l'excédent éventuel de plomb par l'acide sulfureux et l'excédent d'acide par du carbonate de chaux ou de baryte en poudre. On filtre (filtrat K).

On prend 50 centimètres cubes du filtrat K, déféqué, neutre et sans plomb; on complète à 100 cen-

timètres cubes avec une solution contenant, en NaCl, l'équivalent de HCl qui sera employé pour l'inversion. Polariser : soit A la polarisation directe.

On prend 50 centimètres cubes du filtrat K, on ajoute 25 centimètres cubes d'eau et 5 à 6 cmc. 5 d'acide à 22° B. On invertit. On neutralise avec 20 centimètres cubes d'une solution de soude contenant l'équivalent des 5 à 6 cmc. 5 d'acide HCl. On filtre, on polarise. Soit B la polarisation après inversion.

Pour déterminer le coefficient d'inversion, on prend 50 centimètres cubes de solution sucrée pure ayant la même polarisation que la solution normale de mélasse; on ajoute 25 centimètres cubes d'une solution de chlorure de sodium apportant en chlorure l'équivalent de l'acide chlorhydrique employé pour l'inversion. On complète à 100 centimètres cubes, on polarise (A).

On prend alors 50 centimètres cubes de la même solution de sucre pur, on invertit, on refroidit, on neutralise avec de la soude en solution, on refroidit à 20°, on complète à 100 centimètres cubes et on polarise à 20° (B).

On établit alors le coefficient d'inversion C par le calcul appliquant la formule

$$A' = \frac{(A + B) 100}{C - 0,5 t}$$

dans laquelle A' est la polarisation directe ordinaire (sans NaCl), A la polarisation directe ordinaire (avec NaCl) et B la polarisation à gauche après neutralisation.

Sucres réducteurs. — M. Pellet a démontré, par de très nombreux travaux, que le sous-acétate de

plomb précipite en quantités inégales certains sucres réducteurs, notamment le lévulose et le dextrose, et qu'il a en outre une influence considérable sur le pouvoir rotatoire du lévulose. L'acétate neutre de plomb n'a pas ces inconvénients, mais son pouvoir décolorant est trop faible pour les mélasses, de sorte que la méthode par décoloration exposée plus haut est difficilement applicable. Il est donc préférable de faire directement le dosage des sucres réducteurs à la liqueur cupropotassique sans l'addition d'aucun réactif déféquant, en employant soit la méthode de Soxhlet avec pesée du cuivre précipité, soit celles de Lehmann, de Mohr ou de Weill. Ces méthodes ont été décrites précédemment et nous n'y reviendrons pas. Il suffira donc de faire une dilution de mélasse dans l'eau, de manière à obtenir une solution sucrée renfermant, suivant les méthodes, de 0,3 à 0,5 p. 100 de sucre réducteur. Cette dilution se détermine aisément par un dosage approximatif par décoloration. Sur la liqueur étendue, on procédera au dosage exact.

Cendres. — On prend 3 grammes de mélasse, on ajoute 2 à 3 centimètres cubes d'acide sulfurique pur à 66° B., on chauffe légèrement pour carboniser la masse, et on porte au moufle, d'abord lentement au rouge sombre, puis plus fort. On obtient ainsi des cendres sulfatées bien blanches. Le résultat obtenu est multiplié par 0,9 pour avoir les cendres réelles.

Analyse des matières amylacées.

Analyse des grains. — L'analyse chimique des grains comporte les principales déterminations

suivantes : l'eau, les cendres, les matières azotées, l'amidon et les matières grasses.

Eau. — L'eau se dose en desséchant à l'étuve à 100 degrés, jusqu'à poids constant, 5 grammes de substance finement moulue.

Cendres. — On incinère au moufle 5 à 10 grammes de matière. L'augmentation de poids de la capsule tarée donne les cendres.

Matières azotées. — L'azote total se dose par la méthode de Kjeldahl, sur 1 gramme de substance moulue qu'on attaque par 20 centimètres cubes d'acide sulfurique pur, en présence d'une gouttelette de mercure, jusqu'à ce que le liquide soit décoloré. On laisse bouillir encore pendant une heure après la décoloration, puis on laisse refroidir, on ajoute 100 centimètres cubes d'eau environ et à peu près 1 gramme d'hypophosphite de soude qui précipite le mercure à l'état métallique. On sature alors l'acide par un excès de lessive de soude et on distille l'ammoniaque au serpentín ascendant d'Aubin. Le liquide qui distille est recueilli dans 10 centimètres cubes d'acide sulfurique titré décime (4 gr. 9 SO^4H^2 par litre), correspondant à 14 milligrammes d'azote. Un titrage à l'eau de chaux sur 10 centimètres cubes d'acide sulfurique décime donne un volume V d'eau de chaux; le titrage du liquide distillé donne un volume V' , et la formule $\frac{V - V'}{V} \times 0,014$ donne l'azote total contenu dans un gramme de grain.

Amidon. — Ce dosage est difficile et toutes les méthodes proposées comportent des causes d'erreurs plus ou moins grandes. La méthode la plus généralement adoptée consiste à saccharifier l'ami-

don par la diastase, à transformer par l'acide chlorhydrique en glucose les produits de la saccharification et à doser le glucose formé.

On pèse 2 grammes de substance finement moulue, on ajoute 100 centimètres cubes d'eau et on empèse par chauffage au bain-marie à 100 degrés, puis à l'autoclave à 115 degrés, pendant un quart d'heure. On refroidit à 68 degrés et on ajoute 10 centimètres cubes d'une solution contenant environ 0 gr. 2 de diastase absolue. On place au bain-marie réglé à 68 degrés et on y maintient le ballon trente-six à quarante-huit heures, jusqu'à ce que la saccharification soit complète. On filtre, on lave à l'eau bouillante, on amène à 250 centimètres cubes, on prend 200 centimètres cubes de ce liquide, on ajoute 15 centimètres cubes d'acide chlorhydrique de densité 1,125, et on chauffe pendant deux heures au bain-marie à l'ébullition. On refroidit, on neutralise par la soude, on amène à 250 centimètres cubes et on dose le glucose au moyen de la liqueur cupropotassique par une des méthodes de Soxhlet, de Lehmann, de Mohr ou de Weill indiquées plus haut. En tenant compte des dilutions effectuées, il est facile de calculer la quantité de glucose total correspondant à 100 grammes de grain. Ce chiffre, multiplié par 0,9, donne le poids d'amidon.

Cette méthode présente l'inconvénient de ne pas doser les hydrates de carbone rendus fermentescibles par l'action de la haute pression ; en outre, il y a des pentosanes solubilisés, qui ne sont pas fermentescibles, et qu'on compte comme glucose ; enfin pendant l'hydrolyse à l'acide chlorhydrique, on détruit une notable partie du lévulose provenant de l'inversion du saccharose contenu dans le grain.

Le dosage de l'amidon par le polarimètre a surtout été étudié pour l'orge et plusieurs méthodes ont été préconisées dans ce but.

Le procédé de Dubrunfaut, perfectionné par Effront, consiste à broyer la matière amylacée avec de l'acide chlorhydrique concentré, à étendre la solution à un volume donné et à lire la déviation polarimétrique. L'inconvénient de cette méthode est qu'il est très difficile d'avoir des liqueurs limpides.

Lintner conseille le procédé suivant : on broie dans un mortier 5 grammes d'orge finement moulu avec 20 centimètres cubes d'eau, on y ajoute 40 centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré ($d = 1,19$) et on mélange. Au bout de 30 minutes, on transvase dans une fiole jaugée de 200 centimètres cubes, on lave le mortier avec de l'acide chlorhydrique de densité égale à 1,125, on ajoute 10 centimètres cubes d'acide phosphotungstique à 4 p. 100 pour précipiter les matières azotées et clarifier. On affleure à 200 centimètres cubes avec de l'acide chlorhydrique étendu, on agite, on filtre et on polarise. La teneur centésimale de l'orge en amidon est donnée par la formule

$$A = 40 \times \frac{100 \alpha}{l [\alpha]_D}$$

dans laquelle α est la rotation lue en degrés et fractions, l , la longueur du tube en décimètres et $[\alpha]_D = 200^\circ 3$.

Wenglein a substitué l'acide sulfurique à l'acide chlorhydrique pour éviter les vapeurs acides et avoir une stabilité plus grande de la solution obtenue sous le rapport du pouvoir rotatoire. On broie 2 gr. 5 de farine d'orge avec 10 centimètres

cubes d'eau, on ajoute 20 centimètres cubes d'acide sulfurique de densité égale à 1,70. Après quinze minutes on amène à 100 centimètres cubes avec de l'acide sulfurique de densité égale à 1,30, après avoir ajouté 5 centimètres cubes d'acide phosphotungstique à 4 p. 100. On filtre, et on polarise. Le pouvoir rotatoire $[\alpha]_D$ de l'amidon d'orge traité par l'acide sulfurique étant différent de celui de l'amidon traité par l'acide chlorhydrique, on emploie pour $[\alpha]_D$ le chiffre 191,7 déterminé par l'expérience.

Dans la méthode d'Ewers, l'hydrolyse se fait à chaud. Cinq grammes de substance sont bien agités dans une fiole de 100 centimètres cubes avec 25 centimètres cubes d'acide chlorhydrique dilué à 11,25 p. 100. On ajoute encore 25 centimètres cubes de cet acide, puis on place la fiole 15 minutes au bain-marie bouillant, en agitant de temps à autre. On ajoute alors 40 centimètres cubes d'eau, on refroidit à 20 degrés, et on verse 0 cmc. 5 à 3 centimètres cubes d'une solution de molybdate de soude (120 grammes de MoO_3 par litre). On amène à 100 centimètres cubes, on filtre et on polarise. Pour $[\alpha]_D$, on prend le chiffre 183°4.

Schwarz prend 2 gr. 5 de farine fine d'orge, les place dans une fiole jaugée de 100 centimètres cubes, agite avec 5 centimètres cubes d'alcool à 96 degrés, puis ajoute en agitant 50 centimètres cubes d'acide sulfurique de densité égale à 1,40. On laisse une heure à 18-22 degrés; on ajoute 10 centimètres cubes d'une solution à 2 p. 100 d'acide phosphotungstique, on amène à 100 centimètres cubes avec de l'acide sulfurique de densité égale à 1,30. On filtre; la polarisation du liquide donne une rotation α . La valeur de $[\alpha]_D$ étant de 198 dans les conditions de la méthode,

on a, pour l'amidon A contenu dans 100 grammes de grain :

$$A = 40 \times \frac{100 \alpha}{2 \times 198} = 10,1 \alpha.$$

Mannich et Kathe Lenz ont préconisé l'emploi du chlorure de calcium comme solvant de l'amidon. On emploie une solution concentrée de chlorure de calcium, obtenue en dissolvant deux parties de chlorure de calcium cristallisé dans une partie d'eau. La matière à analyser, réduite en poudre très fine, est introduite dans la solution à raison de 4 grammes pour 100 centimètres cubes. On fait bouillir 15 minutes, on refroidit immédiatement, on filtre et on passe au polarimètre. Le pouvoir rotatoire de l'amidon, dans ces conditions, est de 200 degrés. Pour éliminer l'influence des matières protéiques, on soumet à l'extraction à froid, pendant 20 minutes, la matière à analyser par la solution de chlorure de calcium, on filtre et on passe au polarimètre. La rotation trouvée est retranchée de la rotation qu'on a obtenue avec l'extrait fait à l'ébullition.

Le chiffre qui intéresse le distillateur est évidemment celui qui représente les matières fermentescibles, et l'analyse chimique est impuissante à discerner les composés fermentescibles de ceux qui ne le sont pas. Aussi MM. Boidin et de Lavallée ont-ils adopté une méthode de dosage de l'amidon par fermentation, qui est certainement la meilleure méthode dont nous disposons à l'heure actuelle pour le contrôle en distillerie. Cette méthode est basée sur l'emploi du mucor β , mucédinée saccharifiante dont nous étudierons plus loin les propriétés et l'application industrielle connue sous le nom de procédé Amylo. Le grain est IRIS LILLIAD Université Lille 30 grammes de

mouture à 0 gr. 01 près, on les place dans un ballon d'un demi-litre et on y ajoute 20 centimètres cubes d'une solution d'acide tartrique à 8,4 p. 100 et 100 centimètres cubes d'eau distillée; on met la farine en suspension et on ferme le ballon à l'aide d'un bouchon traversé par un tube de verre de petit diamètre. On plonge le ballon dans un bain-marie bouillant, et, en tenant le tube de verre entre les doigts, on imprime au ballon un mouvement giratoire assez rapide de façon à étaler par la force centrifuge l'empois en une mince couche recouvrant les parois : on obtient ainsi un empois très homogène. L'empesage terminé, on bouche le ballon avec de l'ouate, on recouvre le col d'une capsule d'étain et on porte à l'autoclave pendant quarante minutes à 120 degrés.

On stérilise en même temps des tubes à essai contenant chacun 1 gr. 25 de carbonate de chaux précipité pur, qui serviront à saturer l'acide tartrique du moût après la liquéfaction à l'autoclave. Quand le ballon est refroidi, on ajoute le carbonate de chaux et on ensemence des spores du mucor β cultivé à l'état pur.

Au-dessus du tampon d'ouate, on enfonce un bouchon contenant un tube absorbeur à acide sulfurique, et on pèse le ballon sur une balance donnant le décigramme. On porte le ballon à l'étuve à 30 degrés. Après vingt-quatre à trente-six heures, on ensemence avec une goutte de culture de levure pure. Quarante-huit heures après l'addition de levure pure, on pèse et quand le ballon ne change plus de poids pendant quarante-huit heures, on procède au dosage. On transvase le vin fermenté dans un ballon jaugé de 500 centimètres cubes, on complète à ce volume avec de l'eau. L'alcool est dosé

sur 10 centimètres cubes de cette solution d'après la méthode de Nicloux modifiée par Martin (par le bichromate de potasse en présence d'acide sulfurique).

Au lieu d'ensemencer des spores de mucédinée, il est préférable d'ensemencer un mycélium poussé sur du moût ou des vinasses de grains. Il faut alors faire subir à ce mycélium trois lavages à l'eau stérile pour lui enlever toute trace d'alcool et de matières fermentescibles. Cette opération se fait à l'aide de ballons à tubulure inclinée par laquelle on fait passer l'eau d'un ballon dans un autre sans risque de contamination. Le mycélium lavé est transvasé dans le ballon contenant l'amidon à l'aide d'un gros fil de fer recourbé et flambé.

Pour vérifier si la fermentation a été complète, on fait les essais suivants : 1° le Balling, qui doit varier de — 0,75 à — 1 pour le riz et de — 0,25 à — 0,4 pour le maïs. Pour obtenir ce chiffre, on ramène par le calcul de 500 centimètres cubes à 150 centimètres cubes; 2° 50 centimètres cubes de liquide filtré sont additionnés de 50 centimètres cubes de liqueur cupropotassique et portés à l'ébullition pendant deux minutes. La filtration ne doit pas donner trace d'oxydure de cuivre; 3° une petite quantité de sons restée sur le filtre est traitée par l'iode et examinée au microscope. On ne doit trouver ni bactéries, ni amidon coloré en bleu; 4° une pincée des sons est additionnée de 10 centimètres cubes de soude caustique à 10 p. 100. On attend une demi-heure, puis on acidifie légèrement et on ajoute de l'iode. S'il y a de l'amidon rétrogradé en quantité négligeable, on obtient ainsi une teinte bleue qui vire au jaune par addition de trois à quatre gouttes d'iode.

Si la cuisson avait été insuffisante, la quantité d'iode pour obtenir la teinte jaune serait plus grande.

Si ces quatre conditions sont remplies, on peut considérer que la fermentation a été complète. Néanmoins, pour plus de certitude, on dose la dextrine et les pentosanes dans le liquide. Pour cela, on évapore au cinquième 250 centimètres cubes du liquide filtré, on traite par l'acide chlorhydrique à 16° B, et on dose le sucre à la liqueur cupropotasique. Avec le riz, on obtient pour la somme des dextrines et pentosanes 0 gr. 20 pour 100 grammes de riz, ce qui est insignifiant.

Le résultat est exprimé en alcool pour 100 de matière première, puisque c'est ce chiffre que l'industriel cherche à connaître par le dosage de l'amidon. Cette méthode présente les avantages suivants : 1° elle donne des résultats presque constants. Avec la fécule pure, elle donne un rendement de 67 litres d'alcool pour 100 de fécule anhydre; 2° on opère en milieu stérile, ce qui met totalement à l'abri des pertes dues aux bactéries; 3° le mucor β saccharifie complètement l'amidon, et par addition de levure, on obtient des moûts fermentés à fond, ne contenant plus trace d'amidon ou de sucres fermentescibles; 4° on ne compte pas comme sucres fermentescibles les pentoses comme dans les autres méthodes.

Le mode opératoire indiqué a été choisi pour éviter la dissolution trop forte des pentosanes. En augmentant la durée ou la dose d'acide, le rendement diminue et des sucres réducteurs non fermentescibles apparaissent.

Matières grasses. — On pèse 5 grammes de matière moulue, on les place dans l'allonge d'un

appareil à épuisement de Soxhlet ou de Schlœsing et on épuise la masse par l'éther pendant quelques heures. On recueille l'éther, on le distille, on transvase dans une capsule de porcelaine tarée quand le volume est assez réduit, on évapore à sec et on pèse.

Analyse de la pomme de terre. — La matière la plus importante à connaître est la fécule.

Il existe entre la densité de la pomme de terre et sa teneur en fécule un rapport qui permet de doser rapidement, d'une façon approximative, la fécule. Pour évaluer la densité, on peut se servir de la méthode de Krocker, de celle d'Aimé Girard ou de celle de Reimann.

La méthode de Krocker consiste à placer dans l'eau un certain nombre de pommes de terre et à ajouter ensuite peu à peu, en agitant, une solution saturée de sel marin.

Quand le liquide possède la même densité que les pommes de terre, celles-ci se soulèvent et se trouvent en équilibre indifférent. On prend alors la densité du liquide au densimètre.

La méthode A. Girard consiste à peser un poids déterminé P de pommes de terre, puis à mesurer le volume V de l'eau qu'elles déplacent. En divisant le poids par le volume on obtient la densité. Le féculo-mètre de A. Girard et Fleurent consiste en un grand vase cylindrique muni latéralement d'un tube de niveau et d'un robinet qui permet de faire écouler l'eau dans un ballon jaugé spécial dont le col porte une graduation de 875 à 935 centimètres cubes, par centimètre cube. On place dans l'appareil rempli d'eau un panier métallique mobile, puis on laisse écouler l'eau jusqu'à un trait d'affleurement marqué sur le tube de niveau. On pèse 1 kilogramme de

pommes de terre sur une balance ordinaire et on les place délicatement dans le panier immergé. On dispose le ballon jaugé sous le robinet, et on fait écouler l'eau déplacée par le kilogramme de tubercules jusqu'à ce que le liquide revienne au trait d'affleurement dans le tube de niveau. On lit sur le col du ballon jaugé le volume d'eau déplacée. On pourrait dès lors calculer facilement la densité et en déduire la richesse en fécule, mais A. Girard a dressé des tables qui donnent directement la quantité de fécule pour 100 correspondant à la quantité d'eau écoulee dans le ballon.

La méthode de Reimann comporte l'emploi d'une balance spéciale ressemblant à une balance romaine. On suspend au crochet de cette balance, l'un au-dessus de l'autre, deux paniers identiques en fil de fer. On verse dans un seau de l'eau distillée ou de l'eau de pluie, on y immerge entièrement le panier inférieur et on établit l'équilibre de la balance à l'aide de la tige mobile qui est placée à la partie supérieure du fléau. On place alors, dans le panier supérieur, des pommes de terre bien sèches et bien brossées, après avoir disposé le curseur de la balance à 5 kilogrammes. On rétablit l'équilibre et on pèse ainsi exactement 5 kilogrammes de tubercules. On transvase les pommes de terre dans le panier inférieur immergé, l'équilibre est rompu, et on le rétablit à l'aide de poids marqués. D'après le principe d'Archimède, ces poids représentent le poids des pommes de terre diminué de la poussée de l'eau qui est égale au poids de l'eau déplacée. On en déduit le poids de l'eau déplacée, et en divisant le poids des tubercules dans l'air par le poids de l'eau déplacée, on obtient la densité. Il existe d'ailleurs

des tables qui donnent directement la richesse en fécule correspondant aux poids marqués ajoutés pour rétablir l'équilibre.

D'une façon générale, quand on détermine par une méthode quelconque la densité des pommes de terre, on trouve immédiatement leur teneur en fécule et en substance sèche en se reportant aux tables de Behrend, Maercker et Morgen, qui se trouvent dans tous les traités d'analyse.

Ces méthodes ne donnent que des résultats approchés, suffisants pour la pratique courante. Quand on veut déterminer avec précision la quantité de fécule, on doit employer une des méthodes de dosage d'amidon dans les grains.

IV. — PRÉPARATION DES MOUTS

I. — PRÉPARATION DES MOUTS DE BETTERAVES

Nous diviserons en deux phases les opérations que doivent subir les betteraves destinées à la fabrication de l'alcool.

1° Les travaux préparatoires qui comprennent le transport et la conservation, l'alimentation de l'usine en betteraves, le lavage et l'épierrage;

2° L'extraction du jus.

1. — TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Transport et conservation. — Les betteraves sont amenées à l'usine, soit par chariots à traction animale, soit par chemin de fer, soit par tout autre moyen économique dans les conditions où se trouve la distillerie.

Après déchargement, les betteraves doivent être conservées jusqu'au moment de leur utilisation. Cette conservation se fait soit en tas ouverts établis sur les canivaux hydrauliques, soit en silos. Pendant la conservation, il se produit des pertes en sucre inévitables. Ces pertes proviennent surtout de la respiration de la plante, et aussi d'altérations parasitaires causées par des microbes et des champignons.

Il faut évidemment chercher à réduire ces pertes au minimum, ce qui n'est pas toujours facile, car les conditions climatiques et la nature même de la betterave jouent ici le rôle prépondérant. Quand les betteraves sont ensilées bien propres, peu humides

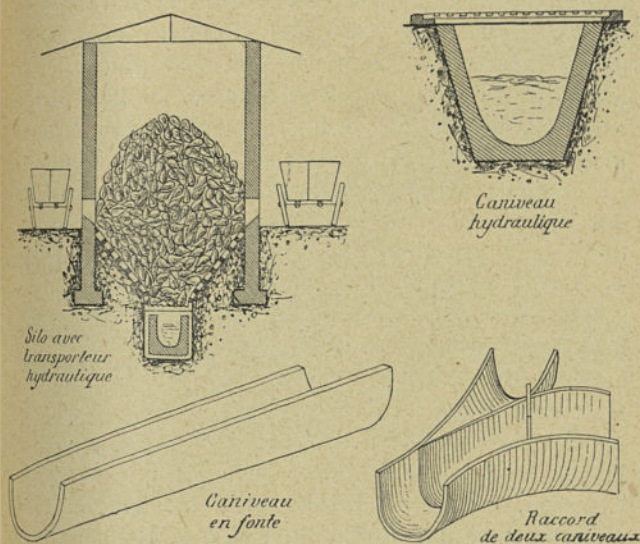


Fig. 6. — Silo de betteraves et transporteur hydraulique (d'après M. Saillard).

et saines, quand les silos sont suffisamment aérés et quand la température est basse, les pertes par altérations parasitaires restent faibles. Pour atténuer les pertes par respiration, il faut évidemment placer les racines dans les conditions qui réduisent au minimum l'activité des phénomènes vitaux, ce qui exige une température basse et une aération modérée.

En pratique, on établit souvent les silos sur les transporteurs hydrauliques (fig. 6) ce qui facilite l'aé-

ration. On peut également employer la disposition Champonnois, recommandée par M. Vivien, qui consiste à couvrir le silo de paille et de terre battue et à établir dans l'axe une fosse qu'on remplit de rondins qui livrent passage à l'air. Pour faciliter la distribution de l'air, on dispose des tranchées transversales également garnies de rondins, mais sans dégagement à l'extérieur. On peut aussi placer dans les tas de betteraves des cheminées en bois pour assurer la ventilation, ou bien procéder au retournement du silo pour aérer les racines et les refroidir. Le meilleur mode de conservation serait l'emploi des hangars refroidis artificiellement, mais le prix de revient trop élevé des installations frigorifiques s'est opposé jusqu'ici à l'extension de cette méthode.

D'après Claassen, la perte en sucre, pour une durée de conservation de fin octobre à décembre, est de 0,010 à 0,012 p. 100 et par jour dans les grands tas non couverts, et de 0,019 p. 100 dans les grands tas recouverts de terre. Il se produit aussi, pendant la conservation, une perte de poids qui, d'après Claassen, est peu sensible dans les grands tas ouverts, mais qui atteint environ 5 p. 100 dans les grands tas recouverts de terre.

Alimentation de l'usine en betteraves. —

Les betteraves sont amenées des silos aux appareils de lavage parfois par des wagonnets et le plus souvent par les transporteurs hydrauliques. Ces derniers dispositifs (fig. 6) consistent en canivaux à fond incurvé, munis d'une légère pente et parcourus par un courant d'eau. Leurs dimensions ordinaires sont de 40 centimètres de profondeur sur 35 centimètres de largeur; leur pente est en moyenne de 10 à 13 millimètres par mètre. On les construit, soit en béton,

soit en fonte, soit, ce qui est plus économique, en chaux et mâchefer. Les transporteurs sont le plus souvent placés au fond des silos; un plancher mobile à claire-voie les ferme à la partie supérieure et maintient au-dessus les betteraves. Le fonctionnement est très

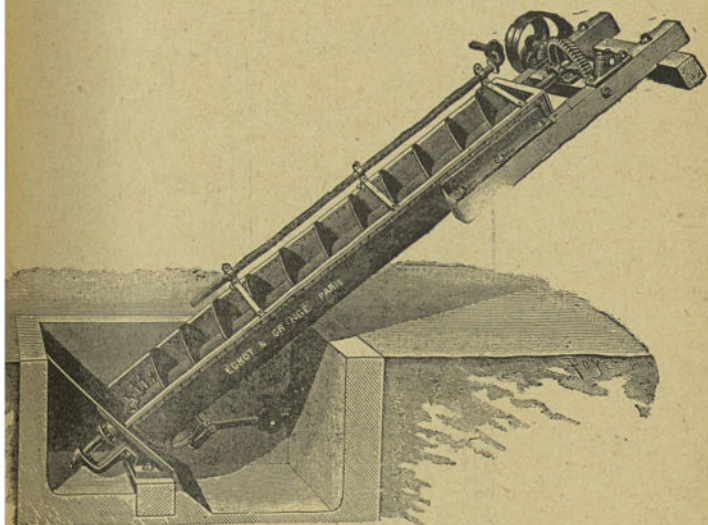


Fig.7. — Élévateur à vis pour betteraves (Egrot et Grangé, constructeurs à Paris).

simple : il suffit d'y faire tomber les racines qui sont entraînées par le courant d'eau jusqu'aux appareils d'élévation et de lavage. Les eaux, séparées des betteraves par une tôle perforée, sont alors reprises par une pompe qui les envoie dans un bassin de décantation situé au point le plus élevé. Elles y abandonnent les particules terreuses entraînées et reviennent en tête des caniveaux pour servir de nouveau.

Ce dispositif réalise une économie considérable

de main-d'œuvre et effectue un premier lavage qui enlève la majeure partie de la terre adhérente aux racines. Les pertes en sucre qui se produisent pendant le transport hydraulique sont faibles; elles

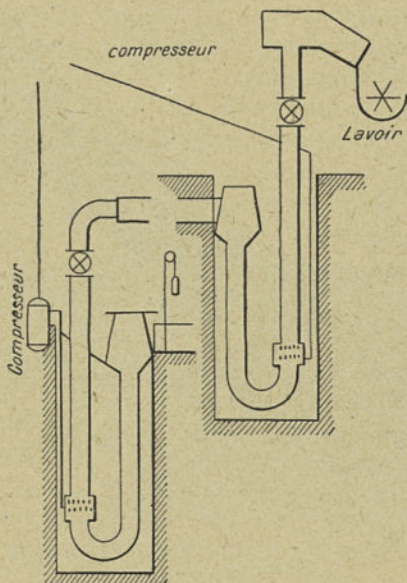


Fig. 8. — Installation de deux pompes pour élever des betteraves (d'après Saillard).

ne dépassent pas, d'après M. Saillard, 0,17 pour 100 kilogrammes de betteraves.

Les betteraves ainsi amenées à l'usine sont alors élevées jusqu'aux laveurs, soit par une roue élévatrice, soit par un élévateur à palettes, soit par une vis d'Archimède. On emploie souvent ce dernier appareil (fig. 7) constitué par une hélice qui tourne lentement dans une auge héli-cylindrique inclinée.

L'hélice se continue vers le bas par des bras épier-reurs qui soulèvent les betteraves et séparent les pierres. Les racines arrivent dans une auge placée au bas de l'appareil; elles sont entraînées par le mouvement de rotation de la vis, et remontent ainsi jusqu'à la partie supérieure où elles sont déversées dans le laveur.

L'élévation des betteraves peut se faire également au moyen de la pompe Mammouth-Béduvé. Cette pompe se compose en principe d'un tuyau en U à deux branches inégales. La branche la plus longue reçoit à sa base une injection d'air comprimé qui entraîne l'eau et les betteraves à la partie supérieure de cette branche.

Cet appareil n'est pratique que pour les usines importantes, à cause de son débit considérable, le diamètre du tube ne pouvant descendre au-dessous de 30 à 35 centimètres.

La figure 8 représente une installation de deux pompes Mammouth-Béduvé pour élever les betteraves à 15 mètres de hauteur.

Lavage et épierrage. — Le lavage des betteraves présente une très grande importance. Les procédés de macération et de diffusion, qui sont aujourd'hui les plus employés pour l'extraction du jus, exigent en effet le découpage des betteraves en cossettes au moyen de coupe-racines. Le fonctionnement de ces appareils découpeurs n'est régulier et économique que si la betterave est parfaitement nettoyée, afin d'éviter l'encrassement et la rupture des couteaux sous l'action de la terre ou des pierres. La terre amène en outre un grand nombre de microbes nuisibles. Enfin, quand elle est calcaire, elle neutralise une partie de l'acide sulfurique qu'on ajoute

dans les jus de betteraves, ce qui peut occasionner, par la suite, des accidents dans la fermentation alcoolique.

Le lavage a pour but d'éviter ces inconvénients en enlevant la terre adhérente à la betterave et en la débarrassant des pierres. Les laveurs (fig. 9) se composent ordinairement d'un arbre qui tourne

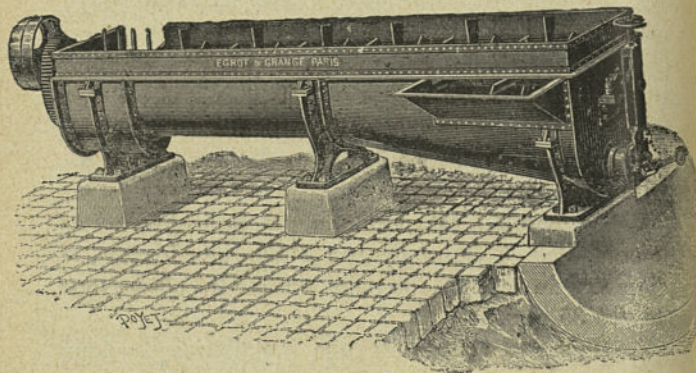


Fig. 9. — Laveur à betteraves (Egrot et Grangé, constructeurs à Paris).

dans une auge demi-cylindrique en tôle perforée. Cet arbre porte des bras en hélice. Les betteraves arrivent à une extrémité et sont poussées vers l'extrémité opposée. L'eau circule en sens contraire; son niveau est maintenu constant par un tube d'évacuation. Les racines sont ainsi énergiquement frottées les unes contre les autres dans le courant d'eau. Les particules terreuses qui se détachent passent à travers la tôle perforée et peuvent être évacuées par une porte de vidange.

L'épierreage des betteraves est complété soit par un épierreur à peignes, soit par un épierreur Loze.

L'épierreur à peignes est constitué par un arbre portant des bras formant peignes qui soulèvent les betteraves et laissent passer les pierres entre les dents. L'épierreur Loze (fig. 10) effectue l'épierreage au moyen d'un courant d'eau. Il se compose d'une auge munie à la partie inférieure d'un arbre horizontal

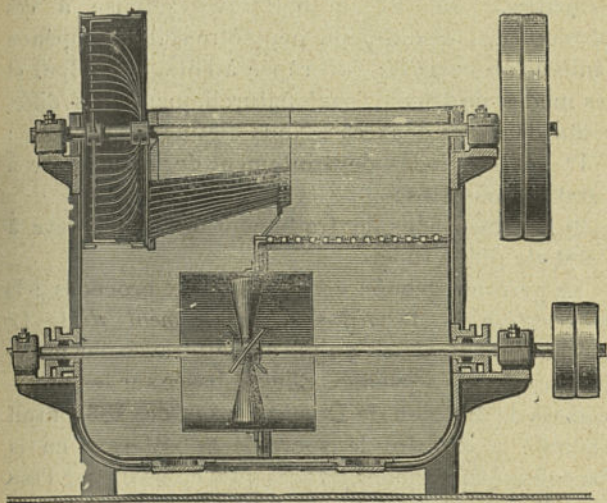


Fig. 10. — Épierreur Loze.

portant en son milieu des ailettes. La rotation de cet arbre détermine un courant d'eau de gauche à droite. Les betteraves qui arrivent à la partie supérieure de l'appareil sont soulevées par le courant d'eau et rejetées au dehors par un tambour. Les pierres, plus denses, tombent au fond. Cet appareil est excellent et épierre parfaitement les betteraves.

La figure 11 représente un laveur de betteraves à compartiment épierreur, construit par la maison Pingris, de Lille.

EXTRACTION DU JUS DE BETTERAVES

Toutes les méthodes employées pour l'extraction du jus de betteraves reposent en somme sur les phénomènes de diffusion dont nous allons donner les principes. Toutefois, la betterave soumise à ces phénomènes de diffusion peut être soit découpée en lanières ou *cossettes*, soit râpée à l'état de pulpe, et les modes de travail sont naturellement très différents dans ces deux cas. Nous distinguerons donc :

1° Les méthodes de traitement de la betterave à l'état de cossettes ;

2° Les méthodes de traitement de la betterave à l'état de pulpe râpée.

Le premier groupe comprend deux procédés : la *macération* et la *diffusion proprement dite*. La méthode d'extraction du jus de betteraves par macération est très ancienne. Elle est basée sur les observations de Mathieu de Dombasle qui, dès 1831, avait cherché à extraire le sucre de la betterave en la découpant en tranches minces qu'il épuisait par l'eau chaude. D'autre part, en 1824, Dubrunfaut avait signalé l'influence favorable de l'acide sulfurique sur la fermentation du jus de betteraves. Cependant ces deux découvertes ne furent appliquées dans la pratique que plus tard, vers 1852, par Dubrunfaut et par Champonnois. En 1853, Champonnois eut l'idée de substituer à l'eau pure, pour l'épuisement des betteraves, la vinasse provenant de la distillation des jus fermentés, et à partir de cette époque, le procédé d'extraction du jus par macération prit un grand développement dans les distilleries agricoles. La méthode d'extraction du jus par diffusion, qui

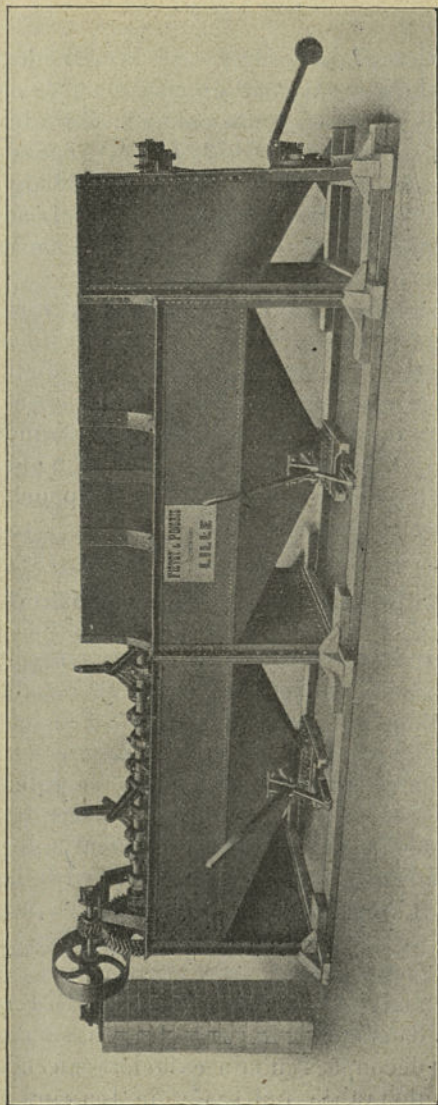


Fig. 11. — Laveur de betteraves à compartiment épierreur (Pingris, constructeur à Lille).

repose sur les mêmes principes que la méthode précédente, n'est qu'une macération perfectionnée en vase clos et sous pression. Cette méthode, introduite en France en sucrerie vers 1878, ne s'est répandue en distillerie que beaucoup plus tard, vers 1890, après de nombreux essais. Elle est aujourd'hui adoptée par la plupart des grandes distilleries, à cause des multiples avantages qu'elle présente.

Le deuxième groupe comprend les méthodes basées sur le traitement de la betterave à l'état de pulpe râpée. Parmi ces méthodes, nous distinguerons d'abord le procédé par râpage, malaxage et pressurages aux presses continues, qui est une méthode d'extraction basée à la fois sur la diffusion et sur la pression, et ensuite le procédé Collette pour la diffusion continue de pulpe râpée.

Principes théoriques de la diffusion.

Phénomènes osmotiques. — On sait que quand on place deux solutions salines ou sucrées de concentration différente de part et d'autre d'une membrane de parchemin, il y a diffusion à travers la membrane; une partie des matières salines ou du sucre passe de la solution la plus concentrée à la solution la plus pauvre, et inversement une partie de l'eau de la solution pauvre vient diluer le liquide concentré. L'équilibre est atteint quand la concentration saline ou sucrée est devenue identique de chaque côté de la membrane.

Des phénomènes analogues se produisent quand on plonge dans une solution saline ou sucrée des betteraves découpées en minces lanières ou *cossettes*, ou de la pulpe râpée qui renferme toujours beau-

coup de cellules non déchirées. Toutefois, il est nécessaire, pour que ces phénomènes se manifestent, que les cellules végétales de la betterave soient tuées par un chauffage à 70-80 degrés. Avec les cellules vivantes, les phénomènes osmotiques se réduisent à de simples échanges d'eau : les cellules se gonflent d'eau si la solution qui les entoure est moins concentrée que le jus qu'elles renferment ; elles se rétractent et laissent échapper de l'eau si cette solution est plus concentrée. Pour les cellules des cossettes de betteraves, dans les conditions du travail pratique industriel, il y a encore des incertitudes au sujet de l'application de ces principes, car il est certain qu'on peut faire de la diffusion même à la température ordinaire, sans chauffage préalable.

Quoi qu'il en soit, les diverses substances qui composent le jus diffusent à travers les membranes cellulaires dans le liquide qui les entoure, si la concentration de ce liquide vis-à-vis de ces diverses substances est plus faible que dans le jus. Les quantités de substances diffusées sont variables d'une substance à l'autre : la diffusion est rapide avec les matières salines, moins rapide, mais encore active avec les matières organiques cristallisables telles que le sucre, lente avec les matières organiques incristallisables telles que les matières pectiques et les matières albuminoïdes. Avec une même substance, les quantités diffusées augmentent avec la température et avec la différence de concentration de part et d'autre de la membrane.

Il résulte de ce qui précède que si on fait arriver un liquide diffuseur chaud constitué par de l'eau, du jus faible ou de la vinasse sur des cossettes fraîches ou sur de la pulpe de betteraves, les phénomènes de

diffusion se produisent et on obtient un jus d'abord très riche, dont la densité va en diminuant de plus en plus au fur et à mesure que la matière s'épuise. Cette méthode exige évidemment des quantités d'eau très considérables pour conduire à un épuisement suffisant, et fournit des jus très dilués. Pour éviter cet inconvénient, on a souvent recours à la diffusion méthodique qui consiste en principe à faire arriver le liquide diffuseur sur la cuve la plus anciennement chargée, qui contient des cossettes ou des pulpes presque épuisées, et à faire circuler le liquide diffuseur dans les cuves suivantes contenant des cossettes ou des pulpes de plus en plus riches. Le jus devient ainsi de plus en plus concentré et passe finalement sur la cuve la plus récemment chargée de cossettes ou de pulpes fraîches : le jus soutiré sur cette cuve constitue le jus fort qu'on envoie à la fermentation. Nous verrons plus loin comment on réalise ce mode de travail dans la pratique.

Emploi de la vinasse. — L'emploi de la vinasse chaude au lieu d'eau comme liquide diffuseur a été préconisé par Champonnois dès 1853. Cette méthode présente plusieurs avantages. Elle économise d'abord les frais de chauffage de l'eau et permet de récupérer le sucre non fermenté qui reste dans les vinasses. Celles-ci constituent en outre une véritable décoction de levure qui apporte des matières azotées très favorables au développement du ferment alcoolique et qui facilite beaucoup la fermentation des jus. Enfin les vinasses renferment encore la majeure partie des éléments non fermentescibles contenus dans les moûts. En épuisant les cossettes par un liquide à peu près exempt de sucre, mais déjà chargé de matières minérales et azotées, la diffusion du sucre se fait aisément.

ment, tandis que celle des matières étrangères est très réduite à cause de l'abondance de ces matières dans le liquide diffuseur. Les pulpes épuisées par macération à la vinasse ont donc une valeur nutritive plus considérable que les pulpes épuisées par macération à l'eau. Toutefois, au bout d'un certain nombre de macérations, les vinasses finissent par contenir trop de matières étrangères et les fermentations deviennent irrégulières. Aussi est-il nécessaire de les mélanger de temps en temps avec une certaine quantité d'eau chaude.

Emploi de l'acide sulfurique. — Dubrunfaut avait reconnu dès 1824 les avantages de l'emploi de l'acide sulfurique dans la fermentation des jus de betteraves. L'acide sulfurique déplace en effet les acides organiques du jus de betteraves de leurs combinaisons, les met en liberté, ce qui rend le milieu plus favorable au bon développement de la levure. Il gêne la multiplication des ferments de maladie, qui redoutent en général l'acidité et permet d'obtenir ainsi des fermentations plus pures et un plus haut rendement en alcool. Enfin, il facilite la diffusion du sucre et l'épuisement de la betterave par le liquide diffuseur.

A. — Méthodes de traitement des betteraves à l'état de cossettes.

Ces méthodes comprennent, comme nous l'avons vu, les procédés par macération et par diffusion.

Matériel de macération et de diffusion.

— Le matériel employé pour l'extraction du jus de betteraves par macération ou par diffusion comprend d'abord les appareils de découpage de la betterave

ou *coupe-racines*, puis les appareils de macération et de diffusion et enfin les appareils de pressurage des cossettes épuisées.

Coupe-racines. — Les coupe-racines employés en distillerie de betteraves sont de plusieurs types, parmi lesquels on peut distinguer : les coupe-racines centrifuges, employés surtout en macération, les coupe-racines à plateau horizontal et à tambour tournant employés en macération et en diffusion.

Les principaux coupe-racines centrifuges sont ceux de Champonnois et de Stephen David. Le coupe-racines Champonnois, qu'on rencontre encore dans un grand nombre de distilleries agricoles, se compose d'une boîte légèrement conique munie de six ouvertures dans lesquelles viennent se placer les couteaux. Dans l'intérieur se trouve un pousseur animé d'un mouvement de rotation rapide, qui entraîne les betteraves et les applique contre la boîte. Les betteraves sont ainsi découpées en lanières contre les couteaux.

Ce système a été perfectionnée par M. Barbet qui y a adapté des porte-couteaux démontables.

Dans le coupe-racines Stephen David, l'axe moteur et le tambour sont verticaux au lieu d'être horizontaux comme dans le coupe-racines Champonnois. Le tambour est percé de fenêtres dans lesquelles on place des porte-couteaux munis de lames tranchantes. Les betteraves sont introduites dans le tambour par une ouverture ménagée à la partie supérieure de l'appareil. Des pousseurs, animés d'un mouvement de rotation rapide, entraînent les betteraves qui se découpent contre les lames. Les cossettes s'échappent au dehors.

Les coupe-racines centrifuges ont l'inconvénient

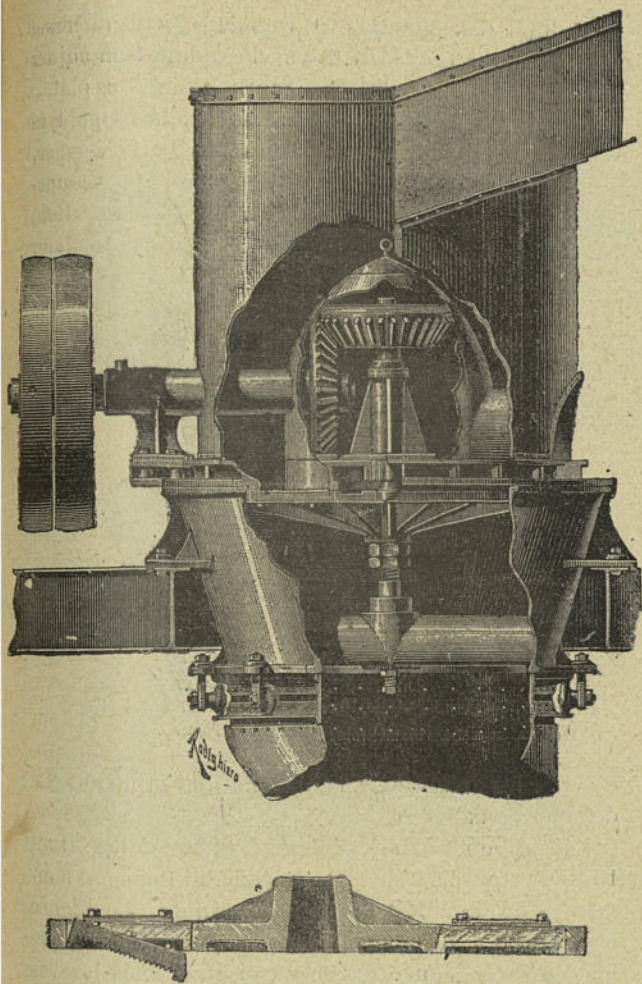


Fig. 12. — Coupe-racines à plateau horizontal (Maguin, constructeur à Aubervilliers).

de donner des cossettes trop courtes, irrégulières et de se bourrer facilement. Aussi emploie-t-on aujourd'hui de plus en plus les coupe-racines à plateau horizontal. Mais ces derniers appareils exigent un lavage et un épierrage parfait de la betterave, afin

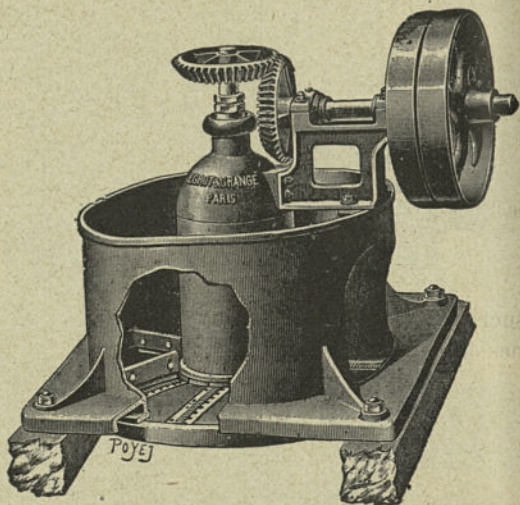


Fig. 13. — Coupe-racines fixe à plateau horizontal (Egrot et Grangé, constructeurs à Paris).

d'éviter les arrêts dus aux obstructions et aux avaries des couteaux.

Le coupe-racines à plateau horizontal (fig. 12 et 13) se compose d'un disque horizontal tournant à une vitesse de 60 à 120 tours à la minute. Ce plateau porte de 8 à 16 fenêtres dans lesquelles sont placés les porte-couteaux. Sur ceux-ci sont fixés les couteaux, qui dépassent légèrement le plan du plateau. Le disque est surmonté d'une trémie dans laquelle arrivent les betteraves. Celles-ci se trouvent mainte-

nues par leur propre poids au contact du plateau et se trouvent ainsi découpées en cossettes qui s'échappent à la partie inférieure de l'appareil.

On rencontre aussi quelquefois, notamment dans

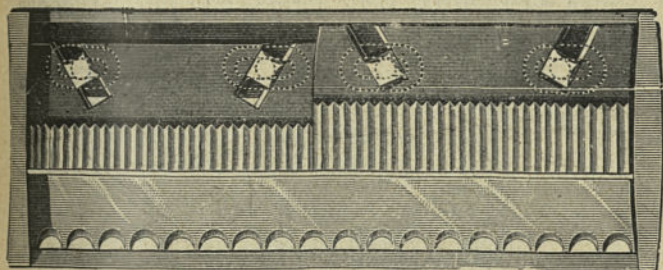


Fig. 14. — Porte-couteaux en épierreur.

les sucreries transformées en distilleries, le coupe-racines à tambour tournant. Il se compose d'un

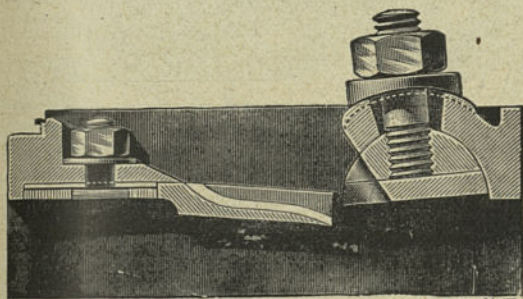


Fig. 15. — Porte-couteaux, coupe transversale.

cylindre tournant qui porte suivant ses génératrices des boîtes porte-couteaux dont les arêtes coupantes sont dirigées vers l'intérieur. Les betteraves arrivent à l'intérieur du cylindre et sont découpées en cossettes qui s'échappent hors du tambour.

La forme de l'arête coupante des couteaux est variable. Elle est parfois, constituée par une ligne brisée, mais le plus souvent, cette ligne brisée porte des arêtes coupantes secondaires normales au plan du couteau. Cette forme, dite *fatière*, donne

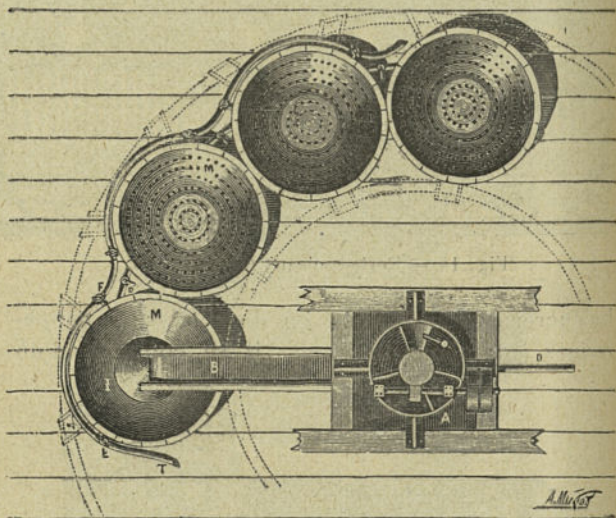


Fig. 16. — Batterie de macérateurs P. Barbier
(Le Clézio, Ehrard et C^{ie}, constructeurs à Paris).

des cossettes dont la section ressemble à un V. Elle a l'avantage d'offrir une large surface et de ne pas se coller dans les macérateurs ou les diffuseurs, ce qui assure la circulation uniforme du liquide.

Les couteaux sont fixés par des boulons dans des boîtes porte-couteaux (fig. 14 et 15). Vis-à-vis des couteaux se trouve placée une contre-plaque, portant fréquemment des alvéoles épierruses. La grosseur des cossettes se trouve réglée par la hauteur du cou-

teau au-dessus de cette contre-plaque et par l'écartement de la contre-plaque au couteau.

Appareils de macération. — Les macérateurs

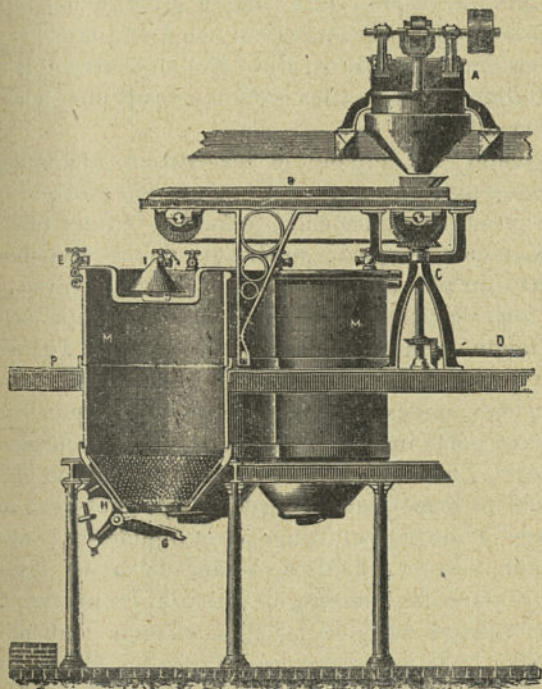


Fig. 16 bis. — Macéreur P. Barbier
(Le Clézio, Ehrard et C^{ie}, constructeurs à Paris).

sont constitués par de grandes cuves en bois ouvertes à la partie supérieure et munies à la partie inférieure d'un faux-fond perforé. Au-dessous de ce faux-fond se trouve une ouverture d'évacuation des jus. Une porte latérale sert à la vidange des cossettes épuisées.

Quand on opère dans des macérateurs isolés, on place les cuves les unes à côté des autres, soit en ligne, soit en demi-cercle. Souvent le coupe-racines est mobile et peut être amené successivement au-dessus de chaque macérateur, ou bien, dans les batteries demi-circulaires, il est fixé au centre et la distribution des cossettes s'effectue par une nochière tournante.

Quand on emploie la macération méthodique, chaque macérateur est relié au suivant par un tuyau qui prend naissance entre le fond et le faux-fond, et qui aboutit à la partie supérieure du macérateur suivant (voir plus loin, fig. 25). Un deuxième tuyau part du fond de chaque macérateur et se rend à une canalisation inférieure de vidange des petits jus. Au-dessus des cuves se trouvent deux autres tuyaux qui amènent l'un les vinasses, l'autre les petits jus. Chacun de ces tuyaux porte un robinet au-dessus de chaque macérateur. Enfin les tuyaux de communication placés entre les macérateurs consécutifs portent deux soupapes : l'une permet d'envoyer le liquide sur le macérateur suivant, l'autre permet d'évacuer les jus concentrés dans une rigole latérale. Le nombre des macérateurs varie de 4 à 8, et chacun contient de 1.000 à 2.000 kilogrammes de cossettes. Pour activer la circulation à travers les cuves, certains constructeurs munissent les tuyaux de communication de petits injecteurs de vapeur qui rendent la circulation plus rapide, et régularisent la marche du liquide dans les macérateurs.

La figure 16 représente une fraction d'une batterie de macérateurs (système Le Clézio, Ehrard et Cie). Ces macérateurs sont ordinairement en fonte, montés sur pieds pour faciliter la vidange qui s'effectue

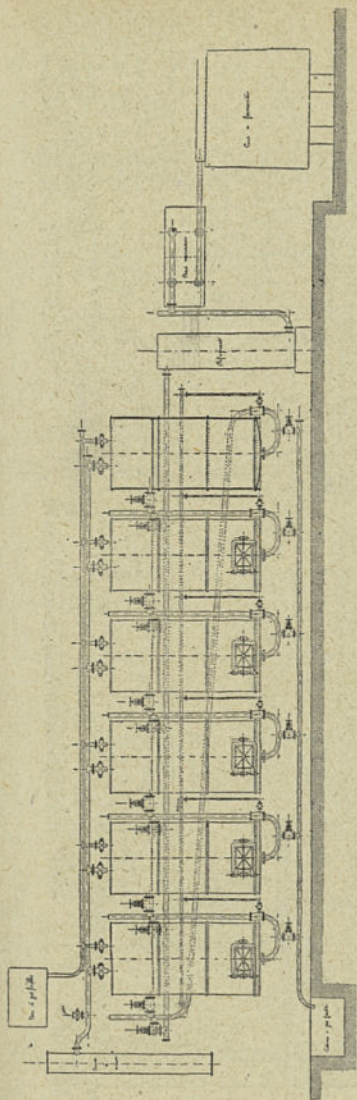


Fig. 17. — Batterie de macérateurs à souirage déterminé (Pingris à Lille).

COUPE LONGITUDINALE

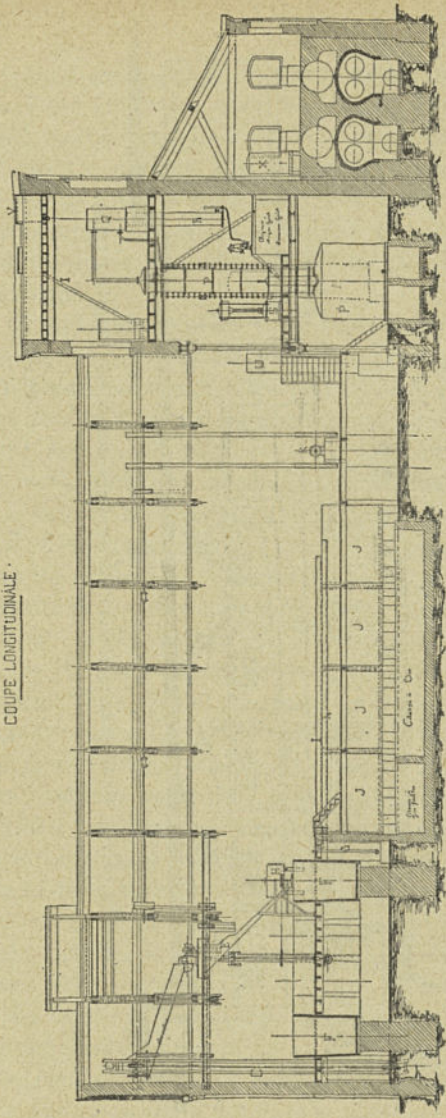


Fig. 18. — Ensemble d'une distillerie de betteraves par macération, coupe longitudinale.
(Pingris, constructeur à Lille.)

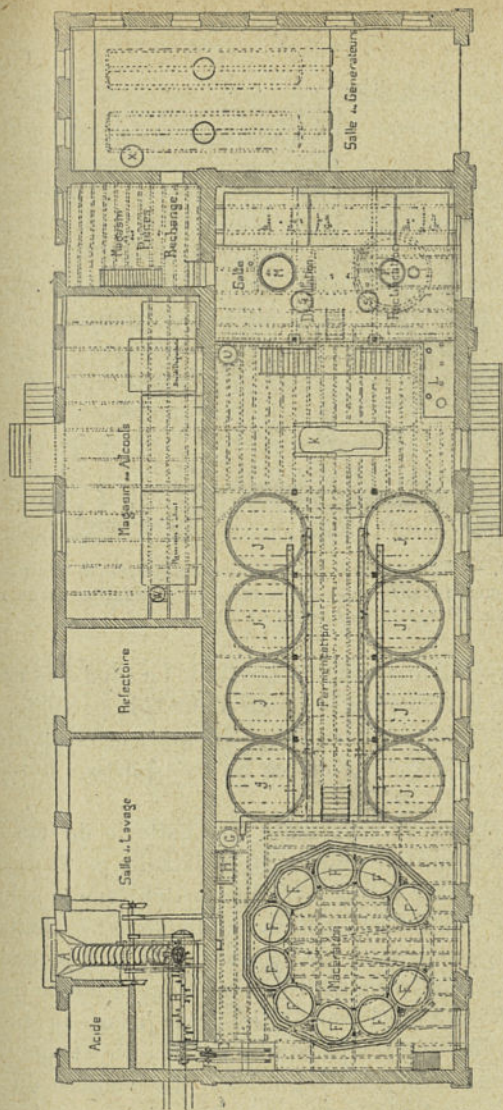


Fig. 19. — Ensemble d'une distillerie de betteraves par macération, plan. (Pingris, constructeur à Lille.)

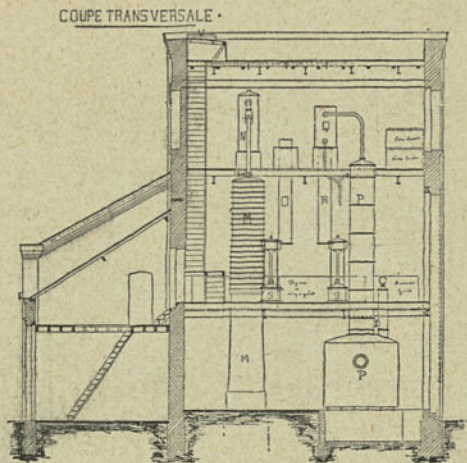


Fig. 20. — Ensemble d'une distillerie de betteraves par macération, coupe transversale de la salle de distillation et de rectification. (Pingris, constructeur à Lille.)

au moyen d'une porte à bascule. Le fond des macérateurs est conique et garni d'une tôle perforée. Un coupe-racines A fournit les cossettes qui sont distribuées aux macérateurs par un transporteur horizontal B.

La figure 17 représente une batterie de macérateurs à soutirage déterminé, construite par la maison Pingris. Pour éviter les irrégularités dans le volume de jus soutiré et dans sa température, la batterie porte des injecteurs de vapeur et des bacs jaugeurs; on peut soutirer ainsi régulièrement la même quantité de jus à chaque opération, et le jus qu'on obtient peut avoir une température, une acidité et une densité beaucoup plus régulières. Le volume du jus soutiré par 100 kilogrammes de betteraves est enfin

plus faible; le jus est donc plus concentré et il en résulte une diminution dans la consommation de charbon.

Les figures 18, 19 et 20 représentent l'ensemble d'une distillerie de betteraves par macération, construite par la maison Pingris.

Appareils de diffusion. — Les diffuseurs (fig. 21) sont constitués par des récipients en tôle ou en fonte, soit cylindriques, soit cylindro-coniques. La tôle est rapidement attaquée par les jus acides; aussi est-il nécessaire de la protéger au moyen d'un vernis résistant aux acides. La fonte n'est que faiblement attaquée, et au bout d'un certain temps, il se forme à l'intérieur du diffuseur une croûte qui arrête complètement l'attaque par l'acide. A la partie supérieure se trouve un couvercle circulaire assujéti par une vis de pression : ce couvercle est muni d'un robinet pour l'échappement de l'air lors du meichage. A la partie inférieure se trouve la porte de vidange. Tantôt cette porte forme le fond du diffuseur : elle est alors à bascule et à contre-poids et s'ouvre au moyen d'un volant mû à la main; le joint est rendu étanche au moyen d'un tuyau qu'on gonfle par l'eau ou la vapeur sous pression. Tantôt la porte est latérale : elle est alors assujéti par une vis de pression. A la partie inférieure du diffuseur et à l'intérieur, se trouve une plaque percée de trous qui maintient les cossettes et tamise le jus.

Le chauffage du jus se fait entre chaque diffuseur, soit au moyen d'un calorisateur, soit au moyen d'un injecteur de vapeur. Le calorisateur est placé sur le tuyau de communication qui relie deux diffuseurs voisins. Il est constitué par un cylindre portant un serpentín dans lequel circule de la vapeur, ou un

faisceau tubulaire qui reçoit de la vapeur entre les tubes tandis que le jus circule dans les tubes. L'injecteur de vapeur, placé à la partie inférieure du tuyau de communication, est préférable, car il accélère la

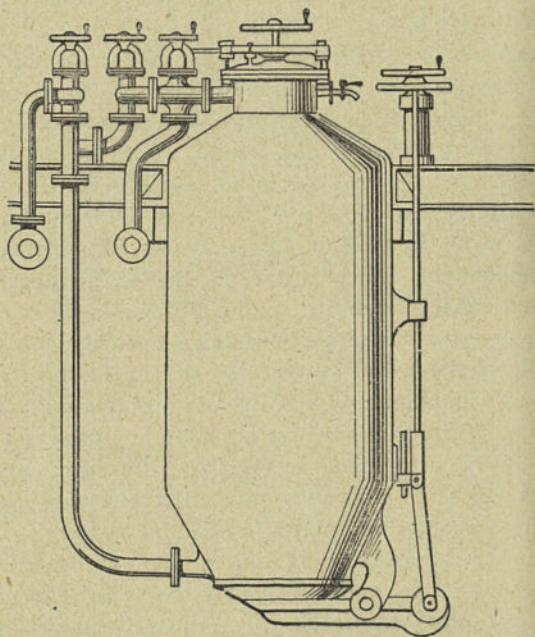


Fig. 21. — Diffuseur Crépelle-Fontaine, constructeur à La Madeleine-lès-Lille (Nord)].

circulation et réduit l'espace dans le jus n'est pas en contact avec les cossettes.

Le bas de chaque diffuseur communique avec le haut du diffuseur suivant (voir fig. 28) par un tuyau sur lequel est placé le calorisateur ou l'injecteur de vapeur. Avant d'arriver à la partie supérieure du dif-

fuseur, le tuyau porte trois soupapes : une soupape de circulation qui permet de faire communiquer le

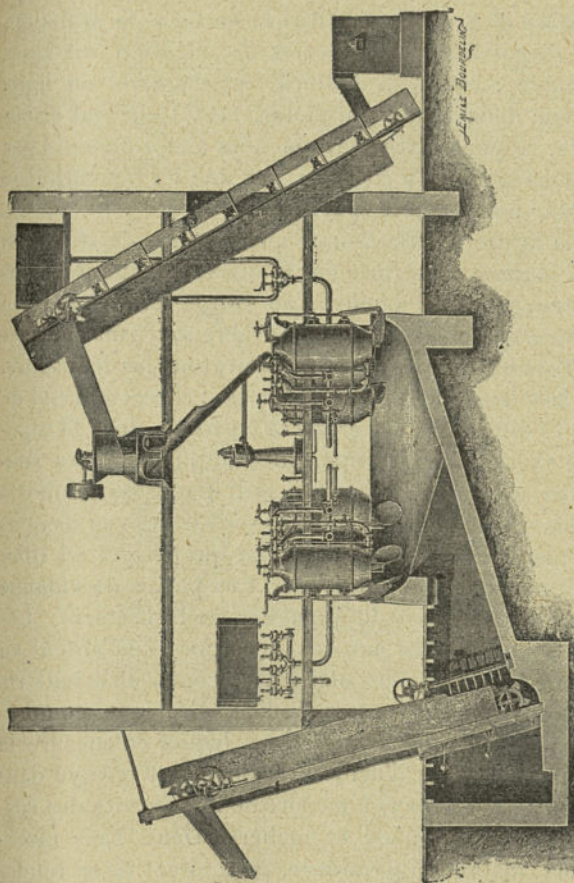


Fig. 22. — Batterie de diffusion à la vinasse (Wauquier et C^{ie}, constructeurs à Lille).

diffuseur avec son voisin, une soupape de jus qui est reliée au tuyau des jus et qui sert à évacuer les jus concentrés, et une soupape d'eau ou de vinasse par

laquelle on peut faire arriver sur le diffuseur l'eau ou la vinasse sous pression.

L'ensemble des diffuseurs et des calorisateurs, au nombre de 8 à 14, constitue la batterie de diffusion. La disposition des batteries de diffusion est assez variable : tantôt la batterie est disposée en ligne ou sur deux lignes parallèles, tantôt elle est circulaire. Les cossettes sont amenées aux diffuseurs par un transporteur à courroie, par une vis d'Archimède ou par une nochière tournante.

La figure 22 représente une batterie de diffusion à la vinasse construite par la maison Wauquier. Les betteraves sont amenées au coupe-racines par un élévateur à palettes et une nochière tournante permet la distribution des cossettes dans tous les diffuseurs. La batterie est disposée en cercle : elle comprend de 8 à 12 diffuseurs entièrement en fonte, dont la capacité varie suivant l'importance de l'usine. Les soupapes de chaque diffuseur sont disposées selon des rayons, toutes les tuyauteries sont situées au dessous du plancher de la batterie, ce qui permet un libre accès autour des diffuseurs. Les portes de vidange sont manœuvrées du plancher de la batterie. Les jus sont chauffés par des injecteurs qui aident en même temps à la circulation. Au centre de la batterie se trouve la distribution d'acide sulfurique, comprenant un réservoir gradué dans lequel on mesure la quantité voulue d'acide. Cet acide est envoyé dans la batterie au fur et à mesure de la descente des cossettes au moyen de la nochière. Deux bacs mesureurs, installés à proximité, permettent de se rendre compte de la quantité de jus tiré sur chaque diffuseur. Les cossettes épuisées tombent dans une fosse, d'où un élévateur à godets les conduit aux presses.

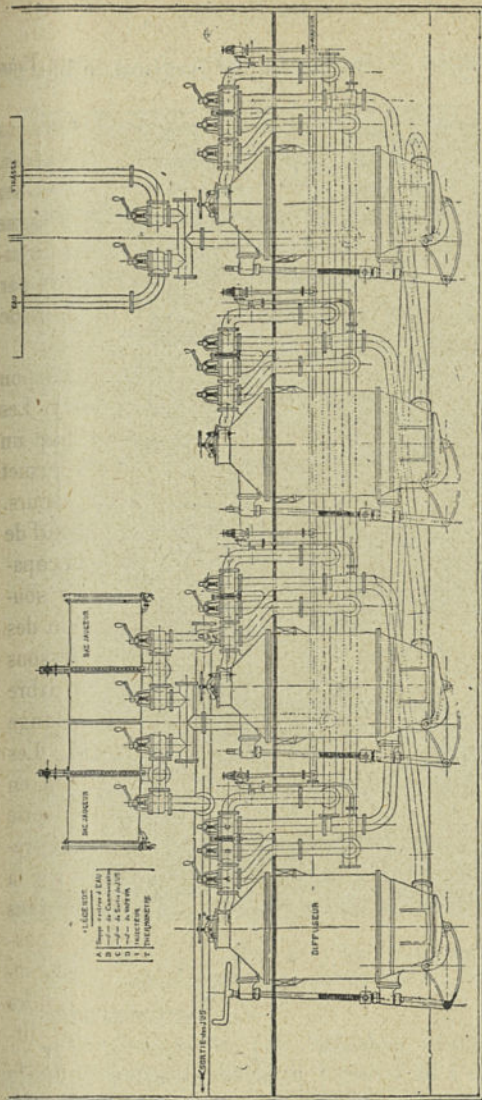


Fig. 23. — Batterie de diffusion à la vinasse (Pingris, constructeur à Lille).

La figure 23 représente une fraction de batterie de

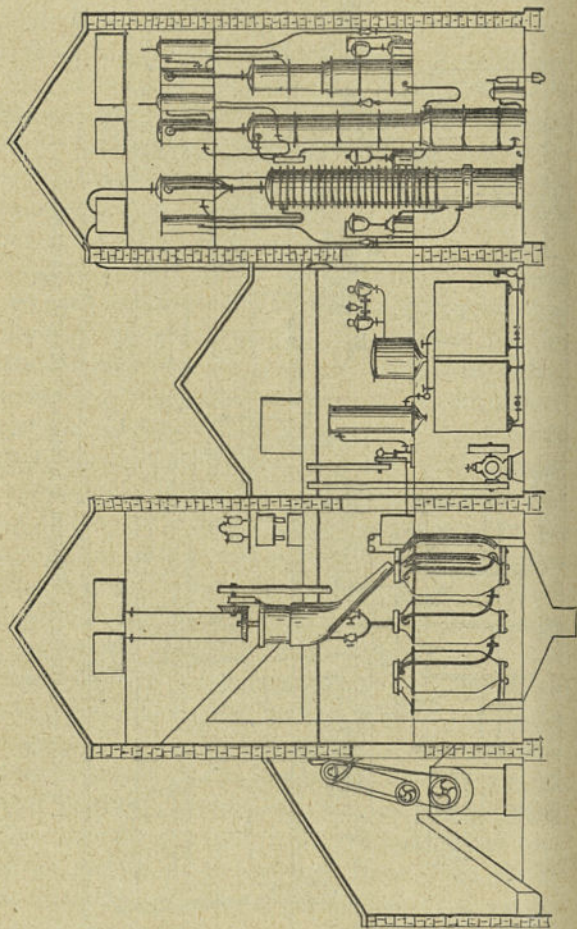


Fig. 24. — Installation d'une distillerie de betteraves, avec extraction du jus par diffusion
(Célestine, constructeur à La Madeleine-les-Lilles, Nord).

diffusion à la vinasse, avec ses diverses soupapes et
ses tuyauteries de jus et d'eau, et la figure 24 une
IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

installation complète d'une distillerie de betteraves

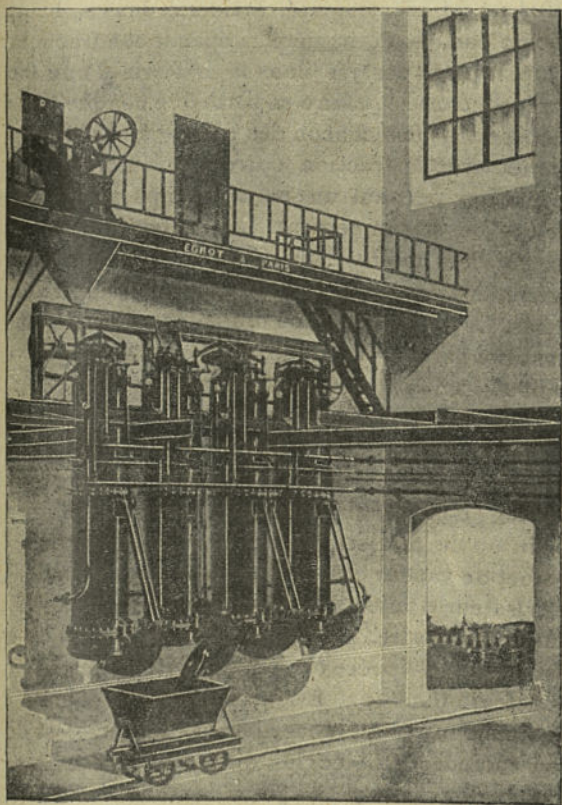


Fig. 25. — Diffusion simplifiée, système Guillaume, Egrot et Grangé (Egrot et Grangé, constructeurs à Paris).

avec extraction du jus par diffusion, montée par la maison Crépelle-Fontaine.

La diffusion simplifiée (fig. 25), système Guillaume,

Egrot et Grangé, comporte seulement 3 à 6 diffuseurs selon l'importance du travail. Dans ce procédé, le diffuseur est idéalement fractionné dans sa hauteur en cinq parties, de manière à répartir et à fractionner la circulation des jus dans la batterie d'une façon correspondante et à faire en sorte que chaque tranche de cossettes dans chacun des diffuseurs se trouve en contact avec la fraction correspondante du jus en circulation pendant un même temps pour chaque période de stationnement. Les diffuseurs ont une hauteur de 4 mètres : ils sont cylindriques ou très légèrement coniques, le plus grand diamètre étant en bas. Le fond de chaque diffuseur est entièrement constitué par la porte de vidange qui est manœuvrée du haut par l'ouvrier qui conduit la diffusion : la vidange se fait directement dans un wagonnet amené au-dessous. Un robinet à trois eaux, pour chaque diffuseur, permet à volonté de recevoir la vinasse, d'établir la circulation avec le diffuseur voisin ou de pousser les jus au bac mesureur. Un robinet de vapeur sert à chauffer, au moyen d'un calorisateur à injection, les jus à leur passage d'un diffuseur à l'autre. La vidange des petits jus du diffuseur épuisé s'opère au moyen d'air comprimé qui les refoule dans le diffuseur suivant ; le volume des eaux résiduaires à évacuer par la distillerie est donc bien moindre qu'avec les diffusions ordinaires, le passage direct des petits jus d'un diffuseur à l'autre supprimant d'ailleurs toute cause d'infection. En outre, les pulpes abandonnent suffisamment d'eau sous l'action de l'air comprimé pour être transportables sans pressurage. L'emploi de calorisateurs à surface est recommandé avec cette diffusion par Egrot et Grangé ; ils permettent d'utiliser la vapeur

d'échappement des machines et d'obtenir ainsi un chauffage très régulier et très facile à conduire.

Appareils de pressurage des cossettes épuisées. — Le pressurage des cossettes épuisées se fait à la presse Klusemann ou à la presse Bergreen.

La presse Klusemann se compose d'un arbre conique en fonte muni de fortes palettes disposées en hélice et tournant au milieu d'un tambour en tôle perforée. Les cossettes arrivent par la partie supérieure, descendent dans l'espace compris entre l'arbre conique et le tambour où elles sont poussées par les palettes. Elles occupent ainsi un espace de plus en plus réduit et sont énergiquement pressées. L'eau s'écoule à travers la tôle perforée, tandis que les cossettes pressées s'échappent par le bas.

La presse Bergreen (fig. 26) est analogue à la précédente, mais elle est formée de deux troncs de cône tournant en sens inverse. Le tronc de cône supérieur porte des palettes, le tronc de cône inférieur est entouré d'une lame contournée en hélice et porte des lumières longitudinales. Le fonctionnement est le même que celui de la presse Klusemann, mais la pression est plus énergique.

Pratique du travail. — A) *Découpage en cossettes.* — Un bon découpage de la betterave en cossettes est une condition indispensable pour obtenir avec la macération ou la diffusion de bons résultats. Le degré d'épuisement en sucre dépend en effet de la régularité et de la forme des cossettes. Celles-ci doivent être très régulières et offrir le maximum de surface pour l'épuisement par le liquide. Elles ne doivent pas être trop larges, car elles s'appliqueraient les unes contre les autres et rendraient difficile la circulation du liquide diffuseur.

Pour arriver à ce résultat, on doit employer un bon coupe-racines, ne pas lui donner une vitesse de rotation exagérée, bien laver et bien épierrier la betterave, et entretenir les couteaux dans un parfait état. L'affûtage des couteaux se fait aujourd'hui mécaniquement. On rend d'abord le plan du couteau horizontal au moyen d'un premier appareil, puis on passe le tranchant du couteau devant une meule tournante pour rendre rectiligne la partie coupante. Enfin on fait entrer dans toutes les encoches une petite lime, mue mécaniquement, pour aiguiser les parties coupantes.

B) *Travail par macération.* — La macération peut se faire, soit dans des macérateurs travaillant isolément, soit méthodiquement dans une batterie de macérateurs.

La première méthode est très imparfaite : elle est cependant employée par un grand nombre de petites distilleries. Les cossettes, en arrivant dans le macérateur, sont d'abord acidulées par de l'acide sulfurique au dixième. La dose d'acide à employer est variable avec l'acidité finale qu'on désire obtenir et avec le degré de dilution du moût. Au début de la campagne, quand on commence la macération avec de l'eau, il faut évidemment employer une dose d'acide plus forte que dans le cours du travail, quand on utilise la vinasse, qui est elle-même déjà acide. Il suffit, dans ce dernier cas, d'ajouter la proportion d'acide nécessaire pour que le jus, après addition de vinasse, possède l'acidité voulue. Cette acidité est variable avec les usines et les conditions de travail entre 1 gramme et 3 grammes d'acide sulfurique par litre. Il n'est pas possible d'indiquer d'une façon précise quelle est la meilleure acidité à adopter. Elle

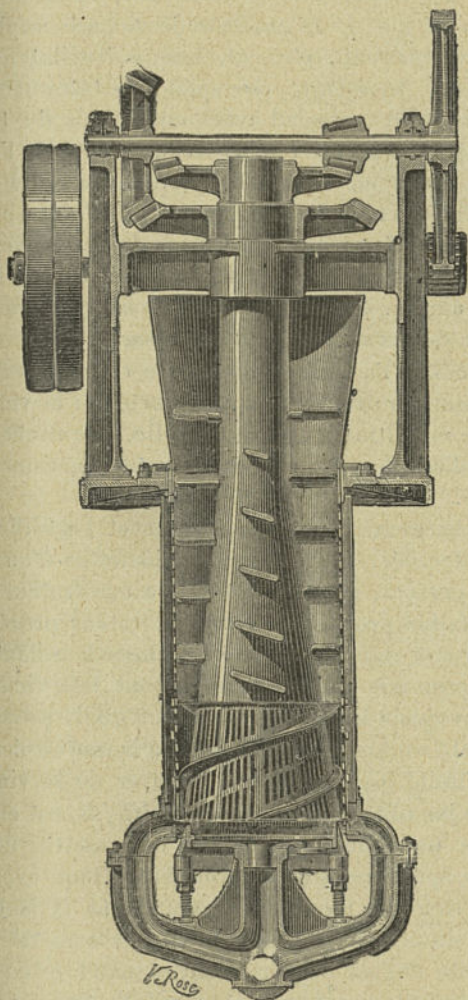


Fig. 26. — Presse Bergreen (Gail).

dépend de la nature de la betterave, du mode d'extraction du jus, de la quantité de vinasse employée, de la fermentation, etc., et chaque distillateur doit déterminer lui-même, par quelques tâtonnements, l'acidité qui correspond à ses conditions de travail et de matières premières. Cette question de l'acidification étant en relation directe avec celle de la fermentation, nous l'examinerons plus loin, à propos de la mise en fermentation des jus de betteraves.

M. Sidersky estime que la quantité d'acide sulfurique à ajouter à la macération, calculée en grammes par litre de jus soutiré, doit représenter au moins les deux tiers de l'acidité moyenne de ce jus, constatée par l'essai, l'autre tiers étant apporté par la vinasse. Si cette condition n'est pas remplie, il faut chercher à rétablir la proportion en diluant légèrement la vinasse.

Le chargement du macérateur et l'acidification étant effectués, on recouvre les cossettes d'un couvercle perforé, puis on remplit le macérateur avec du jus faible provenant d'un macérateur précédemment épuisé et on y envoie de la vinasse bouillante.

Les premiers jus qui passent sont très riches et sont envoyés à la fermentation tant qu'ils possèdent la densité voulue. Quand la densité baisse au-dessous de la limite, on continue à envoyer de la vinasse, mais le jus obtenu ainsi, appelé *petit-jus*, est envoyé sur une nouvelle cuve chargée de cossettes neuves jusqu'à épuisement de la première. Pour avoir un jus de richesse moyenne et constante, il faut travailler simultanément avec plusieurs macérateurs à différents degrés d'épuisement. Quand le contenu d'un macérateur est épuisé, on vide la cuve et on la remplit de cossettes fraîches.

Cette méthode de macération dans des vases travaillant isolément est défectueuse et il est bien préférable d'avoir recours à la *macération méthodique*.

La marche schématique du travail est alors la suivante (fig. 27). Prenons, comme exemple, une batterie de six macérateurs en marche. Les macérateurs 3 et 4 sont arrêtés, l'un se remplit de cossettes fraîches, l'autre est en vidange de ses cossettes épuisées. Le macérateur le plus anciennement chargé, qui contient les cossettes les plus pauvres, est le macérateur 5; celui qui vient d'être chargé de cossettes fraîches est le macérateur 2. La richesse des cossettes va donc en croissant du macérateur 5 au macérateur 2 dans l'ordre 5, 6, 1, 2. On ouvre le robinet *b* du macérateur 5 et on fait couler sur ce macérateur les petits jus extraits du macérateur 4 immédiatement avant sa vidange. Puis on ouvre le robinet *a* du macérateur 5 et on fait couler de la

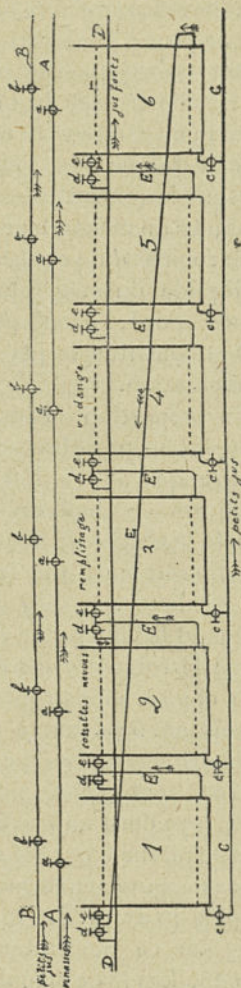


Fig. 27. — Schéma d'une batterie de macérateurs (d'après Lindel).

vinasse chaude. Celle-ci déplace le liquide contenu dans ce macérateur, et le liquide déplacé passe dans le macérateur 6 par le tuyau E. Il y rencontre des cossettes moins épuisées et par conséquent s'enrichit. Le liquide déplacé du macérateur 6 passe de même dans le macérateur 1, et celui du macérateur 1 dans le macérateur 2 en s'enrichissant de plus en plus, puisque les cossettes sont de plus en plus riches. Le robinet *e* du macérateur 3 en chargement étant fermé et le robinet *d* de ce même macérateur étant ouvert, le liquide du macérateur 2, déplacé par celui du macérateur 1, s'écoule par ce robinet *d* dans une rigole DD et constitue le jus concentré qu'on envoie à la fermentation.

La proportion de jus ainsi soutirée est variable avec les usines. Dans certaines distilleries, on ne soutire que 140 à 150 litres de jus par 100 kilogrammes de betteraves, mais ordinairement on adopte le chiffre de 180 à 200 litres; quand le nombre des macérateurs est faible, ce chiffre est porté à 200-220 litres.

Quand le volume de jus à soutirer est atteint, on ferme le robinet *a* du macérateur 5 qui est maintenant épuisé, et le robinet *e* du macérateur 6. Le macérateur 5 se trouve ainsi isolé. On ouvre alors le robinet inférieur *c* de ce macérateur et le petit jus qu'il contient s'écoule par le tuyau CC. Ce petit jus est envoyé dans un bac à jus et vient se déverser sur le macérateur 6 qui est maintenant le macérateur le plus anciennement chargé, contenant les cossettes les plus pauvres. La même opération recommence alors sur ce macérateur 6 qui reçoit la vinasse chaude. Les jus concentrés sont maintenant soutirés sur le macérateur 3 dont le remplissage avec des

cossettes fraîches vient d'être achevé. La même opération se renouvelle ensuite avec le macérateur 1 comme macérateur de queue, et ainsi de suite, chaque cuve devenant successivement première, deuxième, troisième, etc., dernière de la batterie.

Dans beaucoup d'usines, on coule les petits jus sur l'avant-dernier macérateur et les vinasses sur le dernier macérateur, qui contient les cossettes les plus épuisées. Le petit jus est ainsi envoyé sur la cuve qui renferme un liquide dont la densité est très voisine de celle du petit jus, la vinasse coulant sur les cossettes les plus pauvres.

On doit utiliser la vinasse très chaude, pour qu'elle ne se refroidisse pas trop pendant sa circulation dans les vases, et pour que l'épuisement se fasse bien. On coule ordinairement la vinasse à 90-92 degrés; le refroidissement qui se produit dans le macérateur de queue donne une température moyenne de 80 degrés. Il ne faut pas, autant que possible, dépasser cette température, car les cossettes se trouveraient complètement ramollies, surtout si elles sont fines; la circulation du liquide deviendrait difficile et l'épuisement serait défectueux. Il est bon en outre de ne pas utiliser trop longtemps les mêmes vinasses: elles finissent par contenir trop de matières étrangères et donnent des jus dont la fermentation est difficile. On évite cet inconvénient en les mélangeant avec de l'eau chaude, ordinairement dans la proportion d'un tiers d'eau pour deux tiers de vinasses.

L'acidification par l'acide sulfurique se fait au moment du chargement des macérateurs. L'acide sulfurique dilué est ajouté en quantité voulue sur les cossettes fraîches qu'on introduit sur le macérateur de tête. Cet acide doit être réparti régulièrement

sur les cossettes, soit dans la nochère d'alimentation, soit dans le macérateur même au moyen d'un tuyau muni d'une pomme d'arrosoir. L'acide ainsi employé protège les cossettes fraîches contre les altérations microbiennes qui sont particulièrement à craindre à la basse température du macérateur de tête, et permet d'obtenir des pulpes moins acides et de meilleure qualité.

Les cuves et les rigoles doivent être maintenues dans le plus grand état de propreté. On doit éviter soigneusement les arrêts et stagnations de la batterie qui peuvent occasionner des infections microbiennes si la température s'abaisse suffisamment.

L'épuisement dépend beaucoup de la régularité des cossettes, de la forme des macérateurs, de la quantité de jus soutiré par 100 kilogrammes de betteraves, de la marche du travail, etc. En marche normale, les pulpes de macération renferment environ 0,5 p. 100 de sucre; ce chiffre peut descendre à 0,25-0,40 p. 100 dans des conditions excellentes de travail, mais peut dépasser 1 p. 100 dans des conditions mauvaises.

C) *Travail par diffusion*. — La marche des jus dans la batterie de diffusion se fait d'après les mêmes principes que dans la macération méthodique.

Le diffuseur de tête est celui qui vient de recevoir des cossettes fraîches et sur lequel on tire le jus fort; le diffuseur de queue est celui qui contient les cossettes les plus épuisées et qui reçoit l'eau ou la vinasse. Prenons comme exemple une batterie de neuf diffuseurs (fig. 28); et supposons la batterie en plein travail. Sur neuf diffuseurs, sept sont pleins et en fonctionnement; le diffuseur 9 se vide, le diffuseur 1 vient d'être rempli de cossettes et n'a pas encore de liquide.

Toutes les soupapes de circulation C qui font communiquer chaque diffuseur avec son voisin sont ouvertes, sauf les soupapes C_8 , C_9 et C_1 du diffuseur 8 de queue, du diffuseur 9 en vidange et du diffuseur 1 récemment chargé qui sont fermées. Toutes les soupapes de jus J sont fermées, sauf les soupapes J_1 et J_9 des diffuseurs 1 et 9, qui sont ouvertes. Toutes les soupapes de vinasses E étant fermées, on ouvre la soupape de vinasses E_8 sur le diffuseur 8 de queue. La vinasse sous pression arrive dans ce diffuseur, et comme le robinet supérieur du couvercle du diffuseur 1 est ouvert, tout le liquide se met en mouvement dans la batterie, descendant les diffuseurs et remontant les calorisateurs. Le liquide de chaque diffuseur vient donc peu à peu déplacer le liquide du diffuseur voisin, en agissant de haut en bas; toutefois le liquide du diffuseur 2 ne peut entrer dans le diffuseur 1 par le haut, puisque la soupape de circulation C_1 est fermée. Il passe

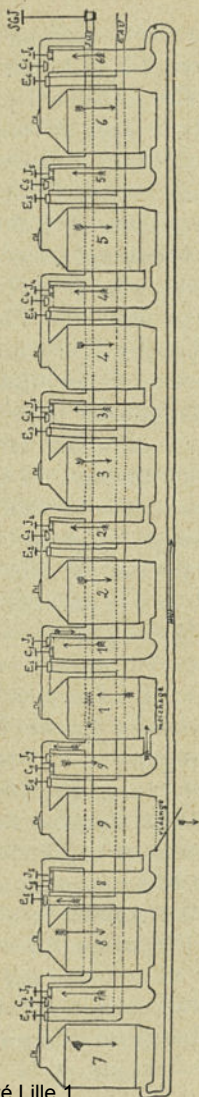


Fig. — 28. — Schéma d'une batterie de diffusion.

donc par la soupape de jus J_1 , emprunte le tuyau des jus entre J_1 et J_9 , descend le calorisateur 9 et pénètre dans le diffuseur 1 par le bas. Cette manœuvre, qui porte le nom de *meichage*, permet le remplissage régulier du diffuseur nouvellement chargé, car le liquide, en arrivant par le bas, déplace peu à peu l'air qui se trouve entre les cossettes et qui est évacué par le robinet du couvercle, tandis que si le liquide arrivait par la partie supérieure comme dans les autres diffuseurs, l'air ne pourrait que difficilement s'échapper. On voit donc que la circulation est inverse dans le diffuseur de tête: le liquide circule de haut en bas dans le calorisateur et de bas en haut dans le diffuseur, tandis que dans tous les autres, il circule de haut en bas dans les diffuseurs et de bas en haut dans les calorisateurs. La figure 28 indique schématiquement la position des soupapes et la marche des jus dans cette opération du meichage.

Quand le diffuseur 1 est rempli par le jus, celui-ci s'échappe par le robinet du couvercle. On ferme aussitôt ce robinet et on procède au soutirage du jus riche. Il suffit pour cela de rétablir la circulation normale en fermant la soupape de jus J_1 et en ouvrant la soupape de circulation C_1 du diffuseur 1. On ouvre aussi la soupape générale des jus placée à l'extrémité du tuyau des jus. La circulation normale se trouve rétablie et la pression de la vinasse déplace de haut en bas le jus concentré du diffuseur 1. Ce jus remonte le calorisateur 9, s'échappe dans le tuyau des jus par la soupape J_9 restée ouverte et s'écoule à l'extrémité de ce tuyau par la soupape générale. Quand on a ainsi soutiré le volume de jus correspondant à la charge du diffuseur, on referme la soupape générale des jus et la circulation se trouve arrêtée.

La même opération recommence alors avec le diffuseur 7 comme diffuseur de queue et le diffuseur 9, dont le remplissage est achevé, comme diffuseur de tête. Le diffuseur 8 est prêt à être vidé. On isole d'abord ce diffuseur 8 en fermant la soupape de circulation C_7 , la soupape C_8 étant déjà fermée dans l'opération précédente. On ouvre la soupape de vinasses E_7 qui donne la pression, et pour meicher le diffuseur 9, il suffit d'ouvrir la soupape de jus J_8 , la soupape de jus J_9 étant déjà ouverte lors du meichage précédent et les soupapes de circulation C_8 et C_9 déjà fermées. La circulation se trouve rétablie et le meichage du diffuseur 9 s'effectue. Cette opération terminée, le rétablissement de la circulation normale permet le tirage du jus concentré sur le diffuseur 9. Chaque diffuseur devient ainsi successivement premier, deuxième, troisième, etc., dernier de la série; il reçoit la pression de la vinasse quand il est dernier ou diffuseur de queue; il fournit le jus concentré quand il est premier ou diffuseur de tête.

Pour vider un diffuseur épuisé, on l'isole en fermant les deux soupapes de circulation à droite et à gauche; on diminue la pression à l'intérieur en laissant écouler une partie du liquide, puis on fait basculer la porte de vidange en même temps qu'on ouvre le couvercle supérieur du diffuseur. Les cossettes épuisées sont évacuées dans la fosse inférieure ou dans des wagonnets; on rince le diffuseur, on le referme à la partie inférieure et il est alors prêt à être rempli.

La circulation des jus dans la batterie est assurée par la pression que donne l'eau ou la vinasse qui se trouve dans un bac situé à quelques mètres de hau-

teur. La circulation est lente quand la hauteur est faible (4 ou 5 mètres); elle est plus rapide avec une hauteur plus grande (8 à 10 mètres), mais les fortes pressions peuvent gêner le bon fonctionnement de la batterie en occasionnant des collages des cossettes dans les diffuseurs.

La mise en route de la batterie se fait en remplissant d'eau par meichage les cinq ou six premiers diffuseurs, en chauffant l'eau au passage dans les calorisateurs. Après chaque meichage, la circulation normale est rétablie. On place alors des cossettes successivement dans les diffuseurs suivants qu'on meiche; on soutire d'abord sur le deuxième diffuseur chargé une faible quantité de jus, puis on augmente la quantité soutirée sur les diffuseurs suivants jusqu'à ce qu'on arrive à la marche normale, tous les diffuseurs étant remplis et en fonctionnement.

La marche exposée ci-dessus présente un inconvénient : quand on soutire, en rétablissant la circulation normale, le diffuseur qui vient d'être meiché, le jus le moins riche qui se trouve en bas sort le premier sans passer sur les cossettes fraîches et le jus le plus riche qui se trouve en haut passe de nouveau sur les cossettes moins riches qui sont au-dessous. Pour éviter cet inconvénient, on peut soit supprimer l'opération du meichage, comme dans la diffusion Boulenger dans laquelle le jus peut se répandre sur le diffuseur par le haut, grâce à un dispositif spécial, soit ne rétablir la circulation normale qu'après le soutirage et soutirer par suite dans le sens du meichage, ce qui force le jus à traverser le diffuseur de tête. Cette dernière méthode exige une tuyauterie supplémentaire pour le soutirage des jus et l'établissement d'un tamis filtrant à la partie

supérieure du diffuseur. On peut également adopter la circulation renversée dans laquelle la pression du liquide diffuseur s'exerce de bas en haut sur le diffuseur de queue par l'intermédiaire du calorisateur : la marche devient ainsi l'inverse de la marche précédente; le jus descend les calorisateurs et remonte les diffuseurs; le meichage est supprimé et le soutirage se fait directement sans changement dans le sens de la circulation. Cette méthode exige également la présence de tamis filtrants à la partie supérieure des diffuseurs. Ces modifications ont peu d'intérêt en distillerie où la parfaite homogénéité des jus au point de vue de la densité a beaucoup moins d'importance qu'en sucrerie.

Dans certaines distilleries, pour économiser l'eau, on se sert de l'air comprimé ou de petits jus pour produire la pression pendant une partie du meichage et du soutirage.

La température des jus est maintenue, soit au moyen des calorisateurs, soit au moyen des injecteurs de vapeur placés dans les tuyaux de communication. Elle ne doit jamais dépasser 75° à 80°, pour qu'on puisse presser facilement les pulpes et pour qu'il ne se produise pas de collages dans les diffuseurs. La vinasse est employée à une température de 50° à 70°, concurremment avec l'eau tiède ou des petits jus. La température s'élève à partir du diffuseur de queue en suivant l'ordre des diffuseurs; elle s'abaisse ensuite à la tête à cause du contact du jus avec les cossettes fraîches.

La charge moyennée des diffuseurs est de 54 à 56 kilogrammes de cossettes par hectolitre de capacité comprise entre les faux fonds perforés. La quantité de jus soutiré varie, suivant la richesse de

la betterave, de 130 à 140 litres par 100 kilogrammes de cossettes. Dans un bon travail, les cossettes ne renferment plus que 0,20 à 0,30 p. 100 de sucre.

On emploie le plus souvent comme liquide diffuseur la vinasse. Elle peut être employée en mélange avec de l'eau ou des jus faibles, ou sans mélange alternativement avec de l'eau ou des jus faibles.

Quand on utilise la vinasse en mélange avec de l'eau, ou avec les petits jus, on ajoute à la vinasse, dans le bac, les jus faibles ou de l'eau tiède en proportions voulues. Quand on marche alternativement à la vinasse et à l'eau, on peut adopter la méthode suivante préconisée par M. Barbet. Les vinasses, sortant à 50° du récupérateur de chaleur de la colonne rectificatrice, sont remontées par une pompe dans un bac placé à côté du bac à eau de diffusion. A l'entrée de la batterie est une soupape à deux sièges; lorsqu'on procède au meichage, on ouvre la soupape du côté de la vinasse; après meichage, pour pousser le jus au bac, on invertit la soupape, de telle façon que l'eau vient déplacer la vinasse et la pousse dans la circulation. La cossette se trouve en dernier lieu au contact de l'eau, qui opère un vrai rinçage, et c'est à ce moment qu'on vide le diffuseur. De cette façon, la cossette est désacidifiée et elle a la bonne température pour la pression.

La même méthode peut être adoptée avec la vinasse et les jus faibles. L'acidification par l'acide sulfurique doit se faire sur le diffuseur de tête, en répartissant le mieux possible cet acide dilué sur les cossettes fraîches soit dans le diffuseur même, soit dans la nochère d'alimentation. On combat ainsi les fermentations secondaires qui prennent facilement naissance dans le premier diffuseur, où la tempéra-

ture n'est pas assez élevée pour s'opposer au développement des ferments.

La figure 29 représente une installation de la maison Crépelle-Fontaine pour la distribution régulière de l'acide sulfurique sur les cossettes dans une distillerie de betteraves par diffusion. Un aspirateur

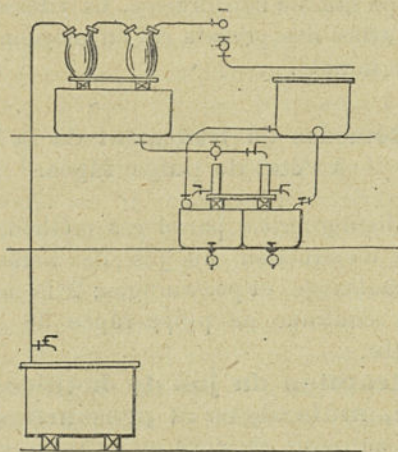


Fig. 29. — Distribution de l'acide sulfurique dans les diffuseurs [Crépelle-Fontaine constructeur à la Madeleine-les-Lille (Nord)].

de vapeur, placé à la partie supérieure, aspire par le tuyau de gauche l'acide sulfurique dans les deux ballons de poterie supérieurs. Les robinets en grès de ces ballons laissent écouler l'acide sulfurique dans le bac en plomb situé au-dessous. Ce bac alimente deux jauges en verre gradué, qui se déversent dans un bac en plomb à deux compartiments. De ce bac, une tuyauterie en plomb conduit l'acide aux diffuseurs.

D) *Pressurage des cossettes épuisées.* — Les cossettes épuisées tombent dans la fosse inférieure

ou dans des wagonnets et sont envoyées au pressurage. On emploie à cet effet la presse Klusemann ou la presse Bergreen précédemment décrites. Les cossettes qui sortent des diffuseurs renferment environ 95 p. 100 d'eau; le pressurage les ramène à 86-90 p. 100 d'eau, ce qui correspond à 35-50 p. 100 de la pulpe initiale non pressée. La vitesse de rotation de l'arbre des presses est en moyenne de trois tours à la minute.

B. — Méthodes de traitement de la betterave à l'état de pulpe râpée.

Nous distinguerons parmi ces méthodes : 1° la méthode d'extraction du jus de betteraves par râpage, malaxages et pressurages; 2° la méthode de diffusion continue de pulpe râpée de A. G. et R. Collette.

1° Extraction du jus de betteraves par râpage, malaxages et pressurages. — Ce procédé, autrefois employé en sucrerie, est encore adopté aujourd'hui dans un assez grand nombre d'usines, notamment dans la région du Nord.

Il consiste à transformer d'abord la betterave en pulpe par le râpage, à aciduler la râpüre par l'acide sulfurique et à la soumettre au pressurage dans des presses continues, après l'avoir intimement malaxée pour permettre aux phénomènes de diffusion de se produire. C'est donc à la fois un procédé mécanique qui extrait le jus des cellules déchirées par le râpage, et un procédé de diffusion qui permet par le malaxage l'épuisement des cellules non déchirées. Comme une seule pression ne suffit pas pour épuiser suffisamment la pulpe, on délaie la pulpe pressée

avec de l'eau ou de la vinasse chaude, on la malaxe de nouveau et on la presse une seconde fois. Le jus de deuxième pression, ainsi obtenu, va diluer la râpüre et on n'envoie à la fermentation que le jus de première pression.

Le râpage a pour but le déchirement de la majeure partie des cellules de la betterave : le jus contenu dans ces cellules peut ainsi se répandre aisément dans le liquide de dilution de la râpüre. Ce déchirement doit donc être aussi complet que possible sans cependant avoir pour résultat de transformer la betterave en fine bouillie, car la pression deviendrait difficile et les pulpes folles seraient très abondantes. Les phénomènes de diffusion interviennent pour compléter l'extraction du jus. L'addition des petits jus à la râpüre rend sa consistance moins pâteuse, et pendant le malaxage, les cellules non déchirées laissent diffuser leur sucre et l'épuisement se continue. Il y a donc intérêt, pour avoir une bonne extraction, à employer des malaxeurs de grandes dimensions, dans lesquels la pulpe se trouve en contact avec le liquide pendant un temps suffisant pour utiliser au maximum les phénomènes de diffusion. Ces phénomènes se produisent surtout avant la deuxième pression, lors du délayage et du malaxage des pulpes de première pression avec de l'eau ou de la vinasse chaude.

L'emploi de l'acide sulfurique présente les mêmes avantages que ceux que nous avons exposés au sujet de la macération et de la diffusion et nous n'y reviendrons pas. L'acidification se fait sur la râpüre qui s'échappe des appareils de râpage.

Matériel employé pour l'extraction du jus de betteraves par râpage et pressurages. — Le

matériel employé pour l'extraction du jus de betteraves par râpage et pressurages comprend les appareils de râpage, les malaxeurs, les pompes à pulpes, les presses continues et les épulseurs.

Appareils de râpage. — Les râpes employées en distillerie de betteraves sont la rape à pousseurs et la rape centrifuge.

La rape à pousseurs se compose d'un tambour portant à sa surface externe des lames de scie, disposées suivant les génératrices du tambour et séparées par des lattes en bois. Le tambour est animé d'un mouvement de rotation rapide, voisin de 800 tours à la minute, et la betterave est appliquée contre les dents de scie au moyen d'un pousseur. Il y a ainsi deux, trois ou quatre pousseurs correspondant chacun à une fraction du tambour râpeur. Les betteraves, poussées par ces pousseurs, sont retenues contre le tambour par une plaque métallique qui empêche leur entraînement par le mouvement de rotation du cylindre.

La rape centrifuge (fig. 30) est constituée par un tambour fixe garni de lames dentelées maintenues par des latteaux laissant entre eux un vide suffisant pour le passage de la pulpe. A l'intérieur de ce tambour se meut à la vitesse de 800 tours environ, à un disque à trois bras, calé sur un arbre recevant la commande. Les betteraves pénètrent dans le tambour par un entonnoir et sont projetées par la force centrifuge sur la garniture dentelée. Une enveloppe en tôle entoure le tambour afin d'éviter les projections de la pulpe qui tombe dans le bac de rape situé au-dessous.

La rape à pousseurs a sur la rape centrifuge l'avantage de prendre moins de force, d'être moins sensible

aux corps étrangers, et de permettre facilement la réparation des lames de scie. Elle a l'inconvénient de ne pas fournir toujours une râpuration bien homogène; il reste parfois des morceaux de betteraves incomplètement râpés ou *semelles*, qui sont entraînés par le tambour. Aussi préfère-t-on ordinairement la râpe centrifuge qui donne une râpuration plus régulière et un rendement plus élevé.

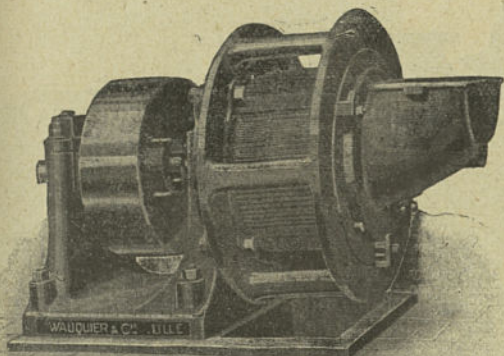


Fig. 30. — Râpe centrifuge (Wauquier et C^{ie}, constructeurs à Lille).

Malaxeurs. — Le bac de râpe est constitué par une bache en fonte; il est muni d'un couvercle et porte un agitateur qui mélange la râpuration avec l'eau acidulée qu'on fait arriver pendant l'opération. Il doit être de dimensions suffisantes pour que l'épuisement y soit facilité par les phénomènes de diffusion.

Les malaxeurs servent au délayage des pulpes déjà pressées, qui doivent subir une deuxième ou une troisième pression. Ils sont constitués par de longs bacs demi-cylindriques dans lesquels tourne

un arbre muni de palettes disposées en hélice. Cet arbre fait avancer lentement la pulpe d'un bout à l'autre du malaxeur. Les dimensions des malaxeurs ont une grande influence sur l'épuisement : avec des malaxeurs dont la longueur atteint 7 à 8 mètres, on peut employer un liquide plus chaud et favoriser beaucoup les phénomènes de diffusion et par suite l'épuisement de la pulpe. La nécessité d'avoir de longs

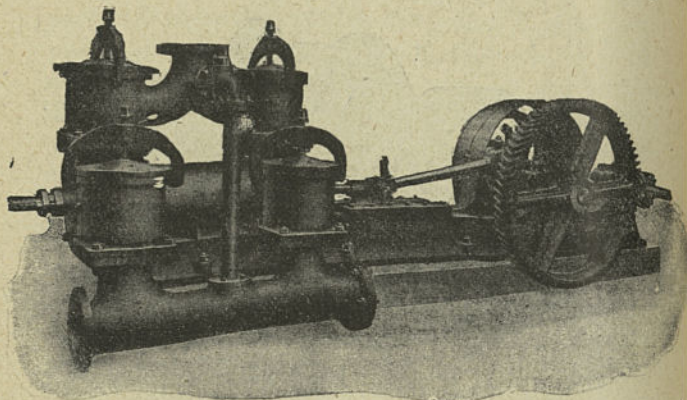


Fig. 31. — Pompe à pulpe, type Dujardin (Wauquier et C^{ie}, constructeurs à Lille).

malaxeurs se fait surtout sentir pour les usines qui doivent travailler des betteraves riches.

Pompes à pulpes. — La pompe à pulpes (fig. 31), type Dujardin, est une pompe à double ou quadruple effet dont les soupapes d'aspiration et de refoulement sont constituées par des boulets en bronze d'une visite très facile. Le corps de pompe est formé d'un cylindre en fonte doublé d'un tube en cuivre rouge dans lequel se déplace un piston en bronze avec garniture en caoutchouc. La commande est donnée par un double train d'engrenages, l'arbre du

pignon portant les poulies fixe et folle. Chaque pompe est munie d'une soupape de sûreté pour limiter la pression.

Presses continues. — Les presses hydrauliques

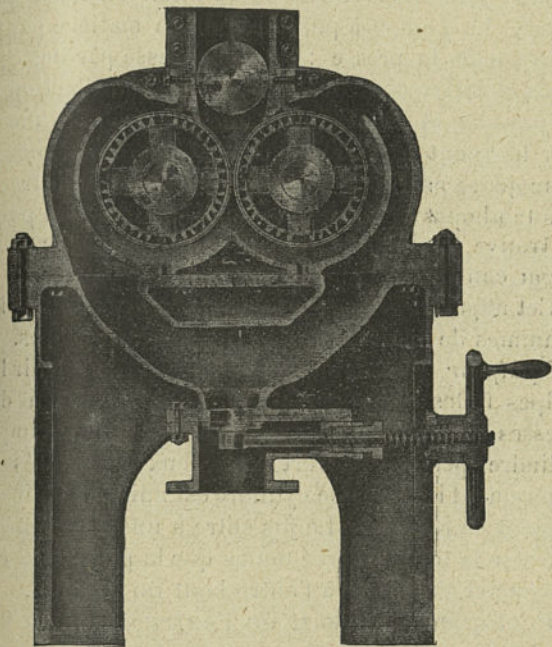


Fig. 32. — Coupe de la presse continue, type Dujardin (Wauquier et C^{ie}, constructeurs à Lille).

autrefois employées pour l'extraction du jus ont aujourd'hui disparu et on utilise maintenant les presses continues.

La presse continue, type Dujardin (fig. 32), se compose de deux rouleaux ou cylindres creux en bronze, cannelés et recouverts d'une surface filtrante formée de tôles en cuivre de 2 millimètres d'épais-

seur, percés de petits trous évasés vers l'intérieur. Des panneaux en fonte entourent ces cylindres qu'une commande par vis sans fin et engrenage anime d'un mouvement de rotation en sens contraire. La pompe à pulpe refoule la matière par un tuyau dans la presse : la pulpe passe par des conduits et arrive contre les tambours. Sous l'action de la pression et du laminage entre les deux cylindres qui tournent à quelques millimètres d'écartement, la majeure partie du jus traverse la surface filtrante des tambours et s'écoule hors de la presse. La pulpe se trouve finalement comprimée et s'échappe d'une façon continue à la partie supérieure.

Cet appareil permet de traiter 40.000 à 50.000 kilogrammes de betteraves par vingt-quatre heures.

Épulpeur. — L'épulpeur a pour but de retenir les pulpes folles entraînées par les jus qui sortent des presses. Il se compose en général d'un simple cylindre perforé, ouvert aux deux extrémités et légèrement incliné. Ce cylindre est animé d'un mouvement de rotation. Le jus entre à une extrémité et traverse la tôle perforée tandis que la pulpe folle est retenue et s'échappe à l'autre bout du cylindre.

Pratique du travail de l'extraction des jus de betteraves par râpage, malaxages et pressurages. — L'extraction du jus de betteraves par râpage et pressurages comprend les opérations suivantes : le râpage de la betterave, l'acidification, les pressurages et malaxages et l'épulpage.

a) *Râpage.* — Les betteraves lavées et épierrées arrivent d'abord soit à la râpe à pousseurs, soit à la râpe centrifuge qui les transforment en râpure. L'état de la râpure a une grande influence sur la facilité des pressurages et sur le degré d'épuisement.

Pour avoir un épuisement excellent, il serait nécessaire d'avoir une râpure aussi fine que possible, mais une pulpe trop fine se presse difficilement. Il faut donc recourir à une pulpe moyenne, assez fine pour permettre un bon épuisement, sans cependant former une bouillie, ce qui amènerait des difficultés dans les pressurages. La pulpe ne doit pas contenir de semelles non râpées dont l'épuisement dans les opérations ultérieures resterait forcément imparfait.

b) *Acidification*. — La râpure ainsi obtenue est très pâteuse et contient de grandes quantités de bulles d'air en suspension. Pour favoriser la diffusion et pour pouvoir pomper la matière, on la dilue avec de petits jus provenant de la deuxième pression des pulpes qu'on fait arriver soit sur la râpe, soit dans le bac de râpe. L'acidification par l'acide sulfurique se fait également dans le bac de râpe, en ajoutant la quantité voulue d'acide sulfurique étendu. La masse est malaxée intimement par l'agitateur du bac de râpe. Elle est alors aspirée par la pompe à pulpes qui la refoule dans les presses continues de première pression.

c) *Pressurages et malaxages*. — La pulpe refoulée par la pompe passe entre les cylindres des presses continues : le jus s'écoule à travers les tambours perforés, et se rend à l'épulpeur. La pulpe pressée qui s'échappe retient encore 4 à 6 p. 100 de sucre; il est nécessaire, pour l'épuiser plus complètement, de lui faire subir une seconde pression. A cet effet, la pulpe de première pression est envoyée dans des malaxeurs où elle est délayée avec de l'eau ou de la vinasse chaude. Il serait avantageux d'opérer à une haute température pour faciliter la diffusion du sucre et éviter les fermentations secondaires, mais

quand la température des pulpes envoyées à la deuxième pression est trop élevée, les presses crachent et leur fonctionnement laisse à désirer. Il est donc préférable d'avoir dans le malaxeur une température de 60 à 70 degrés. Après malaxage, la pulpe est aspirée à l'extrémité du bac par une pompe et envoyée dans des presses de deuxième pression analogues aux premières. On obtient ainsi d'une part la pulpe épuisée et d'autre part des petits jus qui servent en grande partie, sinon en totalité, à diluer la râpure qui va subir la première pression. Le reste des petits jus est joint, s'il y a lieu, aux jus de première pression. Les pulpes obtenues ne renferment plus que 75 à 80 p. 100 d'eau et on en obtient de 25 à 33 p. 100 du poids de la betterave.

L'interposition, entre la pompe à pulpe et les presses de première pression, d'un macérateur extracteur de jus, permet un épuisement plus parfait. Dans le macérateur extracteur Dujardin-Cuvelier, construit par la maison Wauquier à Lille, la râpure refoulée par la pompe pénètre d'abord dans un extracteur en forme de disque vertical et constitué de deux parties sur lesquelles reposent des tôles filtrantes en laiton. Le jus passe à travers ces tôles et va à l'épülpeur; la pulpe passe dans un cylindre vertical où elle est additionnée d'eau chaude ou de petits jus et malaxée intimement par un arbre muni de palettes. Elle sort finalement par la tubulure supérieure de l'appareil et va aux presses de première pression. On facilite ainsi beaucoup le travail des presses, et on peut en outre utiliser tous les petits jus à la râpe.

Pour épuiser plus complètement encore la pulpe on la soumet, dans un assez grand nombre d'usines,

à une troisième pression. Dans ce cas, les jus de première pression sont envoyés en fermentation, ceux de deuxième pression vont diluer la râpüre, ceux de troisième pression servent à diluer la pulpe obtenue après la première pression, et la pulpe de deuxième pression est malaxée avec de l'eau ou de la vinasse. On obtient ainsi un très bon épüisement, mais le système est assez compliqué; en outre le rendement en pulpe est souvent mauvais et peut absorber le bénéfice de l'épüisement meilleur par rapport à la double pression.

Quand on travaille par double pression, la pulpe contient encore de 1,5 à 3 p. 100 de sucre, suivant la perfection du travail.

La quantité de pulpe produite représente environ 33 p. 100 du poids des betteraves : la perte en sucre est donc de 0 kg. 5 à 1 kilogramme pour 100 kilogrammes de betteraves.

Le chiffre le plus bas correspond aux usines qui ont des malaxeurs de grandes dimensions, et qui utilisent le macérateur extracteur de jus.

Avec le travail par triple pression, on peut arriver à ne laisser que 0,80 p. 100 de sucre dans la pulpe, ce qui correspond à une perte de sucre de 0 kgr. 20 par 100 kilogrammes de betteraves.

L'épüisement est donc voisin de celui qu'on obtient par diffusion.

Épulpage. — Les jus qui sortent des presses continues contiennent une assez forte proportion de pulpe folle qu'on doit retenir, car elle fait mousser les moûts et salit les colonnes à distiller.

Cette séparation des pulpes folles s'effectue par un simple passage du jus à travers l'épulpeur que nous avons décrit précédemment.

La pulpe folle recueillie retourne au bac de râpe.

Les jus qui s'écoulent des presses de première pression sont seuls envoyés à la fermentation; on y joint cependant, s'il y a lieu, les petits jus qui ne sont pas rentrés au bac de râpe dans le travail.

2° Diffusion continue de pulpe râpée système A. G. et R. Collette, de Seclin (Nord). -- Cette méthode a pour but l'extraction complète du jus de betteraves par lavage méthodique de la pulpe pressée, comme la diffusion habituelle lave les cossettes, tout en conservant à la pulpe la forme mieux conservable et plus condensée de pulpe de presses continues.

Ce lavage méthodique est réalisé dans une série de simples bacs juxtaposés (fig. 33).

Les betteraves passent d'abord à la râpe et la râpure obtenue est délayée dans le jus fort qui vient des diffuseurs.

La masse, reprise par une pompe, est envoyée dans un tamiseur qui sépare la majeure partie de la pulpe.

Le jus, qui renferme encore des pulpes fines, passe dans un deuxième tamiseur plus fin ou épulpeur qui enlève cette fine pulpe et on obtient ainsi d'une part un jus riche qui va à la fermentation et d'autre part la pulpe séparée par le tamiseur et l'épulpeur.

Cette pulpe va subir maintenant la diffusion méthodique dans les bacs diffuseurs.

Elle tombe dans le premier diffuseur, à gauche par exemple, et parcourt successivement tous les bacs diffuseurs en s'épuisant au contact du jus qui circule en sens inverse. Elle arrive épuisée au dernier diffuseur de droite; elle est alors séparée, envoyée

par une pompe aux presses continues et livrée aux cultivateurs.

Les petites eaux du pressurage de cette pulpe, additionnées d'eau chaude et de vinasses, constituent le liquide diffuseur qui va circuler de droite à gauche, de bac en bac, en sens inverse de la pulpe et

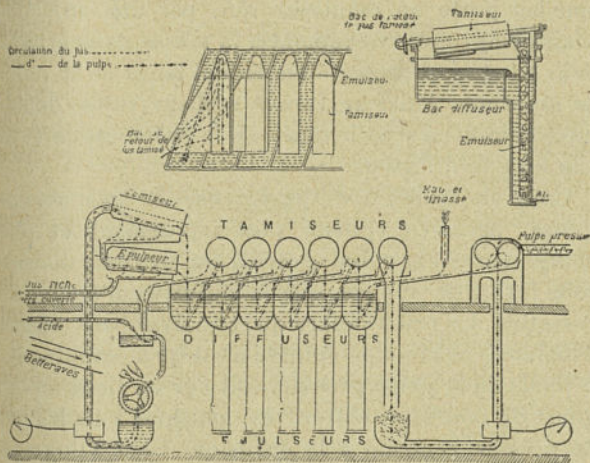


Fig. 33. — Plan et coupes schématiques des appareils à diffusion continue de pulpe râpée, système Collette.

en s'enrichissant en sucre. Il se rend finalement dans le bac de râpe où il dilue la râpüre et s'enrichit encore au contact de la pulpe fraîche. Il est alors séparé par le tamiseur et l'épulpeur sous la forme de jus riche qui va à la fermentation.

Les diffuseurs sont de simples bacs juxtaposés : ils sont ordinairement au nombre de douze.

Au-dessus de chaque bac se trouve un tamiseur épulpeur animé d'un mouvement de rotation et destiné à séparer le jus et la pulpe.

Le jus, grâce à des plans inclinés placés sous l'épulpeur, va tomber dans le bac voisin de gauche, où se trouve de la pulpe plus riche ; la pulpe, au contraire, vient tomber dans le bac voisin de droite où se trouve du jus plus pauvre. Pour élever le mélange de pulpe et de jus dans le tamiseur, chaque bac porte un émulseur qui, par une injection d'air comprimé, fait remonter la masse dans le tamiseur situé au-dessus et dans lequel le jus et la pulpe se séparent. Ainsi se trouve réalisée cette double circulation, en sens inverse, de la pulpe râpée et de son liquide diffuseur.

Cette méthode, très ingénieuse et très avantageuse, permet d'épuiser plus rapidement et plus complètement la pulpe, grâce à son extrême division sous forme de râpure, que la diffusion n'épuise les cossettes. Le peu de sucre que l'analyse peut encore déceler dans la pulpe épuisée n'est qu'à compter sur le poids de la pulpe pressée, soit sur un tiers ou un quart du poids des betteraves, puisque tous les jus de presses rentrent à la diffusion. Cent kilogrammes de betteraves, contenant 14 kilogrammes de sucre, donnent à la sortie des presses environ 33 kilogrammes de pulpes contenant 0,30 p. 100 de sucre, soit 0 kgr. 100 de sucre. La perte totale est donc de 0, 71 p. 100 de sucre de la betterave, ou de 0 kgr. 100 par 100 kilogrammes de betteraves.

Nous avons vu qu'avec la diffusion, la perte dans les cossettes est environ de 0 kgr. 200 par 100 kilogrammes de betteraves ; à ce chiffre il faut ajouter environ 0 kgr. 10 perdus dans les petites eaux, de sorte que la perte totale est de 0 kgr. 300 par 100 kilogrammes de betteraves. Avec la méthode par double pression, nous avons vu que la perte varie de 0 kgr. 500

à 1 kilogramme, soit en moyenne 0 kgr. 750 par 100 kilogrammes de betteraves. Enfin avec la méthode par triple pression, on peut arriver à réduire la perte à 0 kgr. 200. Par conséquent, la méthode Collette est celle qui conduit à l'épuisement le plus parfait.

Comparaison des divers modes d'extraction du jus de betteraves.

Il résulte des chiffres qui précèdent qu'au point de vue de l'épuisement, la méthode la plus parfaite est la diffusion continue de pulpe râpée de MM. Collette, puis viennent successivement la méthode par râpage, malaxages et triple pression, la méthode par diffusion ordinaire, la macération et la méthode par râpage, malaxages et double pression.

Les méthodes de traitement de la pulpe râpée par malaxage et double ou triple pression sont encore employées dans quelques distilleries, dans lesquelles on conserve ce matériel ancien à cause des frais considérables qu'entraînerait la transformation radicale du mode d'extraction en adoptant les procédés de macération ou de diffusion à l'état de cossettes. Mais les distilleries nouvellement installées renoncent de plus en plus à ces méthodes et se montent aujourd'hui par macération ou diffusion en cossettes. L'extraction du jus par râpage, malaxages et pressurages présente en effet de gros inconvénients. L'épuisement en sucre n'est pas aussi complet, comme nous l'avons vu, qu'avec la diffusion en cossettes, à moins d'adopter le travail à trois pressions, compliqué et onéreux par le matériel qu'il exige, et conduisant souvent à un mauvais rendement en pulpe. Les jus

renferment toujours beaucoup de pulpes folles, malgré leur passage à travers l'épulpeur : ces pulpes gênent la fermentation, occasionnent des mousses et salissent les appareils. L'installation est compliquée, les frais d'entretien du matériel de presses sont élevés; ils sont d'autant plus coûteux que le matériel fonctionne dans une matière plus chaude et plus acide. Les distillateurs qui chauffent beaucoup pour bien épuiser estiment l'entretien d'une presse à 500 francs par an, et à 300 francs si le chauffage est moins énergique. Les presses occasionnent en outre une dépense considérable de force motrice et sont difficiles à maintenir propres. Les avantages de la méthode d'extraction par râpage, malaxages et pressurages sont les suivants : toute la betterave est utilisée, et il n'y a pas de rejet de radicelles (1 à 3 p. 100 du poids de la betterave) comme en diffusion; le travail est plus facile avec les betteraves gelées, les mélanges de betteraves riches et pauvres; la fermentation du jus est plus facile qu'en diffusion, car le jus est plus riche et plus chargé d'air; enfin la pulpe obtenue est beaucoup moins aqueuse que la pulpe de macération ou de diffusion; elle se transporte plus aisément, se conserve en silos tassés à l'abri de l'air; elle est très recherchée par les cultivateurs et se vend plus facilement et à un prix plus élevé.

La nouvelle méthode de MM. Collette, basée sur la diffusion de la pulpe râpée, présente tous les avantages de la méthode précédente, et en fait disparaître les principaux inconvénients. L'épuisement est excellent, meilleur même qu'en diffusion, l'installation est simple et peu coûteuse; les presses sont en grande partie supprimées et il reste à entretenir une seule pression, dont les appareils se détériorent peu,

car ils travaillent une matière qui n'est presque plus acide, et à une température peu élevée. Toute la pulpe est obtenue intégralement, sans être abîmée par les pressions et le chauffage excessif. Aussi les distilleries montées par râpage, malaxages et double ou triple pression ont-elles presque toutes transformé leur mode de travail en adoptant la diffusion continue de pulpe râpée de MM. Collette.

La macération méthodique et la diffusion de la betterave à l'état de cossettes présentent sur l'ancienne méthode par râpage, malaxages et pressurages de grands avantages. L'épuisement est meilleur qu'en double pression; on peut travailler facilement des betteraves riches; les jus sont propres et on peut les obtenir à plus haute densité. Les frais d'entretien du matériel sont faibles; la dépense en force et en main-d'œuvre est minime. Enfin les appareils sont faciles à maintenir en bon état de propreté. Par contre, la diffusion présente quelques inconvénients: la pulpe est plus aqueuse, se conserve mal et s'altère en silo; la fermentation des jus est moins facile; enfin les petites eaux et jus de presses forment un volume encombrant dont il faut se débarrasser par épandage ou par un traitement d'épuration quelconque.

Ammann a comparé les résultats obtenus, sous le rapport de l'épuisement, par la macération et par la diffusion dans plusieurs distilleries agricoles de betteraves. Il est arrivé aux résultats suivants :

	Sucre p. 100 des cossettes.	Sucre p. 100 de la pulpe.	Sucre extrait p. 100 du sucre total mis en œuvre.
Diffusion. . .	10,42	0,60	96,54
	11,58	0,71	96,37
	13,68	0,22	99,04
	14,99	0,22	99,13
	15,19	0,39	98,48

	Sucre p. 100 des cossettes.	Sucre p. 100 de la pulpe.	Sucre extrait p. 100 du sucre total mis en œuvre.
Macération.	15,71	0,37	98,56
	14,34	0,41	98,32
	14,54	0,20	99,17
	13,76	0,20	99,12
	16,80	0,197	99,28

La macération bien conduite donne donc des résultats égaux à ceux de la diffusion, mais le résultat est obtenu plus rapidement avec la diffusion et avec une quantité de liquide moindre. La macération reste l'installation indiquée pour une petite usine, avec personnel peu exercé.

M. Arachequesne, qui a comparé au point de vue de la dépense en charbon la macération, la diffusion à la vinasse et petits jus et la diffusion à la vinasse et eau froide, est arrivé aux résultats suivants par tonne de betteraves, d'après Bücheler et Légier :

Modes de travail.	Dépense de la batterie en kg. de vapeur.	Dépense de la colonne en kg. de vapeur.	Dépense totale en kg. de vapeur.	Dépense totale en kg. de charbon.
Macération ou diffusion				
Boullenger.	110,0	190,0	300,0	42,9
Diffusion à la vinasse				
70° et petits jus . . .	39,2	117,0	155,2	22,3
Diffusion à la vinasse				
et eau froide.	92,0	70,4	162,4	23,2

On voit que la diffusion, soit avec la vinasse et les petits jus, soit avec la vinasse et l'eau froide, présente sur la macération un avantage d'environ 20 kilogrammes de charbon par tonne de betteraves. Les deux modes de travail par diffusion sont sensiblement égaux : la diffusion à la vinasse avec petits jus, qui est plus simple et qui exige moins d'eau, est surtout applicable aux distilleries agricoles ; la diffusion à la vinasse et à l'eau convient aux grandes installations.

II. — PRÉPARATION DES MOUTS DE MÉLASSES DE BETTERAVES ET DE CANNES

Moūts de mélasses de betteraves.

Les mélasses qui arrivent à l'usine sont d'abord vidées dans des réservoirs constitués par des citernes soigneusement cimentées dans le sol. Ces citernes doivent être couvertes pour garantir la mélasse contre la pluie. La mélasse est alors envoyée dans des réservoirs en tôle au moyen d'une pompe à chaînes.

Principes théoriques sur lesquels reposent les méthodes de préparation des moūts de mélasses. — Les mélasses ont presque toujours une réaction nettement alcaline. Cette réaction est due à la présence de carbonates alcalins, qui se forment au moment du traitement des jus par la chaux et l'acide carbonique en sucrerie pour leur épuration. La chaux déplace de leurs combinaisons la potasse et la soude en précipitant les acides auxquels elles sont combinées, et, au moment de la carbonatation, ces alcalis se combinent à l'acide carbonique pour former les carbonates. Cette réaction alcaline est défavorable à la levure; il est donc nécessaire de neutraliser la mélasse.

En outre, les mélasses contiennent un grand nombre de sels organiques, formés par la combinaison de la potasse, de la soude et de la chaux avec des acides gras volatils, tels que les acides formique, acétique, butyrique, propionique, valérianique ou avec des acides organiques fixes, tels que les acides tartrique, citrique, malique, etc. Les acides gras

volatils sont facilement mis en liberté par les acides plus énergiques : ils sont nuisibles pour la fermentation alcoolique. Au contraire, les acides tartrique, malique, citrique, lactique, etc., favorisent la marche de la levure à dose convenable.

Les mélasses contiennent enfin des nitrites provenant de la réduction des nitrates dans les fermentations ou réactions qui se passent dans le travail de la sucrerie, et des sulfites provenant du traitement des jus par l'acide sulfureux.

Quand on ajoute à la mélasse de l'acide sulfurique étendu, cet acide se porte d'abord sur les alcalis et neutralise l'alcalinité, puis il met en liberté les acides gras volatils et décompose les nitrites et les sulfites en donnant du bioxyde d'azote et de l'acide sulfureux. Si la dose d'acide sulfurique ajouté est suffisante, les acides organiques fixes sont déplacés à leur tour, et l'excès d'acide sulfurique reste ensuite, s'il y a lieu, à l'état libre. Si on porte à l'ébullition un moût ainsi acidifié, l'acide sulfureux et le bioxyde d'azote provenant des sulfites et des nitrites sont éliminés, ainsi que les acides gras volatils qui s'en vont partiellement par distillation. La masse se trouve en outre stérilisée. Enfin il se produit une légère interversion du saccharose sous l'action des acides organiques mis en liberté par l'acide sulfurique. Mais cette interversion est faible et elle s'achève seulement en cuve de fermentation sous l'action de la sucrase sécrétée par la levure.

Jusqu'à ces dernières années, on a utilisé pour la préparation des moûts de mélasse une méthode basée sur le principe suivant. Pour protéger le moût contre les fermentations secondaires, et favoriser le développement de la levure, on acidifie la mélasse

par l'acide sulfurique, on porte à l'ébullition pour éliminer les acides volatils nuisibles et décomposer les nitrites et les sulfites, tout en stérilisant la masse, et on donne au mout une acidité finale qui était autrefois de 2 grammes à 2 gr. 5 par litre, évaluée en acide sulfurique, mais qui a été abaissée aujourd'hui à 0 gr. 5-1 gramme par litre. Il est évidemment avantageux d'employer une dose d'acide sulfurique aussi faible que possible, tout en effectuant les réactions indiquées plus haut. L'acide sulfurique, en mettant en liberté les acides organiques fixes, transforme en effet les sels organiques en sulfates, et il en résulte une diminution dans la valeur des salins qui proviennent de la calcination des vinasses. La valeur de ces salins dépend surtout de leur richesse en carbonate de potasse; et ce sel se forme précisément par décomposition des sels organiques sous l'action de la chaleur. Il importe donc de déplacer le moins possible ces acides organiques. L'acidité obtenue par addition d'acide sulfurique est donc une acidité organique due aux acides déplacés et non pas une acidité minérale libre. Il est facile de voir d'ailleurs que pour avoir une acidité sulfurique libre, il faudrait ajouter une quantité d'acide sulfurique beaucoup plus considérable, puisque la mélasse renferme de 9 à 13 p. 100 de cendres, dont les quatre cinquièmes au moins proviennent des sels organiques, comme nous l'avons vu en étudiant la composition chimique de la mélasse.

On tend aujourd'hui de plus en plus à simplifier beaucoup ce mode de travail en supprimant le chauffage et en se bornant à diluer au degré voulu la mélasse préalablement neutralisée ou légèrement acidifiée. Nous verrons plus loin comment les pro-

grès réalisés dans la préparation des levains et dans le mode de fermentation ont pu rendre possible cette méthode très simple de préparation des moûts.

Appareils employés pour la préparation des moûts de mélasses. — Les appareils employés pour la préparation des moûts de mélasses sont très simples. Si on opère par chauffage, on fait l'acidification et le chauffage dans un grand bac, appelé *dénitreur*, muni d'un chauffage par serpentin ou barboteur. On y adjoint un tuyau perforé pour l'injection d'air comprimé, ou bien on emploie un injecteur souffleur à vapeur qui agit à la fois par barbotage de vapeur et par injection d'air. A la partie supérieure se trouve une hotte destinée à entraîner les gaz et les vapeurs qui se dégagent au moment du chauffage.

M. Barbet a imaginé un dénitreur continu pour les moûts de mélasses. Il se compose d'un dénitreur entièrement en cuivre, de forme un peu élevée, et divisé sur sa hauteur par quelques cloisons transversales qui forcent la mélasse entrant par le haut à faire un certain circuit avant de gagner le tuyau de sortie placé à la partie inférieure et relevé en col de cygne. La mélasse diluée traverse d'abord les tubes d'un récupérateur tubulaire où elle s'échauffe en refroidissant la mélasse chaude sortant du dénitreur et qui vient circuler autour des tubes. Cet appareil, qui réduit beaucoup la dépense en combustible, a été perfectionné par la suite. Le dénitreur est devenu une véritable colonne distillatoire méthodique permettant d'expulser le gaz sulfureux. En outre, l'appareil est disposé de façon à éliminer les précipités de sulfite et de sulfate de chaux, en vue de l'évaporation ultérieure des vinasses à triple effet.

Pour la dilution de la mélasse, on utilise de simples cuves de mélange munies souvent d'agitateurs mécaniques. La figure 34 représente une installation de distillerie de mélasses faite par la maison Crépelle-Fontaine.

Pratique du travail dans la préparation du moût de mélasses avec chauffage. —

Cette méthode comprend deux opérations : a) la dilution de la mélasse et l'acidification; b) le chauffage ou *dénitrage*.

a) *Dilution et acidification de la mélasse.* — La mélasse doit d'abord être diluée avec de l'eau pour éviter la décomposition qui se produirait aux dépens du sucre avec la mélasse concentrée, au moment des opérations de l'acidification et du chauffage. Cette dilution peut se faire soit dans un bac mélangeur spécial muni d'un agitateur mécanique, soit dans le bac dénitreur. On y place de l'eau en quantité suffisante pour obtenir, après l'addition de mélasse, une densité de 25 degrés Baumé en moyenne. On y ajoute l'acide sulfurique en proportion voulue. La dose d'acide se calcule d'après l'alcalinité de la mélasse et d'après l'acidité qu'on veut avoir après le traitement préliminaire et après dilution à la densité adoptée pour le chargement des cuves, acidité généralement comprise entre 0 gr. 5 et 1 gramme par litre, évaluée en acide sulfurique. On doit également tenir compte de l'acide apporté par le levain dans la cuve de fermentation si l'on emploie des levains lactiques. La quantité d'acide sulfurique à ajouter doit donc être déterminée par un essai préalable.

b) *Chauffage ou dénitrage.* — On porte à l'ébullition, dans le bac dénitreur, la masse ainsi diluée et

acidifiée. L'ébullition doit durer en moyenne quinze minutes, mais avec certaines mélasses on doit faire bouillir un peu plus longtemps. Il est bon de faire fonctionner pendant toute l'opération un courant d'air qui entraîne les acides volatils, l'acide sulfureux et le bioxyde d'azote dans la hotte qui surmonte le bac.

La mélasse ainsi acidifiée et dénitree est alors refroidie à la température favorable à la fermentation alcoolique et amenée à la concentration voulue. Nous étudierons plus loin le refroidissement des moûts. La dilution se fait en ajoutant de l'eau de manière à obtenir finalement une densité de 1075 à 1105, suivant les modes de travail.

Pratique du travail de la préparation des moûts de mélasses sans chauffage. —

La méthode précédente est coûteuse, car elle exige de fortes dépenses de vapeur et d'acide. Depuis quelques années, on a abandonné cette méthode et beaucoup simplifié le travail en supprimant le dénitrage. On se contente de diluer la mélasse après l'avoir simplement neutralisée ou légèrement acidifiée. Souvent on y injecte de l'air comprimé de manière à la débarrasser en partie des gaz et des substances volatiles. On adopte ordinairement une acidité voisine de 0 gr. 5 à 0 gr. 8 par litre, évaluée en acide sulfurique; parfois on se borne même à neutraliser l'alcalinité. On peut arriver à ce résultat en employant des levains purs très actifs, ou en adoptant certaines méthodes de fermentation spéciales telles que celle d'Effront à l'acide fluorhydrique et à la colophane, que nous étudierons plus loin. Les fermentations secondaires sont ainsi beaucoup moins à craindre et il est inutile, dans ce cas,

de stériliser la masse et de l'acidifier fortement

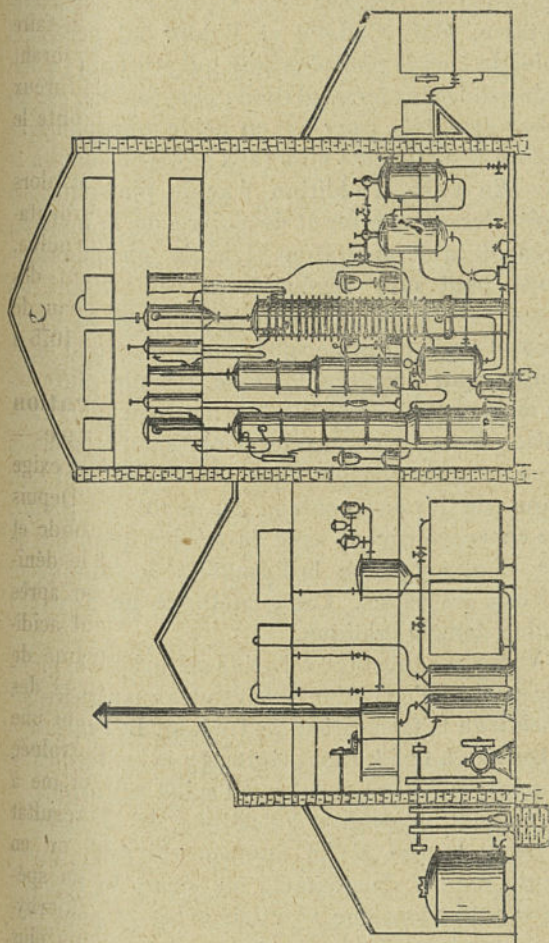


Fig. 34. — Vue d'ensemble d'une distillerie de mélasses de betteraves (Crépelle-Fontaine, constructeur à La Madeleine-lès-Lille).

pour la préserver des ferments nuisibles. On a proposé de substituer à l'acide sulfurique les acides

organiques fixes, tels que l'acide tartrique, afin d'augmenter la richesse des salins en carbonate de potasse, MM. Collette et Boidin ont préconisé l'emploi de l'acide phosphorique qui présente l'avantage de rendre les fermentations plus faciles, car les mélasses sont très pauvres en acide phosphorique qui est un des aliments minéraux indispensables à la levure. En outre, l'addition d'acide phosphorique précipite les sels de fer et de cuivre de la mélasse, qui gênent la fermentation. L'acide phosphorique employé peut être régénéré en neutralisant les vinasses par la chaux; le précipité qui se forme renferme l'acide phosphorique; on le sépare et on le décompose par l'acide sulfurique. L'acide phosphorique ainsi régénéré est utilisé de nouveau pour l'acidification des mélasses. La fermentation des mélasses traitées à l'acide phosphorique se fait aisément sans addition de levains coûteux au moût de grains, même en ensemençant avec de faibles quantités de levure, et on supprime la formation de sulfates qui déprécient les salins. Cette méthode ne s'est pas répandue dans la pratique.

M. Vasseux a substitué à l'acide sulfurique le bisulfate de soude, qu'on obtient en grandes quantités comme résidu de la fabrication de l'oléum. Les mélasses sont traitées à froid, sans dénitrage et les fermentations sont aussi bonnes qu'avec l'acide sulfurique.

De Cuyper neutralise l'alcalinité de la mélasse avec de la tourbe sèche finement divisée. Après quelques heures de contact, on sépare le liquide, qui présente alors une réaction acide et peut être envoyé directement à la fermentation.

On a aussi préconisé le traitement électrolytique des mélasses en vue de leur acidification pour la fer-

mentation. La mélasse diluée à 28 degrés Baumé et chauffé à 45 degrés, est traitée à l'anode dans des électrolyseurs où le bain de cathode est de l'eau ou de la vinasse; les sels sont décomposés; une partie des bases est enlevée à la mélasse qui devient acide. Cette méthode permet la suppression complète de l'acide et semble exercer en outre une action stérilisante sur la masse, de sorte que la fermentation ultérieure est très pure.

M. Rivière a proposé la précipitation de la potasse dans les moûts de mélasses au moyen de l'acide hydrofluosilicique ou des fluosilicates solubles, en particulier celui de zinc. Cette précipitation permet une réduction notable des volumes des liquides à traiter, car on peut fermenter couramment à 12° Baumé et au delà. Les moûts de mélasses à 14° B. sont ramenés à 12° B. par le dépotassage, et l'acidité obtenue par le déplacement des divers acides par l'acide hydro-fluosilicique est si forte qu'on est parfois obligé de la neutraliser partiellement. Le mélange des fluosilicates potassique et sodique peut être traité par le bisulfate de sodium pour régénérer l'acide hydrofluosilicique. On peut aussi, après l'avoir façonné en briquettes, le décomposer par la vapeur d'eau surchauffée.

La rentrée d'une certaine quantité de vinasses dans le travail de préparation des moûts peut se faire quand on emploie des levains très actifs, comme nous le verrons en étudiant la fermentation des moûts de mélasses. Les vinasses sont alors plus concentrées et l'évaporation demande moins de charbon.

Moûts de mélasses de cannes.

La mélasse de cannes peut servir à la fabrication de plusieurs sortes d'alcools. On fait parfois des alcools neutres, souvent du rhum d'exportation et souvent aussi un tafia très coloré qui sert à couper les alcools d'industrie et à produire ainsi des rhums de consommation courante en Europe.

Nous empruntons à M. Pairault, qui a très soigneusement étudié aux Antilles la fabrication du rhum et dont le nom fait autorité en la matière, les renseignements suivants sur la préparation des moûts de mélasses de cannes (1). La mélasse est d'abord déversée dans des fosses en maçonnerie, pour être envoyée ensuite, au moyen de pompes, dans des bacs en tôle situés à quelques mètres de hauteur, qui servent à distribuer la mélasse dans la rhummerie. Le moût se prépare le plus souvent en diluant la mélasse avec de l'eau et des vinasses. L'emploi de la vinasse est indispensable aux Antilles pour produire les rhums d'exportation à fort arôme recherchés en Europe pour les coupages. Aussi en utilise-t-on jusqu'à 70 p. 100 en volume. Ces vinasses sont très fortement colorées en brun, leur densité varie de 6 à 7 degrés Baumé; elles renferment 10 à 12 p. 100 d'extrait, 3 p. 100 de cendres et leur acidité, très élevée, atteint 10 à 14 grammes d'acide sulfurique par litre. On y trouve enfin des matières azotées en proportions qui varient de 4 grammes à 9 grammes par litre, des sucres réducteurs qui ont échappé à la fermentation alcoolique,

(1) PAIRAULT, *Le rhum et sa fabrication*, 1903.

et les sucres non fermentescibles de la mélasse de cannes, notamment le glucose. Cette vinasse, sortant des appareils à distiller, est reçue le plus souvent dans des grands bacs en maçonnerie où elle se refroidit en s'étalant sur une large surface.

Dans les rhummeries de la Martinique, qui toutes ont disparu dans la terrible catastrophe de Saint-Pierre en mai 1902, la préparation du moût s'effectuait dans une fosse en maçonnerie cimentée, appelée fosse à composition, dans laquelle on mélangait la mélasse, l'eau et la vinasse dans les proportions suivantes : Mélasse, 10 à 15 litres, eau, 20 à 35 litres; vinasse, 70 à 50 litres. La densité de la composition ne dépassait pas 11 degrés Baumé, et le chiffre adopté était ordinairement de 9 à 9°5. Ce liquide était envoyé à la fermentation. A la Jamaïque, la composition est la suivante : mélasse, 100 litres; vinasse, 400 litres; eau de lavage des appareils, 250 litres; eau, 250 litres. A Haïti, on utilise 12 litres de mélasse pour 55 litres d'eau et 33 litres de vinasse. A la Trinidad, aux Guyanes anglaise et hollandaise, à l'île Maurice, la préparation des moûts se fait sans addition de vinasse, en étendant simplement la mélasse dans la proportion de 1 litre de mélasse pour 6 litres d'eau. Il en est de même à la Réunion, où on ajoute cependant parfois un peu de vinasse, sans dépasser la proportion de 30 à 35 p. 100.

Beaucoup de distilleries ajoutent un peu d'acide sulfurique et de sulfate d'ammoniaque. L'acide sulfurique à la dose de 200 à 250 grammes par 1.000 litres de composition, agit comme antiseptique en gênant le développement des bactéries; mais son emploi ne paraît pas utile quand la composition contient de la

vinasse. Le sulfate d'ammoniaque, employé souvent à dose exagérée, sert à l'alimentation azotée de la levure : une dose de 150 à 200 grammes par 1.000 litres suffit largement.

M. Pairault fait suivre ces indications d'excellents conseils que les fabricants de rhum auront grand avantage à suivre pour la préparation de leurs moûts.

« Il est nécessaire de prendre plus de soin de la matière première, de n'employer, pour recevoir la mélasse, que des fûts parfaitement nettoyés, des qu'ils sont vides, à l'eau chaude, puis à la vapeur, et bien séchés avant l'emploi. Les fûts pleins qui arrivent à la rhumerie doivent être transportés sur un dépotoir facilement nettoyable, d'où leur contenu sera amené dans une citerne couverte. Les bacs à mélasses doivent être également couverts pour les mettre à l'abri des poussières. La fosse à composition doit être cimentée, le fond établi en pente vers l'un de ses angles dans lequel vient aboutir le tuyau de la pompe à composition. Il importe en effet que la fosse soit bien entièrement vidée à chaque opération, et particulièrement qu'on ait le soin de ne pas y laisser séjourner de composition du soir au lendemain. Il est nécessaire que cette fosse soit au moins une fois par semaine lavée à fond avec la brosse et à grande eau, puis passée à l'eau de chaux. Enfin quand la vinasse sortant des chaudières se décante et se refroidit lentement dans les grands bassins en maçonnerie, elle devient le siège d'abondants développements de bactéries. Il serait fort utile de refroidir la vinasse au sortir de la chaudière au moyen de réfrigérants tubulaires et de l'envoyer dans des bassins de décantation moins

vastes où elle achèverait de se refroidir à 28-30°. On pourrait d'ailleurs se contenter de ne recueillir et refroidir que la quantité nécessaire pour un jour ou deux jours de fabrication ».

Les mélasses de cannes renferment parfois de grandes quantités d'acides volatils dus à une fermentation qui s'effectue pendant la conservation. Ces mélasses sont alors très chargées de microbes nuisibles et fermentent difficilement. M. Barbet conseille dans ce cas de leur faire subir un chauffage analogue au dénitrage pour enlever les acides volatils et opérer une stérilisation. Cette opération peut se faire sans acide sulfurique dans le dénitreur continu que nous avons décrit précédemment, en forçant le barbotage d'air, ou plus simplement avec l'acide sulfurique si le prix de cet acide n'est pas trop élevé dans le pays. Les moûts ainsi stérilisés entrent plus difficilement en fermentation spontanée, et il est nécessaire de les ensemercer par pied de cuve au début de la campagne.

III. — PRÉPARATION DES MOUTS DE TOPINAMBOURS

La préparation des moûts de topinambours peut se diviser, comme celle des moûts de betteraves, en deux phases : 1° les travaux préparatoires qui comprennent le transport et la conservation, le lavage et l'épierrage ; 2° l'extraction du jus.

1. TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Transport et conservation. — Les tubercules de topinambours, une fois arrachés, se conservent

très difficilement : au bout d'une semaine, ils commencent à s'altérer et pourrissent. Comme ils résistent parfaitement à la gelée quand on les laisse en terre, on peut ne procéder à la récolte et au transport à l'usine qu'au fur et à mesure des besoins, mais cette méthode n'est applicable que quand les périodes de gelée sont de courte durée et ne durcissent pas suffisamment la terre pour empêcher l'arrachage, c'est-à-dire principalement dans les pays du Centre, du Midi de la France et en Bretagne. Dans la région du Nord, la fabrication serait sans cesse arrêtée. M. le Dr Cathelineau conseille d'arracher les tubercules en les laissant enveloppés de terre et de les ensiler dans de petits silos, creusés à 30-40-centimètres de profondeur, dont le fond est garni de fagots, et portant de distance en distance des cheminées d'aération. On y dispose les tubercules en couches de 20 centimètres alternant avec des couches de terre de quelques centimètres, puis on recouvre de terre le silo sur les côtés. Dans ces conditions, les tubercules se conservent parfaitement.

Lavage et épierrage. — Le lavage du topinambour est rendu assez difficile par les aspérités que présentent les tubercules et les creux dans lesquels se logent la terre et les pierres. Cette opération doit donc être pratiquée avec plus de soin encore que pour la betterave : elle se fait dans des laveurs et épierrers analogues à ceux qui sont utilisés en distillerie de betteraves. On doit laver énergiquement, avec une grande quantité d'eau. Pour économiser l'eau, on peut envoyer les eaux boueuses dans des bassins de décantation d'où elles retournent au laveur.

2. EXTRACTION DU JUS

Comme pour la betterave, l'extraction du jus peut se faire de plusieurs manières : par râpage et pressurages, par macération ou par diffusion, par cuisson sous pression, etc.

Principes théoriques sur lesquels repose l'extraction du jus de topinambours. — Si nous nous reportons à la composition chimique du topinambour, nous constatons qu'il contient une certaine proportion d'inuline qui n'est pas directement fermentescible, mais qui peut être hydrolysée et fermenter ensuite. Cette inuline est très peu soluble dans l'eau froide et sa solubilité croît à mesure que la température s'élève. L'extraction du jus devra donc avoir lieu à chaud pour dissoudre cette matière alcoolisable : l'extraction à froid laisserait l'inuline dans les tubercules et le rendement en alcool serait fortement diminué. Le procédé par râpage et pressurage à froid n'est donc pas rationnel et ne peut conduire qu'à des résultats médiocres. Le râpage et le pressurage à chaud présentent de nombreuses difficultés. Les meilleures méthodes d'extraction du jus sont donc la macération et la diffusion.

Le jus de topinambours renferme un grand nombre d'hydrates de carbone qui ne sont pas directement fermentescibles, notamment l'inuline, la pseudoinuline, l'inulénine, etc. Certaines levures sécrètent bien des diastases capables de les hydrolyser et de les transformer en sucres fermentescibles, mais cette action est trop lente pour pouvoir être utilisée dans la pratique. Tous ces corps donnent, quand on les

chauffe avec un acide étendu, soit du lévulose, soit un mélange en proportions variables de glucose et de lévulose. Les jus devront donc subir cette saccharification par chauffage à l'ébullition en milieu acide, avant d'être envoyés à la cuve de fermentation.

Matériel employé pour l'extraction du jus de topinambours. — L'extraction par râpage et pressurages demande le même matériel qu'en distillerie de betteraves, c'est-à-dire la râpe centrifuge, les presses continues, les malaxeurs et l'épulpeur.

L'extraction par macération ou diffusion exige le découpage des topinambours en cossettes. On emploie ordinairement le coupe-racines centrifuge précédemment décrit. La macération doit se faire méthodiquement dans une batterie de macérateurs analogues à ceux qu'on emploie pour la betterave. Toutefois, comme la température doit être maintenue très élevée pour éviter la précipitation de l'inuline, il est nécessaire de munir les macérateurs d'injecteurs de vapeur ou de calorisateurs. La batterie de macérateurs ne diffère donc plus dans ce cas de la batterie de diffuseurs que par ce fait que dans la macération les vases sont ouverts, tandis qu'ils sont fermés dans la diffusion.

La diffusion à la vinasse s'opère dans les appareils employés pour la betterave.

La saccharification du jus s'effectue dans une grande cuve, munie d'un barboteur de vapeur, d'un serpentin de chauffage ou d'un injecteur souffleur d'air. Cette cuve porte parfois un serpentin réfrigérant où on peut faire circuler de l'eau froide pour refroidir le moût après saccharification. On doit installer deux ou trois cuves de manière à en avoir

une en remplissage, une en marche et une en vidange.

Les pulpes de topinambours peuvent se traiter comme les pulpes de betteraves dans des presses à cossettes du type Klusemann ou du type Bergreen.

Pratique du travail de l'extraction du jus de topinambours. — Les méthodes proposées pour l'extraction du jus de topinambours sont extrêmement nombreuses.

On peut utiliser le râpage et les presses continues, mais ce procédé n'est pas recommandable à cause de l'insolubilité de l'inuline à froid et des difficultés qu'on rencontre à presser à chaud. Aussi, cette méthode est-elle abandonnée en France.

La macération et la diffusion à la vinasse sont les procédés les plus recommandables. Les topinambours sont d'abord découpés en cossettes. Cette opération est rendue délicate par l'irrégularité de la forme des tubercules et par les pierres qui peuvent rester dans les parties creuses. Elle se fait ordinairement au coupe-racines centrifuge. La batterie de macérateurs fonctionne comme nous l'avons vu en distillerie de betteraves, mais la température doit être maintenue très élevée, à 85-90 degrés, dans tous les macérateurs, pour assurer la solubilisation de l'inuline. Le même mode de travail doit être adopté en diffusion.

On titre l'acidité du jus extrait sur le macérateur ou le diffuseur de tête, et on y ajoute la quantité d'acide sulfurique nécessaire pour avoir une acidité de 2 gr. 5 par litre évaluée en acide sulfurique, puis on envoie le jus à la cuve de saccharification où il est porté à l'ébullition pendant une heure. Quand on dispose d'un injecteur souffleur, il est bon de faire

passer dans la masse un courant d'air qui entraîne certains produits volatils à odeur désagréable. Il ne reste plus qu'à refroidir le jus à la température favorable pour la fermentation alcoolique, soit au moyen du serpentin réfrigérant placé dans la cuve de saccharification, soit par une des méthodes que nous étudierons plus loin.

On a recommandé également, pour la préparation des moûts de topinambours, la cuisson des tubercules sous pression sans acide. La cuisson sous pression hydrolyse l'inuline, mais les autres lévulosanes telles que l'inulénine, l'hélianthénine, sont incomplètement saccharifiées. On a également préconisé la cuisson des jus sous pression avec de petites quantités d'acide sulfurique étendu, le traitement des jus par l'acide sulfureux mélangé d'acide carbonique pour les épurer et les saccharifier. La méthode la plus simple et la plus rationnelle est encore l'extraction par macération ou mieux par diffusion, avec saccharification ultérieure des jus par l'acide sulfurique en cuve ouverte, ou en autoclave sous pression.

IV. — PRÉPARATION DES MOÛTS DE CANNES A SUCRE, DE FRUITS, DE MIELS ET DE MATIÈRES SUCRÉES DIVERSES

Moûts de cannes à sucre.

La canne à sucre sert à préparer le rhum de vesou, excellent produit à peu près inconnu en Europe et entièrement consommé sur place dans les pays de production. Le rhum de vesou a un parfum

beaucoup moins intense, mais beaucoup plus fin que le rhum de mélasses.

Les cannes à sucre doivent d'abord être broyées. Ce broyage s'effectue au moyen de moulins de types très variés. Le plus souvent, ils consistent en deux ou trois cylindres horizontaux mus par une roue hydraulique. Les cannes passent entre les cylindres, sont pressées, et le jus de cannes ou *vesou* s'écoule dans les cuves de fermentation. Certaines grandes rummeries emploient les moulins mus à la vapeur.

La canne pressée, ou *bagasse*, qui sort des cylindres contient encore une forte proportion de jus sucré, d'autant plus considérable que le moulin employé est plus rudimentaire. D'après M. Pairault, 1.000 kilogrammes de cannes ne donnent, dans les moulins ordinaires, que 600 kilogrammes de jus, et la bagasse obtenue peut contenir encore jusqu'à 10 p. 100 de sucre fermentescible total. Pour réduire cette perte, certains fabricants imbibent la bagasse avec de l'eau et la pressent une seconde fois au moulin.

La densité du vesou ainsi obtenu est variable avec la qualité de la canne et son état de maturité : elle est en moyenne de 9 à 10° Baumé. L'acidité du vesou est faible et sa richesse en sucre fermentescible total est d'environ 18 p. 100, d'après M. Pairault. Ce jus est additionné d'eau et de vinasse dans les proportions suivantes :

Vesou	800 litres, soit 66 p. 100.
Eau ou liquide de repression	200 — 17 —
Vinasse	200 — 17 —
	<hr/>
	1200 100

La densité du mélange est alors de 6 à 7° Baumé. Il se fait ordinairement dans la cuve de fermentation

elle-même, où on brasse la masse à la main au moyen d'une perche.

La vinasse de vesou qu'on emploie dans cette fabrication est beaucoup moins colorée et moins dense que la vinasse de mélasses. La densité est de 1007 à 1010, son acidité de 6 à 7 grammes par litre en acide sulfurique, son extrait sec de 30 à 40 grammes par litre, et elle ne renferme plus que des traces de sucre. Son rôle est d'apporter aux fermentations l'acidité nécessaire, en même temps qu'un peu de matières azotées et de matières minérales utiles à la levure, et de donner au produit un arôme plus accentué. Aussi ne l'emploie-t-on que pour les rhums ordinaires, et en quantité beaucoup plus faible qu'en rhumerie de mélasses. Souvent, pour la production du rhum fin, les distillateurs n'en emploient pas.

On utilise parfois aussi, pour la préparation des moûts de cannes, le *sirop batterie*, qui est du vesou déféqué à la chaux et concentré à consistance de sirop.

Moûts de fruits.

Les moûts de merises et cerises destinées à la fabrication du kirsch, de prunes pour la fabrication du quetsch, de groseilles, de myrtilles, de mûres, de framboises se préparent par les mêmes méthodes. On peut, soit fouler les fruits entiers et mettre en fermentation la masse pâteuse, soit extraire le jus sucré et le faire fermenter.

La première méthode est la plus employée. On procède à la cueillette quand les fruits sont parfaitement mûrs, puis on trie soigneusement ceux qui sont pourris pour ne conserver que ceux qui sont

tout à fait sains, et on enlève les queues qui donneraient aux produits trop d'âpreté. Les fruits sont alors placés dans des fûts ouverts à leur partie supérieure; on malaxe, et on abandonne la masse pâteuse à la fermentation. Dans les installations plus importantes, on foule les fruits au moyen de cylindres de bois, puis on ajoute un peu d'eau tiède pour rendre la masse moins pâteuse, on brasse et on abandonne à la fermentation. On doit éviter de briser les noyaux des merises ou des prunes, bien qu'un certain nombre de fabricants aient l'habitude d'en broyer quelques-uns. Les noyaux brisés donnent bien au liquide un arôme plus prononcé, mais qui n'a jamais la finesse de celui des produits qui ont été fabriqués sans écraser les noyaux.

La seconde méthode, beaucoup moins répandue, consiste à faire macérer les fruits dans l'eau et à les presser pour en extraire le jus.

Les moûts de fruits ainsi obtenus ont une densité variable de 1.040 et à 1.100 suivant l'état de maturité des fruits et leur richesse en sucre. L'acidité varie également beaucoup; elle est faible quand les fruits sont très mûrs, et élevée quand ils sont verts. Quand la densité dépasse 1.060, il est préférable de diluer la masse avec de l'eau pour faciliter la fermentation et éviter qu'il ne reste du sucre non fermenté. L'acidité la plus favorable correspond environ à 5 grammes par litre, évaluée en acide sulfurique. Si ce titre n'est pas atteint, il est bon de renforcer l'acidité par une légère addition d'acide tartrique.

Ces méthodes de préparation des moûts de fruits peuvent être utilisées pour les merises, les cerises, les prunes, les mûres, les myrtilles, les framboises, les groseilles, les figues, etc..

La préparation de l'alcool avec les dattes exige une dilution considérable du moût, le fruit étant très riche en sucre. La préparation de ce moût peut se faire soit en foulant les dattes avec de l'eau de manière à avoir finalement une densité de 1.060, soit en extrayant le jus au moyen de presses hydrauliques après dénoyautage et en amenant le jus à la densité voulue, soit enfin en malaxant les dattes et en arrosant ensuite la pulpe avec de l'eau dans une cuve munie d'un faux fond perforé, qui laisse passer le moût sucré qu'on envoie à la fermentation.

Moûts de pommes.

La distillerie de pommes est devenue aujourd'hui industrielle dans certaines usines qui sont agencées pour produire de l'alcool rectifié aux dépens de cette matière première. Il ne s'agit pas, dans ce cas, de la fabrication d'eaux-de-vie de cidre, bien que ces distilleries soient susceptibles d'en produire, mais d'une véritable fabrication industrielle d'alcool.

La préparation des moûts de pommes peut se faire par diffusion ou par pressurages.

Par diffusion, les pommes sont d'abord lavées, puis découpées en cossettes avec un coupe-pommes à couteaux plats, pour éviter de briser les fruits. La diffusion se fait d'après les principes que nous avons étudiés à propos du jus de betteraves, mais il faut toujours opérer au-dessous de 60 degrés, pour ne pas transformer les pommes en marmelade. L'emploi simultané d'une petite dose d'acide est très utile. On peut opérer, soit dans des diffuseurs ouverts, en bois, soit dans des diffuseurs clos.

Par pressurages, les pommes sont broyées soit

avec un broyeur à noix, soit avec un broyeur à cylindres, soit avec une râpe. La pulpe obtenue est alors soumise au pressurage et on emploie dans ce but, soit les pressoirs à vis, soit les presses hydrauliques.

Ce pressurage sépare le jus : le marc restant est alors mis à macérer avec de l'eau, puis on le presse une seconde fois. Un deuxième traitement à l'eau, suivi d'un troisième pressurage, permet d'arriver à un épuisement suffisant.

MM. Lindet et Kayser ont fait remarquer que la pauvreté des moûts de pommes en matières azotées et minérales ne réalise pas un milieu de culture favorable pour des fermentations industrielles rapides; la richesse n'est même pas encore suffisante quand on mélange les pommes avec des betteraves et la meilleure méthode pour avoir de bonnes fermentations consiste à additionner le jus de pommes de moût de grains préparé comme nous le verrons en étudiant la fermentation des mélasses.

M. Vasseux prétend cependant que le jus de pommes pures, extrait par la presse hydraulique, fermente complètement en quatre ou cinq jours. L'addition de phosphate d'ammoniaque ou de superphosphate et l'élimination préalable du tannin sont pourtant très recommandables.

Moûts de miel.

Les eaux-de-vie de miel proviennent de la distillation des produits fermentés à base de miel. On peut distiller, soit des hydromels à haut degré alcoolique, soit des vins de miel préparés spécialement pour la distillation et titrant seulement 7 à 8 degrés d'alcool. Il est avant tout nécessaire de

n'opérer que sur des liquides complètement fermentés. On obtient ainsi une eau-de-vie plus fine et un rendement plus considérable. La première précaution à prendre consiste donc à préparer un moût de miel qui puisse fermenter facilement et régulièrement. Il suffit, pour atteindre ce but, de suivre les principes que nous avons exposés dans un précédent ouvrage au sujet de la fabrication des hydromels (1). Il est donc indispensable d'additionner le moût d'une certaine quantité de matières nutritives pour la levure. L'emploi de maltopeptone, à la dose de 1 cc. 5 par litre de moût, est particulièrement recommandable pour la préparation des moûts dont la richesse en alcool, après la fermentation, ne doit pas dépasser 7 à 8 degrés. Il faut en outre donner au moût la concentration voulue, qui ne doit pas dépasser 6 à 8 degrés Baumé pour les moûts de miel préparés spécialement pour la distillation, et additionner le liquide de 250 grammes d'acide tartrique par hectolitre pour faciliter la fermentation alcoolique et gêner le développement des ferments de maladie. Il est bon d'enlever enfin, avant la mise en fermentation, la cire qui donnerait mauvais goût au produit. On peut arriver à ce résultat, soit en écumant la surface du moût, soit en tamisant ou en filtrant le liquide avant fermentation.

Moûts de matières sucrées diverses.

Les marrons d'Inde doivent être saccharifiés par l'eau acidulée à 5 p. 100 d'acide chlorhydrique pendant 30 minutes à 120 degrés (Kayser) ou par

(1) Voir E. BOULLANGER, *Brasserie, Hydromels*, Tome II (Encyclopédie agricole).

1 p. 100 d'acide sulfurique (Lindet). Le moût est alors partiellement neutralisé avant d'être envoyé à la fermentation.

Kayser a préparé des moûts sucrés, en vue de l'obtention de l'alcool, avec les laminaires, algues brunes ou Phéophycées, en traitant ces algues sèches par 6 fois leur poids d'eau acidulée à 7 p. 100 d'acide sulfurique pendant une demi-heure à 120 degrés, avec addition d'une faible quantité d'eau de tourail-lons.

Vasseux a réalisé le travail des figues en les traitant par diffusion à 80-85 degrés sans broyage préalable, pour éviter les obstructions. Bénavet indique cependant que les figues fraîches, écrasées, peuvent être traitées par macération en vue de l'extraction du jus, et que la même méthode par macération à 50-60 degrés pendant deux jours est applicable aux figues sèches.

Bamberger, Janke et Schluck préparent des moûts sucrés aux dépens des racines d'asphodèle, en les saccharifiant par ébullition avec de l'acide sulfurique à 0,25 p. 100.

D'après Delafond, le jus d'agaves, qui n'est pas fermentescible sans clarification préalable, peut le devenir aisément quand il est traité par un procédé spécial de clarification au moyen du courant électrique.

Les tiges de sorgho sucré, de maïs vert peuvent se travailler par écrasement suivi de pressurages; on peut également employer la macération ou la diffusion après découpage des tiges.

Le travail de la racine de chicorée se fait par cuisson à trois atmosphères pendant trois heures avec une petite quantité d'acide sulfurique.

Les figues de Barbarie peuvent être traitées par cuisson pendant vingt minutes, suivie d'un pressurage; on peut également piler les figues à froid et ajouter immédiatement à la pulpe 30 grammes de bisulfite de potasse par quintal et un levain de levure sélectionnée. Cette seconde méthode, employée en Italie, donne des rendements supérieurs à la première.

Les moûts de caroubes se préparent le plus souvent par macération. Les caroubes sont d'abord déchiquetées en parties fines au moyen d'un déchi-queteur à cylindre garni de couteaux; un tamiseur sépare les graines. La masse est alors introduite dans des macérateurs en bois, portant au fond un filtre destiné à retenir les petits fragments de caroubes. L'épuisement se fait à chaud, d'abord par coulage de jus faibles, acidifiés par l'acide sulfurique, puis de vinasses. Les fragments de caroubes se gonflent fortement pendant le travail et réduisent bientôt les espaces libres pour le passage du liquide, de sorte que l'épuisement dure très longtemps. Le jus renferme 18 à 20 p. 100 de sucre; il est alors aéré, sulfité, refroidi et envoyé à la fermentation.

V. — PRÉPARATION DES MOÛTS DE MATIÈRES AMYLACÉES

Les matières amylacées renferment, comme principal produit alcoolisable, de l'amidon, qui doit être au préalable transformé en sucre pour subir ensuite la fermentation alcoolique. La préparation des moûts aux dépens des matières amylacées est donc plus complexe qu'avec les matières sucrées, telles que la

betterave et la mélasse, puisqu'il est nécessaire d'effectuer une opération supplémentaire, celle de la saccharification de l'amidon.

Cette saccharification peut s'opérer de deux manières : par la diastase du malt ou par les acides. La seconde méthode n'est plus employée aujourd'hui que dans quelques cas spéciaux, et on utilise toujours soit la diastase du malt, soit comme nous le verrons plus loin, la diastase sécrétée par certaines mucédinées. La préparation du moût sucré doit donc, en général, être précédée de la fabrication du malt.

1. MALTAGE

Nous avons étudié en détail, dans notre ouvrage consacré à la brasserie, la préparation du malt. Nous y renverrons donc le lecteur et nous nous bornerons à indiquer brièvement ici les principes qui doivent guider le distillateur dans la fabrication de son malt, les modifications qu'on fait subir au mode de maltage utilisé en brasserie, et les diverses sortes de malts employés en distillerie.

Principes du maltage en distillerie. —

Le maltage a uniquement pour but, en distillerie, la production des diastases nécessaires au travail ultérieur des matières amylacées en cuve matière, et notamment la production de l'amylase qui doit saccharifier l'amidon et des diastases peptiques qui doivent dégrader les matières azotées et les rendre assimilables pour la levure. La question de la désagrégation du grain, capitale en brasserie au point de vue du rendement, a beaucoup moins d'importance en distillerie où la proportion de malt employé

ne dépasse guère 15 p. 100 du poids du grain mis en œuvre, tandis qu'en brasserie la majeure partie, sinon la totalité de la matière première, est constituée par le malt. En outre, la saccharification complémentaire ne peut exister en brasserie à cause de la cuisson du moût; tout l'amidon doit donc être transformé en cuve matière, ce qui exige une désagrégation parfaite du grain. En distillerie, la saccharification complémentaire qui se produit pendant la fermentation permet la transformation de l'amidon non saccharifié en cuve. Enfin le distillateur ne cherche pas à obtenir dans le malt l'arome particulier que demande le brasseur pour donner à la bière son cachet et son parfum.

La fabrication du malt est donc beaucoup plus simple en distillerie qu'en brasserie. Le but du distillateur doit être de produire avant tout le maximum de diastase, car plus le malt est diastasique, moins on doit en employer pour la saccharification des autres grains dont le prix est moins élevé. Il suffit donc de soumettre l'orge trempée à la germination pour produire les diastases utiles, et on supprime le plus souvent la phase du touraillage en utilisant le malt vert au lieu du malt sec, afin de ne pas détruire de diastase et de conserver au malt tout son pouvoir saccharifiant.

Les principes exposés en brasserie pour le trempage du grain sont également applicables à la distillerie. Il importe d'abord de ne mettre en œuvre qu'un grain parfaitement nettoyé. Le trempage a pour but de faire absorber au grain la quantité d'eau nécessaire pour le travail industriel de la germination. Cette opération effectuée, le grain est soumis à la germination pendant laquelle les diastases nécessaires se produi-

sent. Cette production de diastases doit être aussi forte que possible et la germination doit être conduite de manière à favoriser au maximum les sécrétions diastasiques. Pour arriver à ce résultat, il est nécessaire de germer lentement, à basse température, et pendant longtemps. On a cru d'abord que le pouvoir diastasiqne maximum d'un malt est atteint après sept à huit jours de germination, mais les expériences de Delbrück et de Hayduck ont montré que le pouvoir diastasiqne continue à croître quand on prolonge la germination froide jusqu'à dix-huit et vingt jours. La plumule atteint alors deux ou trois fois la longueur du grain, et ce malt, appelé *malt long*, possède un pouvoir saccharifiant beaucoup plus élevé que le malt court.

Effront a également montré combien le pouvoir saccharifiant et surtout le pouvoir liquéfiant du malt s'accroissent pendant la germination.

Durée de la germination en jours.	Pouvoir saccharifiant.	Pouvoir liquéfiant.
6	1,06	6,6
10	1,68	11,4
12	1,40	13,1
14	1,38	16,4
16	1,80	18,0
20	2,20	22,8
23	2,50	32,0
25	2,30	36,0
27	2,10	40,0
39	2,18	40,0

Dans ces résultats, le pouvoir saccharifiant est exprimé par la quantité de maltose formée par la diastase provenant de 1 gramme d'orge, et le pouvoir liquéfiant par le poids d'amidon liquéfié par l'amylase contenue dans 1 gramme d'orge.

Il est évident qu'un tel mode de germination amène des pertes plus considérables que celles qu'on observe avec une durée de sept à huit jours. D'après Hayduck, la perte atteint 17 p. 100 de la matière sèche, au lieu de 6 p. 100. Mais le pouvoir saccharifiant du malt long est à celui du malt court comme 100 est à 63. Si on rapporte ce pouvoir saccharifiant à l'orge initiale en tenant compte des pertes en substance sèche, on trouve que le rapport est encore de 90 à 63. Il en résulte une économie considérable de malt puisqu'il suffit du malt long provenant de 63 kilogrammes d'orge pour avoir le même pouvoir saccharifiant qu'avec le malt court provenant de 90 kilogrammes d'orge.

Puisque le but du maltage en distillerie est la production des diastases, il y a intérêt aussi bien au point de vue de la fabrication qu'au point de vue économique, à supprimer la phase du touraillage et à utiliser le malt vert au lieu du malt sec. Le malt vert possède en effet un pouvoir diastasique presque double de celui du malt sec, comme le montrent les chiffres suivants, dus à Kjeldahl :

	Matière sèche dans le malt.	Pouvoir diastasique relatif à la matière sèche.
Malt vert	56,5 p. 100	100,0
Malt séché à 50°	69,5 —	88,2
— à 60°	92,9 —	78,3
— à 70°	96,6 —	52,9

Ces différences dans le pouvoir diastasique du malt vert et du malt touraillé peuvent être encore plus considérables, ainsi qu'il résulte des expériences de Bungener et Fries :

	Pouvoir diastasique.
Malt vert	100
— touraillé à 85°	58
— — à 110°	20
— vert séché à 30°	85

En supprimant le touraillage, on évite donc en grande partie la destruction et l'affaiblissement des diastases.

L'emploi du malt vert présente cependant quelques inconvénients. Sa conservation est difficile à cause de la grande quantité d'eau qu'il contient et il doit être employé aussitôt après sa préparation. En outre, le maltage au germoir devient difficile en été, à cause de l'invasion des moisissures et des bactéries, et si on ne dispose pas de la germination pneumatique, on est obligé d'avoir recours au malt sec. Dans ce cas, la dessiccation du malt doit se faire à la plus basse température possible, afin de ne pas affaiblir les diastases. Si donc on a recours au traitement à la touraille pour effectuer cette dessiccation, il faudra chauffer très lentement et ne pas dépasser une température de 50°.

Enfin, l'utilisation du malt vert exige un broyage préalable qui a pour but de mettre à nu l'amidon du grain et de permettre la diffusion de la diastase dans le liquide à saccharifier. On utilise dans ce but des broyeurs spéciaux que nous étudierons plus loin.

Modes de maltage et appareils employés.

— Le maltage peut se faire, comme en brasserie, soit sur germoirs, soit dans les appareils pneumatiques. Le maltage pneumatique rend possible pendant toute l'année un travail régulier avec le malt vert; il est donc particulièrement avantageux pour les grandes usines qui peuvent supporter l'installa-

tion du matériel coûteux qu'il exige. On peut employer soit le maltage en cases; soit le maltage en tambours.

Le matériel utilisé en distillerie pour la préparation du malt est semblable à celui qu'on emploie en brasserie et que nous avons décrit en étudiant cette industrie. Les appareils de nettoyage, les cuves mouilloires sont les mêmes. La disposition des germoirs est identique, et on doit prendre les mêmes précautions pour leur établissement. On doit surtout veiller à leur donner les dimensions suffisantes pour qu'on ne soit pas obligé de malter trop vite et à haute température, ce qui diminue le pouvoir diastatique et augmente le développement des organismes nuisibles.

La température la plus favorable de l'air des germoirs est de 10 à 13°. Les tourailles doivent être construites de manière à permettre une dessiccation rapide du malt à basse température et sous forte ventilation : les tourailles à air chaud sont donc préférables aux tourailles à feu direct, dont le tirage est souvent insuffisant.

Le broyage du malt sec se fait au moyen de concasseurs analogues à ceux que nous avons étudiés en brasserie.

Pour le malt vert, on doit employer des broyeurs spéciaux à cause de la grande quantité d'eau qu'il contient. Les broyeurs de malt vert sont en général constitués par deux cylindres lisses en fonte, tournant en sens contraire avec des vitesses différentes. Le malt passe entre les deux cylindres et se trouve broyé et moulu en légers flocons très fins. Le broyage doit être uniforme si on veut obtenir un bon rendement et une bonne action de la diastase. Pour dis-

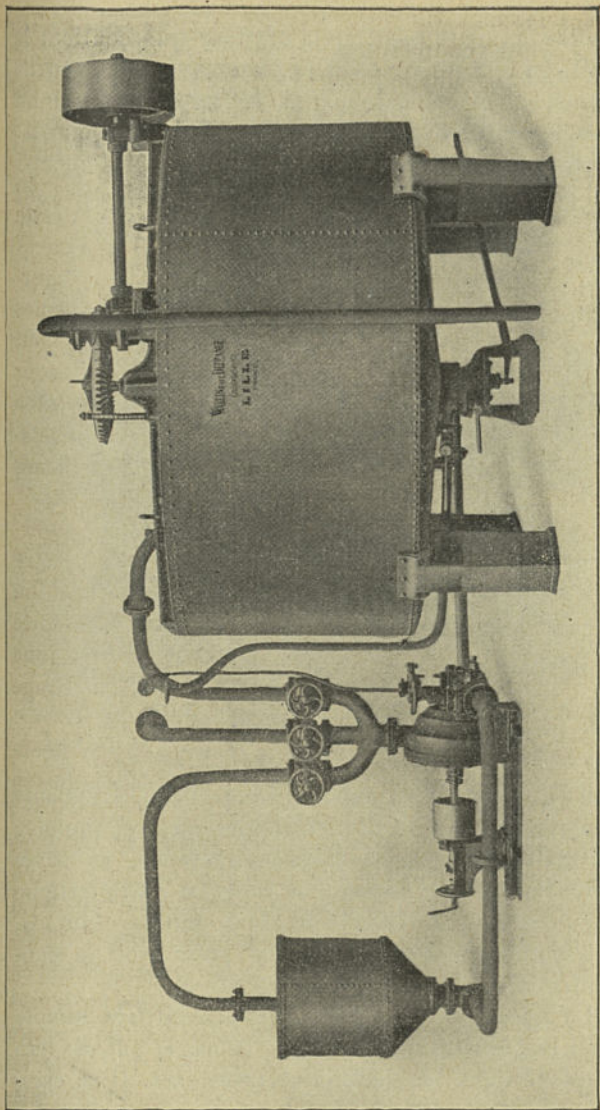


Fig. 35. — Appareil centrifuge à préparer le lait de malt et cuve matière (Pingris, constructeur à Lille).

soudre le mieux possible la diastase que contient le malt, on le triture et on le broie avec de l'eau de manière à constituer un *lait de malt*. Il existe un grand nombre d'appareils à préparer le lait de malt. Certains broyeurs sont constitués par des meules qui permettent de broyer à volonté le malt sec sans

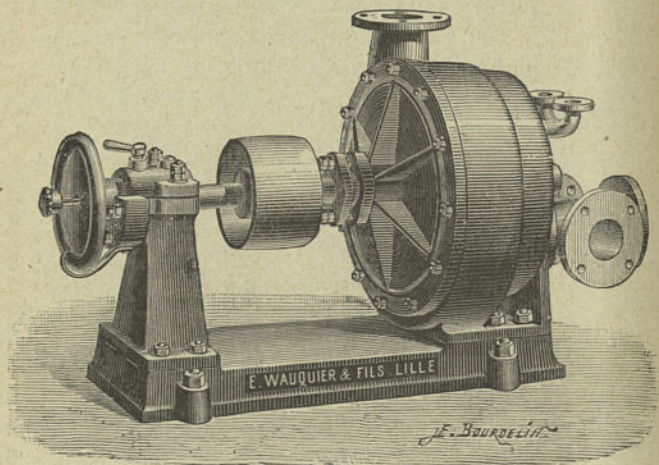


Fig. 36. — Dépèleur centrifuge (Wauquier et Cie, constructeurs à Lille).

eau ou le malt vert avec addition d'eau. La meule supérieure est fixe, la meule inférieure est mobile. Le malt arrive par la trémie supérieure et passe entre les meules; le degré de broyage est déterminé par l'écartement variable des deux meules, et on utilise la quantité d'eau nécessaire pour avoir la concentration voulue.

La figure 35 représente un appareil très simple pour la préparation du lait de malt, et qui est très employé dans les distilleries françaises. Il se com-

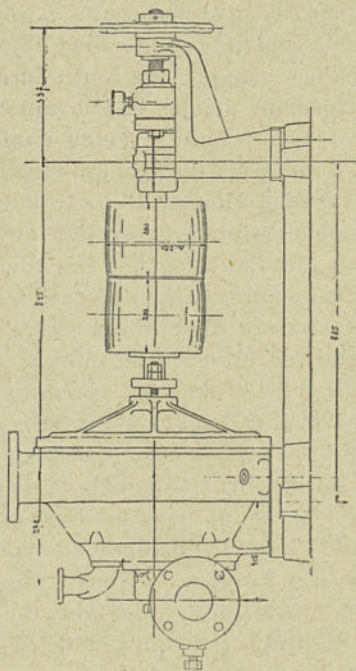
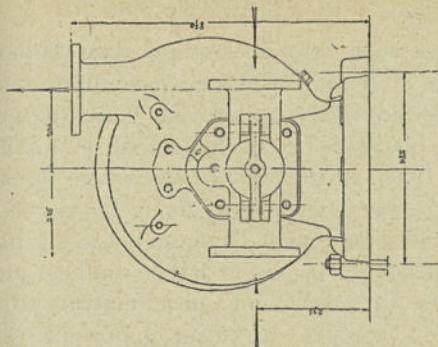


Fig. 37. — Détails d'un dépèleur (Mollet-Fontaine, constructeurs à Lille).

pose d'une cuve cylindro-conique dans laquelle on place l'eau et le malt. Cette cuve communique à la partie inférieure avec un broyeur centrifuge appelé dépèleur, qui aspire continuellement dans la cuve le mélange d'eau et de malt et le refoule dans cette même cuve par le tuyau supérieur. La masse forme ainsi un lait dans lequel l'amidon est mis à nu et la diastase dissoute. Quand ce lait de malt est préparé, on l'envoie au macérateur ou à la cuve matière en fermant le robinet du tuyau supérieur, situé à gauche, qui va à la cuve à lait de malt, et en ouvrant le robinet du tuyau placé à droite, qui se rend au macérateur ou à la cuve matière.

Le dépèleur centrifuge (fig. 36 et 37) se compose de deux disques coniques en fonte dure, munis de cannelures formant meules et pouvant être rapprochés ou écartés à volonté à l'aide d'un volant de manœuvre. L'un de ces disques est mobile et tourne à une très grande vitesse. Il porte une turbine à palettes, formant pompe centrifuge et permettant d'obtenir une circulation et une élévation du moût. L'ensemble est enfermé dans une enveloppe en fonte portant une tubulure d'aspiration arrivant au centre des meules et une tubulure de refoulement partant de la périphérie. Cet appareil se combine, comme nous l'avons vu, avec la cuve à lait de malt. On peut le combiner aussi avec la cuve matière, pour assurer le mélange intime du lait de malt et de l'empois, et pour refouler le moût dans les cuves de fermentation quand la saccharification est terminée.

Maltage de l'orge. — Nous résumerons brièvement ici les principales opérations du maltage de l'orge, en renvoyant, pour plus de détails, le lecteur à notre ouvrage consacré à la brasserie.

Appréciation de la valeur de l'orge pour le maltage en distillerie. — Les bases d'appréciation de la valeur de l'orge en distillerie ne sont pas absolument les mêmes qu'en brasserie. En distillerie, la meilleure orge est celle qui est susceptible de donner le maximum de diastase dans le maltage. Ce sont généralement les orges à petits grains, légères et riches en azote, c'est-à-dire des orges qui présentent des caractères inverses de ceux qui sont recherchés par le brasseur. On sait en effet que les orges riches en azote donnent des malts plus diastasiques que les orges pauvres, et les expériences de Lintner ont montré que le malt est d'autant plus diastatique qu'il contient plus d'azote soluble, comme le montrent, d'après Maercker, les chiffres suivants dus à Lintner :

	Azote insoluble.	Azote Soluble.	Azote total.
Malt le plus actif . . .	1,58 p. 100.	0,80 p. 100.	2,38 p. 100.
— plus faible	1,48 —	0,68 —	2,16 —
— encore plus faible.	1,33 —	0,64 —	1,97 —
— le plus faible. . .	1,42 —	0,64 —	2,06 —

Une orge riche en azote soluble donne un malt plus diastatique qu'une orge pauvre. L'appréciation de l'orge au point de vue de l'azote est donc très différente en distillerie de l'appréciation en brasserie.

Le caractère le plus important pour l'examen de la valeur d'une orge est ensuite le pouvoir germinatif. Il doit être très élevé et ne pas descendre au-dessous de 95 p. 100. La proportion de malt à employer est en effet d'autant plus faible que le nombre de grains germés est plus considérable. Il y a lieu de tenir compte aussi de l'énergie germinative, car les orges qui possèdent des embryons gros

et vigoureux donnent des malts riches en diastase.

L'humidité ne doit pas dépasser 12 p. 100, car les orges trop humides se trempent irrégulièrement, germent mal et éprouvent par respiration des pertes plus grandes que les orges sèches.

L'uniformité dans les dimensions des grains présente la même importance qu'en brasserie, car une orge dont les grains sont tous de la même grosseur se trempe et germe beaucoup plus régulièrement.

Les autres caractères relatifs à l'aspect intérieur du grain, au poids de l'hectolitre et de cent grains, etc., sont beaucoup moins importants en distillerie qu'en brasserie.

Travail de l'orge pour la préparation du malt. — Il est nécessaire, comme en brasserie, de faire d'abord subir à l'orge un nettoyage pour la débarrasser de ses poussières et de ses impuretés.

Le trempage se fait par une des méthodes étudiées en brasserie. Le trempage avec aération est ici particulièrement recommandable, car il exalte la vitalité du germe et favorise ainsi par la suite les sécrétions diastasiques. L'emploi d'antiseptiques à la trempage constitue une bonne précaution quand on doit faire subir à l'orge une germination prolongée. On réduit ainsi les dangers de développement des moisissures au germe. Windisch, Maercker recommandent l'emploi d'eau de chaux pour le premier mouillage. Le chlorure de chaux en solution neutre est encore préférable, ainsi qu'il résulte des expériences d'Effront, qui ont montré que cet antiseptique favorise la germination et améliore le pouvoir diastatique.

Pour avoir un malt riche en diastase, il importe de germer lentement, longtemps et à basse

température. Le maximum de diastase n'est pas atteint avec le malt court dans lequel la plumule atteint les trois quarts de la longueur du grain. Aussi beaucoup d'auteurs conseillent-ils de prolonger la germination pendant au moins dix jours à 15° (Effront), et même dix-huit à vingt jours (Delbruck, Maercker), de manière à obtenir une plumule qui fait saillie au dehors et dont la longueur atteint deux à trois fois celle du grain. La préparation de ce malt long exige un bon trempage, sans excès, une température de germination modérée pour ne pas pousser à une végétation trop rapide, une aération abondante, et une durée de maltage de vingt jours au lieu de six à sept. Ce malt est beaucoup plus diastasique; on peut en employer, comme nous l'avons vu plus haut, une proportion beaucoup moindre, et on obtient une saccharification et une fermentation complémentaire meilleures. En outre, d'après Maercker, plus le malt est germé longtemps au contact de l'oxygène, plus les organismes anaérobies nuisibles disparaissent, de sorte que le malt long est non seulement riche en diastase, mais pauvre en microbes.

Il n'y a pas toujours une relation exacte entre la longueur de la plumule et le pouvoir diastasique. Comme le fait très justement remarquer Effront, un malt à plumule longue n'accuse pas le maximum de diastase, si la croissance a été forcée, et d'autre part, un malt à plumule courte n'accuse pas non plus le maximum de diastase, même si la germination a été prolongée très longtemps. La quantité de diastase développée est donc en relation directe à la fois avec la durée de la germination et avec le développement des plumules.

Pour maintenir une humidité suffisante dans le grain pendant cette longue germination, il est nécessaire de pratiquer des arrosages de la couche. L'emploi de chlorure de chaux dans les eaux d'arrosage favorise, d'après Effront, le pouvoir diastatique.

Si le malt doit être desséché, cette dessiccation doit se faire à basse température, soit par fanage, soit par touraillage. Le fanage consiste à étendre le malt en couches minces dans un local bien aéré, où il perd rapidement une grande quantité d'eau. Cette méthode ne permet qu'une dessiccation très imparfaite et ne convient que pour le malt qui doit être conservé peu de temps. Quand on dessèche par touraillage, il faut avoir soin de chauffer très lentement entre 30° et 40°, jusqu'à ce que l'humidité soit en grande partie évaporée, car nous savons que les diastases sont facilement détruites à l'état humide par le chauffage. Quand le malt est presque sec, on termine l'opération à 50°. Certains auteurs recommandent un touraillage à 85-90° du malt préalablement bien desséché à basse température. Ce mode de travail a l'avantage de détruire une grande partie des microbes qui se trouvent à la surface des grains, mais il a l'inconvénient de diminuer le pouvoir diastatique du malt car même avec un malt déjà bien desséché, le chauffage à 85-90° entraîne toujours une destruction de diastase.

Pour ce qui concerne les détails relatifs à cette opération du maltage, il suffira de se reporter à notre ouvrage consacré à la brasserie.

Malt d'avoine. — Le malt d'avoine est très peu employé en France : on l'utilise surtout en Hongrie pour activer la fermentation. La trempé doit être de

courte durée, environ trente heures. On place le grain en couche épaisse sur le germoir, la température s'élève et le malt est fait au bout de cinq jours.

Le pouvoir diastasique du malt d'avoine est faible et atteint à peine en moyenne 30 p. 100 de celui de l'orge.

Malt de seigle. — Le malt de seigle est très employé pour la fabrication des eaux-de-vie de grains et pour la préparation de la levure. Il renferme en effet beaucoup de matières azotées qui favorisent le développement de la levure. Le pouvoir saccharifiant du malt de seigle bien préparé peut être aussi fort que celui du malt d'orge.

On doit choisir pour le maltage les seigles les plus riches en matières azotées. La trempe est de courte durée et ne dépasse pas quarante-huit heures. Il est bon d'employer des antiseptiques au trempage, car le seigle est sujet à l'invasion par les moisissures au germoir. Pour la germination, on dispose le grain en tas de 8 à 12 centimètres, on le retourne toutes les six à huit heures et le malt est achevé au bout de cinq jours. Maercker recommande de préparer avec le seigle du malt long comme avec l'orge, en germant lentement et à basse température. Dans ce cas, il est préférable de malter le seigle en mélange avec de l'orge dans les proportions d'une partie d'orge pour trois parties de seigle. On évite ainsi l'échauffement considérable qui se produit avec le seigle seul. L'orge et le seigle doivent être trempés séparément, car l'orge demande un trempage plus prolongé que le seigle.

Malt de blé. — Le malt de blé est beaucoup employé dans les distilleries de Belgique. Le travail du blé ne diffère pas beaucoup de celui de l'orge;

cependant la trempe est plus courte et la germination est plus rapide.

La trempe est de douze à quinze heures pour les blés farineux, de trente-six à quarante heures pour les blés glacés. Il faut avoir soin de ne pas tremper le grain trop fortement, car quand il a absorbé un excès d'eau, il s'acidifie très facilement, et moisit très vite. Le grain trempé est étalé en couches de 15 à 20 centimètres, puis, quand il commence à pointer, on forme des couches de 10 à 15 centimètres qu'on retourne trois ou quatre fois par jour. Le malt est mûr au bout de trois jours quand la température moyenne est environ de 20°. Un maltage plus prolongé expose à l'envahissement par les moisissures, à moins que la température ne soit maintenue très basse. Il est nécessaire d'arroser légèrement la couche au bout du deuxième jour, à cause de la dessiccation rapide du grain.

Le pouvoir saccharifiant du malt de blé bien préparé est au moins égal à celui du malt d'orge. Comme pour le seigle et l'orge, les grains les plus riches en azote fournissent les malts les plus diastasiques.

Malt de maïs. — Le malt de maïs est employé surtout en Hongrie et en Amérique; on l'utilise parfois en France et en Allemagne pour la fabrication de la levure pressée. Le maïs demanderait une longue durée de trempage, à cause de la dureté de l'enveloppe, si on voulait le faire tremper à fond. En pratique, on se contente le plus souvent d'une trempe de quarante heures, dans une eau à 20 ou 25 degrés, et on achève le mouillage en arrosant les couches. Comme la germination se fait ordinairement à haute température qui expose à l'infection

par les moisissures, il est bon d'employer des antiseptiques au trempage.

Le maïs ainsi trempé est mis en couches épaisses qu'on retourne d'abord au bout de vingt-quatre heures, en diminuant légèrement l'épaisseur de la couche. Le second retournement se fait trente-six heures après le premier, et on dispose alors le maïs en couche de 30 centimètres qu'on abandonne pendant quarante-huit heures à la germination. Les couches sont arrosées avec de l'eau pour éviter la dessiccation qui se produit facilement à cette haute température. On maintient dans les couches une température de 26 à 30 degrés en aérant par des pelletages trois ou quatre fois par jour, et le malt est mûr quand les pointes des radicules se colorent en jaune et quand la plumule a atteint trois ou quatre fois la longueur du grain.

Le pouvoir saccharifiant du malt de maïs est faible et atteint au maximum la moitié du pouvoir saccharifiant du malt d'orge.

2. PRÉPARATION DES MOUTS DE MATIÈRES AMYLACÉES

La préparation des mouts aux dépens des matières amylacées exige d'abord la transformation de l'amidon en empois par la cuisson, puis la saccharification de cet amidon sous l'action de la diastase du malt.

Principes théoriques de la cuisson et de la saccharification en distillerie.

On sait, par les expériences de Lintner, que l'amidon de certains grains, notamment du riz et du

maïs, n'est que très faiblement attaqué par la diastase au-dessus de sa température d'empesage. Aux températures de 55 degrés, 60 degrés et 65 degrés les proportions p. 100 d'amidon cru attaqué sont les suivantes, pour les diverses substances :

	Températures d'attaque			Température 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 amylicées, comme le seigle, l'orge, l'avoine, le blé, ont un amidon plus attaqué, et une forte proportion de cet amidon peut déjà être dissoute par la diastase au-dessous de la température d'empesage, mais l'action diastatique est d'autant plus rapide et plus complète que la transformation en empois est plus parfaite. Enfin la fécule de la pomme de terre n'est fortement attaquée par la diastase que quand la température de formation de l'empois est atteinte. En outre, l'amidon est enfermé dans des cellules, et il est nécessaire de le mettre à nu, car la saccharification ne peut s'exercer dans de bonnes conditions que si l'amidon est bien en contact avec la diastase.

J. Wolff a constaté des différences sensibles sous le rapport de l'attaque de l'amidon, entre les diverses variétés de maïs et de riz.

	Amidon transformé à 65°.
Riz du laboratoire.	25,4 p. 100.
Riz de Mandchourie	29,2 —
Riz du Piémont (variété Java)	89,5 —
Riz du Piémont (variété Bertone).	89,5 —
Le même purifié.	99,0 —
Maïs ordinaire.	47,0 —
Maïs dent de cheval.	55,5 —
Cuzco rouge.	99,0 —
Cuzco blanc.	99,0 —

Quoi qu'il en soit, l'amidon doit toujours être transformé en empois et les cellules qui le contiennent doivent être disloquées. Ces conditions sont réalisées par la cuisson.

Étude théorique de la cuisson. — Examinons d'abord le cas du chauffage de l'amidon mis en suspension dans l'eau. On sait que dans ces conditions l'amidon se gonfle et se transforme en une gelée que l'on appelle empois. Quand le chauffage a lieu à haute température, sous pression, l'empois se liquéfie plus ou moins complètement. Maercker et Stumpf ont vu ainsi qu'un chauffage à 125 degrés sous pression suffit pour liquéfier un empois contenant une partie d'amidon pour deux parties d'eau. La liquéfaction est d'autant plus facile que la proportion d'eau est plus abondante.

Les expériences de M. Boidin et de MM. Fernbach et Wolff ont montré que la viscosité des empois est influencée par des modifications très minimes dans la nature des sels qui accompagnent l'amidon et dans la réaction du milieu. M. Boidin a constaté que si on additionne de phosphate neutre de potasse $\text{PO}^1\text{K}^2\text{H}$, l'eau contenant la fécule en suspension, on obtient un empois très brun, encore visqueux après un chauffage de trois heures à quatre atmosphères, qui se fige par le refroidissement, bleuit par l'iode

et ne réduit pas la liqueur de Fehling. Si on ajoute maintenant au liquide, avant la transformation en empois, la quantité d'acide suffisante pour transformer le phosphate bipotassique en phosphate acide PO^4KH^2 , on obtient par le chauffage sous pression un liquide presque incolore, très fluide, riche en dextrines et contenant jusqu'à 15 p. 100 de glucose. On obtient les mêmes résultats avec de l'eau distillée, si la fécule a été purifiée. Si, à l'eau distillée, on ajoute du phosphate tricalcique $(\text{PO}^4)^2\text{Ca}^3$, le chauffage sous pression donne un empois très fluide composé de dextrines et de sucre, et on obtient ainsi jusqu'à 33 de glucose pour 100 de fécule. Enfin si on traite des grains moulus, maïs, riz, par de l'eau de manière à éliminer les phosphates et si on cuit sous pression la farine lavée, on obtient un moût fluide sans l'addition d'aucun acide. L'échantillon non traité par l'eau est brun après chauffage et se prend en masse par le refroidissement. Ces expériences permettent de conclure que le phosphate bipotassique nuit à la fois à la cuisson, à la liquéfaction, à la saccharification et à la conservation du sucre lors de la cuisson sous pression. Il suffit de le détruire pour que tous ces phénomènes disparaissent. Nous verrons plus tard la remarquable application pratique que M. Boidin a tirée de ses observations, pour l'industrie de la production de l'alcool de grains par les mucédinées.

MM. Fernbach et Wolf ont constaté de leur côté l'influence considérable de la chaux contenue dans la fécule sur la viscosité des empois qu'elle fournit : une fécule débarrassée de chaux se solubilise avec la plus grande facilité. La soude, la magnésie, l'ammoniaque agissent de la même manière. Si on ajoute

dans l'empois un acide fort pour ramener la réaction au voisinage de la neutralité au méthylorange, on observe que l'empois dont la réaction a été ainsi modifiée perd très facilement sa viscosité quand on le chauffe sous pression et que la présence des sels formés avec l'acide n'a aucune influence. MM. Fernbach et Wolff ont constaté ainsi que les sels neutres au méthylorange n'ont aucune influence sur la perte de viscosité des empois chauffés sous pression, et que par contre les sels alcalins à ce réactif gênent beaucoup la liquéfaction et qu'il suffit de traces d'alcalis libres pour l'empêcher.

Ces expériences montrent que la liquéfaction de l'empois dans le chauffage sous pression dépend surtout de la nature des sels qui accompagnent les grains et de la réaction du milieu. La caramélisation des sucres, qui se produit par le chauffage sous pression à haute température paraît dépendre aussi des sels et de la réaction du milieu, comme nous l'avons vu plus haut par les expériences de M. Boidin.

Examinons maintenant ce qui se passe dans le chauffage des matières amylacées telles que les grains ou les pommes de terre. Dans la pomme de terre, les grains de fécule nagent dans le liquide des cellules qui les renferment. Par le chauffage, la substance intercellulaire qui réunit les cellules entre elles se ramollit, et se dissout même si le chauffage a lieu sous pression. Les grains d'amidon se gonflent et absorbent tout le liquide qui les entoure. Si la cuisson a eu lieu à 100°, on constate que les grains de fécule ont rempli entièrement les cellules. Celles-ci se séparent les unes des autres par suite du ramollissement de la substance intercellulaire, mais les

parois des cellules sont conservées. Le liquide qui se trouve entre les cellules est clair et ne bleuit pas à l'iode. Si la cuisson a eu lieu sous pression, on constate, si on a eu le soin de laisser échapper lentement la vapeur pour ramener la masse à la pression normale, que la substance intercellulaire est entièrement dissoute et que le liquide dans lequel nagent les cellules est troublé par des granulations et bleuit à l'iode. L'amidon a donc été liquéfié et a traversé les parois cellulaires. Si on examine enfin la masse après la vidange brusque du cuiseur à haute pression, on voit que les cellules sont divisées et déchirées en majeure partie, de sorte que le contact de l'empois avec la diastase se trouve parfait.

Dans le maïs, les grains d'amidon sont renfermés dans des cellules polygonales. Il est d'abord nécessaire de donner au grain la quantité d'eau voulue pour que son amidon puisse se transformer en empois, car le maïs ne possède pas, comme la pomme de terre, assez d'eau pour pouvoir être travaillé seul. Si on chauffe à 3 kgr. 500 le mélange de grain et d'eau, on constate après chauffage que les grains d'amidon se sont gonflés dans les cellules, mais que celles-ci sont restées entières et ne sont pas séparées. La division de la masse se produit seulement au moment de la vidange à haute pression.

Enfin pendant la cuisson des matières amylacées, les pentosanes qui constituent les membranes intercellulaires sont décomposés partiellement et donnent naissance à du xylose et de l'arabinose, sucres réducteurs, mais non fermentescibles. Les matières azotées coagulables s'insolubilisent d'abord par le chauffage, puis sous l'action des hautes tempéra-

tures, elles se dissolvent de nouveau en partie et se dégradent à l'état d'amides.

Les observations qui précèdent nous indiquent les conditions dans lesquelles on doit se placer pour la cuisson des matières amylicées destinées à la saccharification par le malt. Il faut donner, s'il y a lieu, à la matière première l'eau qui est nécessaire pour la transformation de l'amidon en empois, maintenir la masse constamment en mouvement et vider enfin l'appareil brusquement à haute pression de manière à diviser finement la masse.

Quand les conditions de fabrication exigent la conservation des matières azotées du grain, ce qui est le cas dans les fabriques de levure pressée, la cuisson ne peut se faire à haute température : la transformation de l'amidon en empois n'est jamais absolument complète et la saccharification laisse toujours de l'amidon inattaqué.

Étude théorique de la saccharification diastasique en distillerie. — Nous avons étudié, au début de notre volume consacré à la brasserie, la saccharification de l'amidon par l'amylase. Nous nous bornerons à appliquer ici à la distillerie des matières amylicées les notions théoriques précédemment exposées.

L'amidon se transforme sous l'action de l'amylase en maltose et en dextrines. Le maltose est fermentescible; les dextrines fermentent plus ou moins suivant leur nature et suivant la nature des levures. Il ya des levures qui n'attaquent que certaines dextrines, d'autres qui n'en attaquent aucune. En pratique, il se produit toujours une certaine proportion de dextrines non fermentescibles par les levures ordinairement employées en distillerie. La proportion rela-

tive de maltose et de dextrines formés est variable avec la dilution du liquide, la durée de l'action diastatique, la proportion de diastase, la réaction du milieu et surtout la température. Il se forme d'autant plus de maltose que la solution est plus diluée, car nous savons que le maltose formé gêne la saccharification et cette action est d'autant moins sensible que le liquide est plus étendu. Le maltose est d'autant plus abondant que la saccharification a une plus longue durée et que la quantité de diastase présente est plus abondante. MM. Maquenne et Roux ont montré en outre qu'on augmente beaucoup la proportion de maltose formée, en neutralisant l'alcalinité de l'empois d'amidon, et en ajoutant ensuite au milieu les deux tiers de la quantité d'acide sulfurique nécessaire pour le rendre neutre à l'hélianthine. Dans ces conditions, en conservant une réaction légèrement alcaline à l'hélianthine, on peut arriver à obtenir une proportion de maltose qui atteint à peu près le chiffre théorique que peut donner l'amidon, la proportion de dextrine résiduelle étant extrêmement faible.

La température est le facteur principal de la variation des produits de l'action diastatique : au-dessous de 60 degrés, il se forme beaucoup de maltose et peu de dextrines, et la proportion de maltose diminue de plus en plus au fur et à mesure qu'on s'approche davantage de 80 degrés, température à laquelle la diastase est détruite. A 50-55 degrés, il se forme environ, en moûts dilués, 81 p. 100 de maltose et 19 p. 100 de dextrines. Les recherches de MM. Maquenne et Roux ont montré que cette proportion de maltose qui se forme à 50 degrés peut être beaucoup plus considérable et atteindre presque la quantité théorique que peut donner l'amidon, dans les condi-

tions de réaction de milieu signalées plus haut. Dans les moûts très concentrés, la proportion de maltose formé à 50 degrés s'abaisse à 66-68 p. 100 de l'amidon, à cause de l'action paralysante du maltose sur la diastase.

L'amylase subit pendant le chauffage un affaiblissement plus ou moins marqué suivant la température et la composition chimique du liquide. La diminution d'activité est très faible au-dessous de 55 degrés; au-dessus de 60 degrés et jusqu'à 65-68 degrés, la diastase se trouve sensiblement affaiblie; au-dessus de 68 degrés, l'affaiblissement est beaucoup plus prononcé et la formation de maltose est arrêtée à 75 degrés. Petzhold a montré que l'action nuisible d'une température élevée est d'autant moins accentuée que le moût est plus concentré et plus riche en maltose.

Les expériences de M. Fernbach ont démontré 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. De faibles doses d'acide favorisent cependant la saccharification en effectuant la transformation des phosphates neutres, qui retardent le phénomène, en phosphates acides qui le favorisent, mais la réaction ne doit jamais être acide à l'hélianthine.

Dans les conditions ordinaires de la pratique, il reste toujours dans le liquide saccharifié une certaine proportion de dextrans qui ne se transforment pas en maltose. Brown et Morris expliquent ce phénomène par la formation d'une dextrine stable qui résiste, au moins dans les conditions ordinaires, 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, Le maltose formé exerce bien une action paralysante sur la marche de la diastase, car si on fait disparaître le maltose par la fermentation alcoolique, l'action diastasique reprend.

Appliquons maintenant ces notions théoriques au travail industriel. En distillerie, il faut d'abord produire le maximum de maltose possible et le minimum de dextrines, et utiliser ensuite la saccharification complémentaire qui se produit quand le maltose disparaît par la fermentation alcoolique pour transformer les dextrines en sucre fermentescible et obtenir ainsi le maximum de rendement aux dépens de l'amidon.

Le principal moyen pratique dont dispose le distillateur pour augmenter la quantité de maltose est la température de saccharification. Les observations de MM. Maquenne et Roux relatives à l'influence de la réaction du milieu se rapportent en effet à des mouts très dilués, obtenus avec une quantité énorme de diastase et une faible quantité d'amidon, et à une saccharification beaucoup trop longue pour qu'elles puissent avoir une application réellement pratique. La température optima de saccharification devrait donc être de 50 à 55 degrés. Mais à cette basse température, la saccharification de l'amidon du malt, qui n'est pas transformé en empois, est imparfaite. En outre, cette température est insuffisante pour affaiblir les ferments nuisibles qui sont apportés par le malt, l'eau et les matières premières et qui pourrait ultérieurement compromettre la bonne marche de la fermentation et de la saccharification complémentaires. Donc, en pratique, on devra dépasser cette température optima de 50 à 55 degrés et

atteindre celle de 60-65 degrés qui permet une meilleure utilisation de l'amidon du malt et la destruction ou, au moins, l'affaiblissement des ferments nuisibles.

Pour réaliser ce chauffage sans trop affaiblir la diastase, on utilisera l'observation de Petzhold signalée plus haut. Puisque la diastase supporte beaucoup mieux les hautes températures quand le moût est concentré et riche en maltose, on procédera d'abord à la saccharification à 55 degrés, pour produire beaucoup de maltose, et vers la fin de l'opération, on élèvera la température à 60-63 degrés pour faciliter la destruction des microbes et l'utilisation de l'amidon du malt. L'emploi d'un malt très diastasique réduira en outre les dangers de l'affaiblissement du pouvoir saccharifiant du moût par le chauffage.

Pour pouvoir utiliser les dextrines produites, il importe de conserver la diastase active dans le moût pendant la fermentation pour que cette diastase puisse continuer son action au fur et à mesure de la disparition du maltose. Il faut donc éviter d'affaiblir la diastase dans le travail de la saccharification et de la fermentation. Ce fait a pour résultat l'impossibilité de chauffer le moût au-dessus de 65 degrés dans la distillerie de matières amylicées, et nous verrons bientôt, en étudiant la fermentation de ces moûts, les conséquences importantes de ce mode de travail. En outre, puisque l'acidité libre est nuisible à la diastase, il faudra éviter soigneusement, pendant la fermentation complémentaire, la formation d'acides lactique, butyrique, acétique par les microbes, car cette acidité pourrait paralyser la saccharification complémentaire et amener ainsi

une forte diminution du rendement en alcool.

Tels sont les principes généraux qui doivent guider le distillateur dans la préparation des moûts de matières amylacées. Pour que la saccharification ait lieu dans de bonnes conditions, il est en outre nécessaire que le malt et la matière pâteuse soient intimement mélangés pendant la macération, et que la température soit bien maintenue au degré voulu. Il importe donc de munir les appareils d'un bon thermomètre qu'il faut avoir soin de vérifier de temps à autre, en le comparant avec un thermomètre exact de laboratoire. De faibles variations dans la température de saccharification peuvent avoir en effet une influence considérable sur la composition chimique du moût et sur le rendement.

Matériel employé pour la cuisson et la saccharification.

Appareils de cuisson. — Dans l'ancienne méthode employée autrefois pour la cuisson des pommes de terre, cette opération se faisait à l'air libre, dans une cuve en bois portant à la partie inférieure un faux-fond perforé. La cuve portait latéralement et au-dessus du faux-fond une ouverture de déchargement des pommes de terre cuites, fermée par un étrier à vis. Sur le fond supérieur se trouvait une autre ouverture servant au chargement et semblable à la précédente. La vapeur arrivait par un tuyau au milieu de la cuve, et une ouverture ménagée immédiatement au-dessus du fond inférieur permettait l'écoulement de l'eau condensée. Un autre petit orifice placé au-dessus du faux-fond servait à intro-

duire dans l'appareil une sonde en fer pour s'assurer de l'état de cuisson des tubercules.

La matière cuite dans cette cuve passait alors au broyeur. Les broyeurs de pommes de terre étaient constitués par deux cylindres lisses en fonte, surmontés parfois de deux cylindres cannelés pour faciliter l'introduction des pommes de terre; on employait aussi les broyeurs à cylindres cannelés, les cannelures d'un cylindre pénétrant dans celles de l'autre. Ces broyeurs étaient mus à la main dans les petites distilleries et à la vapeur dans les installations plus importantes.

Cette méthode de travail est aujourd'hui à peu près complètement abandonnée et elle a été remplacée par la cuisson sous pression.

Cette dernière méthode a été mise en pratique pour la première fois par Hollefreund qui réalisa dans un même appareil la cuisson sous pression, le broyage et la saccharification. Cet appareil se compose d'un réservoir cylindrique horizontal muni d'un arbre à palettes. A la partie supérieure se trouve un trou d'homme et une ouverture de chargement, et à la partie inférieure une soupape de vidange du moût. Le réservoir cylindrique est surmonté d'un dôme portant un tuyau qui conduit à un condenseur. La vapeur arrive dans l'appareil par six ouvertures, et l'eau de condensation s'écoule au dehors par un clapet. On peut ainsi cuire les pommes de terre 2 kgr. 500-3 kilogrammes de pression, en injectant de la vapeur dans l'appareil fermé, malaxer la masse avec l'agitateur; puis, après retour à la pression normale, on met en communication le dôme supérieur de l'appareil avec le condenseur à eau froide, de manière à produire un vide dans le cylindre et une

vaporisation qui abaisse la température au degré voulu pour la saccharification.

L'appareil de Bohm était basé sur le même principe, mais au lieu d'employer le vide pour la réfrigération, il employait l'eau qui circulait dans l'agitateur dont l'arbre et les palettes étaient creuses.

Ces appareils ont aujourd'hui à peu près disparu et ont été remplacés par le cuiseur conique dont le principe est dû à Henze. Il consiste à cuire les matières amylicées dans un récipient en fer, par la vapeur à haute pression, sans agitateur destiné au broyage, et à vider la masse sous pression de vapeur par une étroite ouverture, ce qui assure une désagrégation parfaite.

Le cuiseur Henze se compose en principe d'un réservoir conique ou cylindro-conique en tôle qui peut résister à une pression de vapeur de 4 atmosphères. Ce réservoir porte un trou d'homme pour le remplissage, une tubulure de vidange qui permet d'évacuer la masse dans le macérateur, une admission de vapeur par le haut et par le bas, un manomètre, une soupape de sûreté, un robinet pour l'évacuation de l'eau condensée et une valve d'ouverture et de fermeture du tuyau de vidange.

La forme du cuiseur, d'abord cylindrique, est aujourd'hui cylindro-conique ou entièrement conique.

La distribution de la vapeur dans les cuiseurs sans agitateurs présente une grande importance, car c'est elle qui doit mettre en mouvement le contenu du cuiseur et rendre la masse homogène. Les anciens appareils ne possédaient qu'un seul tuyau de vapeur qui débouchait au milieu du cuiseur, mais ce dispositif se montra insuffisant, avec les cuiseurs cylindro-coniques de l'époque, pour le travail du

maïs et des grains. On chercha alors à donner à la masse un mouvement giratoire dans l'appareil en modifiant l'injection de vapeur. Tels sont les dispositifs d'Avenarius et de Biesdorf. Dans le dispositif d'Avenarius, la vapeur arrive dans trois rangées superposées constituées chacune par six doubles tubes dont les orifices sont voisins, et qui sont recourbés dans le même sens. La vapeur injectée produit ainsi dans l'appareil un mouvement de rotation de la masse. La distribution Biesdorf se compose de cinq à six admissions de vapeur, dans le cône du cuiseur, qui sont recourbées et un peu inclinées vers le haut. L'injection est ainsi tangentielle et produit un tourbillon giratoire qui se propage vers le haut.

Avec les cuiseurs entièrement coniques, ces dispositifs ne sont plus nécessaires et il suffit de deux injections de vapeur, une à la partie inférieure, l'autre à la partie supérieure.

Pour que la division de la masse soit parfaite, on munit souvent la soupape ou le tuyau de vidange de dispositifs particuliers. La soupape à arêtes vives d'Avenarius force la masse à suivre un chemin qui présente des angles vifs : on obtient ainsi un empois plus homogène. Le tube de Barthel se compose d'une boîte raccordée au tube de vidange : entre la boîte et le tube se trouve une grille qui retient les corps étrangers ; le tuyau de vidange est muni de chicanes en hélice : une injection horizontale de vapeur dans ce tuyau active le courant du liquide qui se brise contre les chicanes et prend un mouvement de rotation par suite de leur disposition en hélice.

On dispose aussi parfois des grilles à la partie inférieure du cône.

Ces dispositifs sont inutiles quand on travaille des matières normales, quand la cuisson et la vidange sont bien conduites et quand l'appareil possède une bonne soupape à arêtes vives. Ils sont avantageux au contraire pour le travail des matières premières défectueuses, car ils permettent une division plus parfaite de la masse.

La figure 38 représente le cuiseur cylindro-nique Wauquier. Cet appareil est construit en tôle de fer avec fond conique en fonte. Il est timbré à 3 kilogrammes et il est muni d'une soupape d'entrée de vapeur, d'une soupape de sûreté, d'un manomètre et d'une soupape de vidange. L'entrée de la vapeur se fait par un système diviseur produisant une vive agitation dans la masse soumise à la cuisson, et permettant ainsi la suppression de l'agitateur.

Dans les grandes usines, on peut disposer les cuiseurs en batterie, à double ou à triple effet de façon que la vapeur qui entre dans un cuiseur en venant du générateur traverse toute la batterie et soit complètement utilisée. Chaque cuiseur doit alors pouvoir être mis en tête de batterie et recevoir la vapeur directe qui, en s'échappant de ce cuiseur, est utilisée dans les deux autres. On économise ainsi une notable quantité de vapeur.

On voit qu'avec les cuiseurs sans agitateurs, et surtout avec les cuiseurs cylindro-coniques, le contenu est mis en mouvement grâce aux dispositifs spéciaux adoptés pour l'injection de vapeur et grâce à l'emploi de fortes pressions. Pour le travail des grains difficiles à désagréger, tels que le maïs, le riz, etc., on préfère en général aujourd'hui les cuiseurs munis d'agitateurs, car ces appareils assurent une circulation continue de la masse et ren-

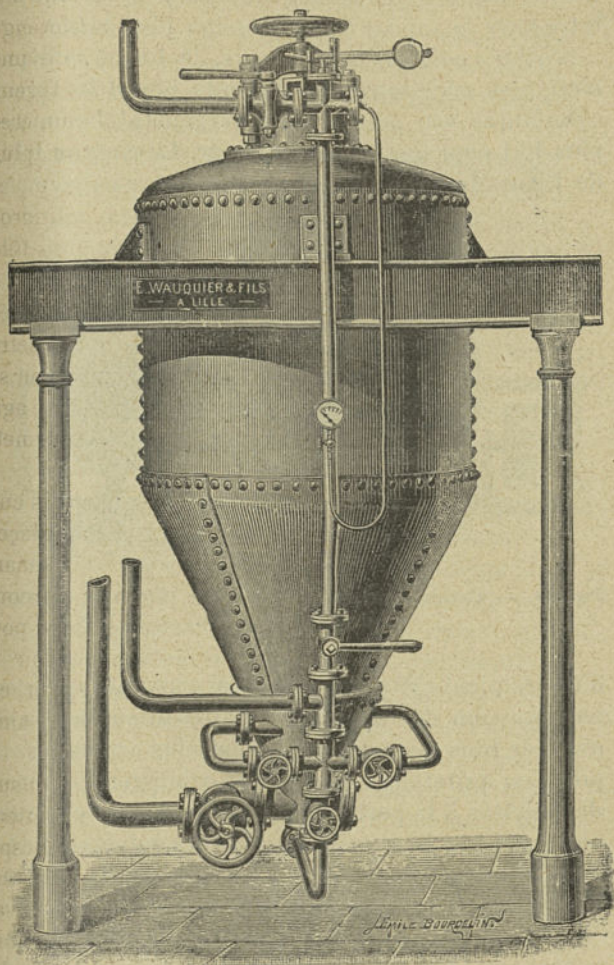


Fig. 38. — Cuiseur cylindro-conique (Wauquier et C^{ie}, constructeurs à Lille).

dent la matière très homogène. On peut en outre y introduire la vapeur à une pression plus faible.

Avec ces cuiseurs à agitateurs, la forme conique n'est plus nécessaire et on adopte plutôt la forme cylindrique qui permet un chargement beaucoup plus fort pour une même longueur. Le cuiseur Joly, de Blanc-Misseron (Nord) se compose par exemple

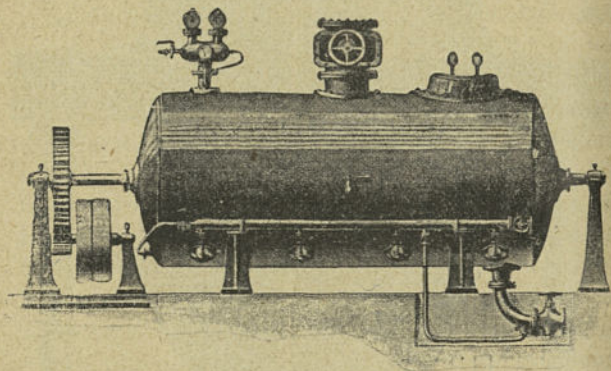


Fig. 39. — Cuiseur horizontal à agitateur (Egrot et Grangé, constructeurs à Paris).

d'un récipient cylindrique vertical pouvant supporter une pression de vapeur de quatre atmosphères et muni de tous les organes des cuiseurs ordinaires. Il porte un agitateur formé par un arbre vertical muni de palettes à la partie inférieure; cet arbre porte en outre sur une de ses parties une hélice qui est entourée d'un manchon fixe percé d'ouvertures. La matière amylacée se trouve ainsi agitée et tend à remonter à l'intérieur du manchon pour s'échapper par les ouvertures. Cet appareil, dont le fonctionnement est excellent, est utilisé pour la cuisson des grains.

La disposition du couvercle des cuiseurs présente

une grande importance, car de nombreux accidents ont été occasionnés par la rupture de ce couvercle. La vis de pression ne doit pas être trop fortement serrée, car elle pourrait faire plier le couvercle ou arracher les boulons de l'étrier.

La figure 39 représente le cuiseur horizontal à agitateur Egrot et Grangé; les opérations y sont très rapides en raison du mode de répartition de la vapeur, qui, combiné avec le mouvement des bras de l'agitateur, produit un brassage énergique.

Appareils de saccharification. — Il existe un grand nombre d'appareils destinés à la saccharification par le malt.

Dans certaines distilleries, on emploie une cuve matière analogue à celle que nous avons étudiée en brasserie, avec un agitateur plus ou moins puissant destiné à mélanger intimement la masse. Nous ne reviendrons pas ici sur la disposition de ces cuves que nous avons décrites dans un autre ouvrage (1). Dans les méthodes de préparation des moûts par cuisson sous pression, on refroidit la masse qui sort du cuiseur à haute température par passage dans un appareil spécial appelé exhausteur. L'exhausteur se compose d'une simple cheminée de tôle dans laquelle débouche le tuyau de décharge du cuiseur. On provoque dans cette cheminée un violent courant d'air en plaçant au haut de l'appareil un injecteur de vapeur dont l'ouverture est tournée vers le haut. 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.

(1) Voy. E. BOULLANGER, *Brasserie*, Tome I, (ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE).

Cet appareil a l'inconvénient d'être difficile à nettoyer; aussi est-il aujourd'hui de moins en moins utilisé par suite de l'emploi de macérateurs perfectionnés qui permettent la réfrigération par l'eau et une agitation parfaite de la masse, de sorte que le refroidissement préalable de la matière amyliacée qui sort du cuiseur n'est plus nécessaire, l'égalité de température se produisant instantanément dans ces nouveaux appareils, ce qui évite toute altération de la diastase du malt. Cependant on n'a pas abandonné aujourd'hui complètement l'exhausteur, car il est toujours bon d'avoir un dispositif qui divise la masse en fines particules, afin de diminuer encore les dangers de destruction de la diastase. En outre, la cheminée sert à l'évacuation rapide des vapeurs.

Pour compléter le broyage de la matière amyliacée après la cuisson, on utilise parfois des dispositifs spéciaux, mais ces dispositifs de broyage consomment beaucoup de force et sont inutiles quand on travaille de bonnes matières premières et quand la cuisson est bien conduite. Si on travaille des matières premières défectueuses, ils peuvent améliorer le rendement en facilitant la division de la masse, mais, même dans ce cas, ils ne sont pas indispensables.

Les macérateurs employés aujourd'hui sont extrêmement nombreux. Ils sont constitués en principe par une cuve dans laquelle se trouve un puissant agitateur et un réfrigérant, de manière à assurer instantanément l'homogénéité du mélange et la répartition égale des températures.

Un premier groupe d'appareils est formé par les macérateurs centrifuges, utilisés surtout pour la préparation des moûts clairs.

Dans ces appareils, l'agitateur communique à la

masse un mouvement giratoire qui assure la division de la matière et son homogénéité. Les dispositifs, très variables suivant les constructeurs, ont surtout pour but de permettre un mélange parfait et de bien égaliser la température.

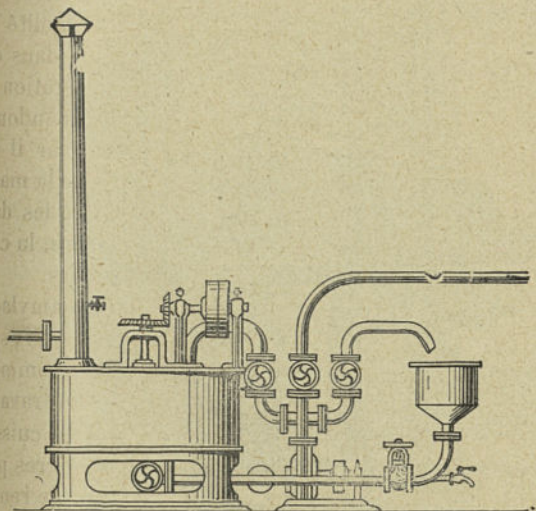


Fig. 40. — Macérateur et dépeleur (Crépelle-Fontaine, constructeur à La Madeleine-les-Lille).

La figure 40 représente l'installation d'un macérateur avec son dépeleur. Le macérateur se compose d'une cuve cylindre munie d'un exhausteur et portant un réfrigérant de grande puissance et un agitateur. Le broyage de la masse est assuré par le dépeleur qui aspire la matière dans le macérateur et la refoule à la partie supérieure.

D'autres macérateurs ont une forme allongée, par exemple le macérateur La Cambre.

Le macérateur La Cambre est constitué par une auge cylindrique ouverte à sa partie supérieure et munie d'une double enveloppe dans laquelle on peut envoyer à volonté de l'eau froide, de l'eau chaude ou de la vapeur. A l'intérieur de cette cuve se meut un

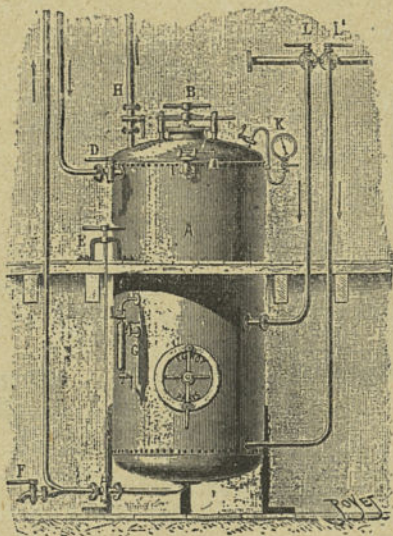


Fig. 41. — Saccharificateur par l'acide (Egrot et Grangé, constructeurs à Paris).

agitateur formé d'un arbre horizontal portant des bras disposés en hélice. Ces bras portent eux-mêmes des tringles transversales qui les font ressembler à des râpeaux.

Pour la saccharification par les acides à l'air libre, on utilise de solides cuves en bois munies d'un barboteur de vapeur et d'un agitateur. La saccharification par l'acide sous pression s'effectue le plus souvent dans un autoclave vertical (fig. 41) appelé

Krüger. Cet appareil, entièrement en cuivre très épais, se compose d'un cylindre vertical A portant à la partie supérieure un trou d'homme B pour le chargement, une soupape de sûreté I, un manomètre K, un tuyau D pour l'introduction de l'eau acidulée et un tuyau H pour l'évacuation de l'air. Sur le corps

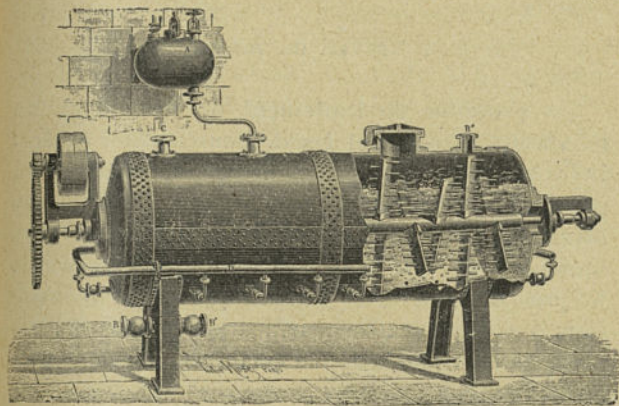


Fig. 42. — Saccharificateur par l'acide (Pingris, constructeur à Lille).

du cylindre se trouvent un trou de nettoyage C, une éprouvette G pour la prise des échantillons, un tuyau L pour l'injection de vapeur et un volant de manœuvre E du robinet d'évacuation. Enfin, à la partie inférieure arrive un tuyau de vapeur L; le fond de l'appareil est muni d'un tuyau de vidange qui se relève verticalement et porte un robinet de nettoyage F.

On utilise aussi, pour la saccharification par l'acide sous pression, des autoclaves horizontaux. Le cuiseur saccharificateur Warein et Defrance, par exemple, est constitué par un cylindre horizontal

muni d'un agitateur à râdeaux. On peut cuire dans cet appareil, les grains sous pression, puis faire arriver l'acide dans l'empois au moyen d'un ballon qui est relié à la partie supérieure du cuiseur, et qui reçoit la pression du générateur (fig. 42).

Travail du maïs.

Les procédés de traitement du maïs sont très nombreux et on peut les diviser en trois classes : 1^o les procédés *sans* pression avec saccharification par le malt; 2^o les procédés *sous* pression, avec saccharification par le malt; 3^o les procédés avec ou sans pression, avec saccharification par les acides. Le procédé Collette et Boidin, qui utilise la cuisson sous pression et la saccharification par les mucédinées, sera étudié dans le chapitre consacré à la fermentation.

1^o Procédés de travail du maïs sans pression. — *Ancien procédé.* — Cette méthode, autrefois employée dans les distilleries belges lorsque l'impôt était perçu sur la capacité des cuves, consiste à transformer l'amidon du maïs en empois par chauffage à 90-100 degrés, et à refroidir ensuite la masse à la température de saccharification. On fait arriver le maïs, finement moulu, dans le macérateur où se trouve de l'eau à 55-60 degrés, en agitant fortement pour éviter la formation de pelotes. Il faut employer environ 400 litres d'eau pour 100 kilogrammes de maïs. On chauffe alors, lentement, soit par injection de vapeur, soit par le double fond du macérateur de manière à atteindre environ 95 degrés; on maintient cette température pendant une heure

et on refroidit ensuite à la température de saccharification, c'est-à-dire 63 à 64 degrés, et on introduit le lait de malt. La quantité de malt employée varie de 8 à 15 p. 100, suivant l'état du malt (malt vert ou malt sec) et suivant sa qualité. On maintient la température au degré voulu, en agitant constamment, jusqu'à ce que la saccharification soit suffisante, puis on refroidit par une des méthodes que nous étudierons plus loin. La durée de la saccharification est d'une heure à une heure et demie.

Ce procédé peut subir quelques modifications. On peut par exemple préparer l'empois de maïs dans une cuve spéciale, et faire rentrer peu à peu cet empois dans le macérateur où se trouve le lait de malt fabriqué à part, ce qui fait monter la température au degré convenable pour la saccharification. L'addition de 1 à 2 p. 100 de malt à la farine de maïs soumise à l'empesage est également à conseiller; cette addition empêche un empâtement trop fort de la masse par suite de la liquéfaction partielle qu'elle entraîne, et le refroidissement de la matière amylicée à la température de saccharification est plus facile.

Cette méthode de travail est encore adoptée dans les fabriques de levure pressée, et dans quelques distilleries. Dans les grandes fabriques d'alcool, elle a été remplacée par la cuisson sous pression.

Travail du maïs malté. — Cette méthode, préconisée en Allemagne par Gontard, ne s'est pas répandue en France. Elle consiste à malter le maïs en opérant comme nous l'avons vu précédemment, puis à broyer finement le malt obtenu et à l'empâter avec de l'eau à 75°. On refroidit à 62° par addition d'eau et on abandonne à la saccharification. On

obtient de meilleurs résultats en empâtant le malt de maïs dans le macérateur, en laissant déposer et en soutirant le liquide diastasique. La masse restée dans le macérateur est traitée à 100° pour transformer l'amidon en empois, puis refroidie à la température de saccharification. On y ajoute alors l'extrait diastasique soutiré.

Travail à l'acide sulfureux. — Cette méthode a été employée en Hongrie, en Italie et en Belgique, mais elle est de plus en plus abandonnée aujourd'hui. Elle consiste en principe à ramollir et à désagréger les grains d'amidon et les cellules qui les contiennent par trempage dans de l'eau additionnée de sulfites ou d'acide sulfureux. En Hongrie, on fait tremper le maïs en le couvrant d'eau dans laquelle on ajoute 2 kilogrammes de bisulfite de soude par 100 kilogrammes de maïs; après la trempe, on ajoute la quantité d'acide sulfurique nécessaire pour mettre l'acide sulfureux en liberté, qui agit sur les parois des cellules et sur l'amidon et favorise ainsi le travail ultérieur de la saccharification.

Quand on emploie l'acide sulfureux libre, on utilise soit de l'acide dissous, soit de l'acide produit par la combustion du soufre dans un four. Les gaz qui sortent du four reçoivent de l'eau en pluie fine et on obtient ainsi une solution qui marque 0°,3 à 0°,4 Baumé. On emploie de 90 à 100 grammes de soufre par 100 kilogrammes de maïs. La trempe dure dix-huit à vingt heures; on évacue alors le liquide, on chauffe à 90° pour transformer l'amidon en empois, puis on fait arriver l'empois dans le lait de malt préparé à part, de manière à obtenir finalement la température de 62-63° pour la saccharification.

L'acide sulfureux agit comme antiseptique dans la

fermentation et diminue les dangers d'infection. En outre, il ramollit les parois des cellules qui englobent les grains d'amidon et facilite la désagrégation du maïs. Mais les flegmes obtenus par cette méthode ont un goût assez désagréable.

2° Procédés de travail du maïs sous pression. — Le traitement du maïs par la cuisson sous pression peut s'effectuer de deux manières différentes : *a*, sur les grains entiers; *b*, sur les grains concassés ou moulus.

a) Travail du maïs en grains entiers. — Cette méthode est presque exclusivement employée en Allemagne et on l'a adoptée aussi dans la plupart des distilleries françaises.

La cuisson s'opère soit dans les cuiseurs coniques sans agitateurs, soit dans les cuiseurs à agitateurs précédemment décrits. Pour que la cuisson se fasse bien, on doit tout d'abord réaliser certaines conditions. Comme le maïs contient peu d'eau, il est nécessaire de lui donner la quantité d'eau nécessaire pour que son amidon puisse se transformer en empois. Cette quantité est de 150 à 180 litres par 100 kilogrammes de maïs. La capacité nécessaire pour 100 kilogrammes de maïs est d'environ 400 litres, car le mélange de 100 kilogrammes de maïs avec 150 à 180 litres d'eau occupe un volume de 300 litres environ, et ce chiffre doit être augmenté d'un tiers pour le gonflement pendant la cuisson et pour le volume de l'eau condensée. La masse doit en outre être maintenue constamment en mouvement pendant la cuisson. On arrive à ce résultat d'abord en portant l'eau à l'ébullition, en maintenant cette ébullition pendant toute la durée du chargement, et même en cuisant pendant une heure avant de laisser

monter la pression, de manière à ramollir complètement le maïs avant de le cuire sous pression .

La distribution de la vapeur dans les cuiseurs coniques, qui se fait par injection tangentielle au sommet du cône, comme nous l'avons vu, assure le mouvement continu de la masse pendant la cuisson sous pression dans les cuiseurs qui ne sont pas munis d'agitateurs. Ce mouvement s'obtient aisément, sans dispositif spécial pour l'injection de la vapeur, au moyen des cuiseurs à agitateurs, mais ces appareils ont l'inconvénient d'entraîner une dépense assez élevée de force motrice. Enfin, pour assurer au contenu un mouvement constant, on laisse échapper continuellement un filet de vapeur par la soupape de sûreté : c'est ce qu'on appelle travailler à *soupape soufflante*. La vidange doit avoir lieu à haute pression, par une soupape à arêtes vives, de manière à diviser finement la masse et à favoriser ainsi l'attaque de l'amidon par la diastase dans le macérateur.

L'état de l'empois obtenu par la cuisson du maïs sous pression est variable avec la nature du maïs, la durée du travail, la pression finale atteinte, la nature des sels contenus dans les grains et dans l'eau de cuisson. Les maïs humides se cuisent et se désagrègent plus difficilement que les maïs secs, et certaines variétés sont plus résistantes que d'autres. La pression doit monter très lentement, et il ne faut pas employer pour la cuisson du maïs des pressions trop élevées. En effet, les fortes pressions produisent une caramélisation partielle des hydrates de carbone et une décomposition de l'huile du maïs. On doit donc cuire le plus possible à faible pression et ne maintenir l'empois à 3 kgr. 500-4 kilogrammes que

pendant le temps strictement nécessaire pour assurer la transformation complète de l'amidon en empois. Enfin, nous avons vu précédemment, par les expériences de M. Boidin et de MM. Fernbach et Wolff, l'influence des sels sur la viscosité et la composition des empois obtenus par cuisson sous pression. La nature de l'eau modifie plus ou moins la réaction du milieu; les eaux riches en bicarbonate de chaux agissent comme neutralisantes et retardent la liquéfaction de l'empois. Kusserow a ainsi préconisé le traitement des eaux calcaires par l'acide sulfurique pour faire disparaître cette action nuisible. Nous verrons plus loin, en étudiant spécialement le procédé de saccharification et fermentation par les mucédinées, comment MM. Collette et Boidin ont également utilisé l'action favorisante des phosphates acides pour la liquéfaction de l'amidon pendant la cuisson. Dans tous les cas, l'addition à l'eau de la quantité d'acide sulfurique suffisante pour transformer en phosphates acides les phosphates neutres des grains, tout en laissant le milieu neutre à l'hélianthine, nous semble particulièrement recommandable, car on diminue ainsi la caramélisation, on liquéfie l'amidon et on obtient une matière fluide, beaucoup plus facile à saccharifier, et qui présente la réaction optima pour le travail de la diastase.

En pratique, le travail du maïs s'effectue de la façon suivante : on introduit dans le cuiseur la quantité d'eau nécessaire, déterminée comme nous l'avons vu plus haut, et on la porte à l'ébullition. On fait alors arriver lentement le maïs en maintenant l'ébullition jusqu'à ce que le chargement soit complet, on ferme le trou d'homme supérieur, et on

continue l'admission de vapeur en laissant échapper par la soupape un jet de vapeur, de manière à monter lentement en pression. On atteint en une demi-heure la pression de 2 kilogrammes à 2 kgr. 500, qu'on maintient pendant une heure en travaillant sans cesse à soupape soufflante; puis on ferme le robinet soufflant, on monte à 3 kgr. 500-4 kilogrammes et on maintient cette pression un quart d'heure à une demi-heure. La cuisson dure donc trois heures environ. Quand elle est terminée, on vide brusquement le cuiseur sous la pression finale de 3 kgr. 500 à 4 kilogrammes.

Cette méthode de travail peut subir quelques modifications. On peut par exemple faire bouillir pendant une heure le mélange de maïs et d'eau, avec le trou d'homme fermé pour éviter les projections, mais en laissant échapper la vapeur par une tubulure assez large pour qu'aucune pression ne puisse s'accumuler dans l'appareil. Au bout d'une heure, on ferme partiellement le robinet de la tubulure, de manière à laisser toujours échapper un jet de vapeur qui assure le mouvement de la masse dans le cuiseur, on monte à une pression de 2 kilogrammes à 2 kgr. 500 qu'on maintient une heure et on termine la cuisson à 3 kgr. 500-4 kilogrammes de pression.

On peut également faire tremper le maïs dans l'eau chaude du soir au lendemain matin, ce qui réduit ultérieurement la durée de la cuisson, ou commencer la cuisson dès le soir et laisser le cuiseur en pression pendant toute la nuit, sans dépasser 2 atmosphères. Il ne reste plus qu'à compléter rapidement la cuisson le matin en portant quelques instants la masse à 3 ou 4 atmosphères, ce qui permet d'économiser beaucoup de temps.

L'emploi de dépeleurs et d'appareils broyeur pour compléter la division de la masse n'est pas nécessaire si la cuisson est bien conduite et si la construction du cuiseur est rationnelle. Toutefois, on peut, en recourant à ces appareils, cuire à une pression moins élevée et pendant un temps plus faible pour réduire la caramélisation.

La disposition des cuiseurs en batterie, décrite précédemment, permet une grande économie de vapeur. On peut d'ailleurs utiliser, dans le cas contraire, la vapeur d'échappement des cuiseurs pour chauffer l'eau qui alimente les générateurs ou obtenir de l'eau stérilisée pour la dilution des moûts.

Quand la cuisson du grain est terminée, on vide brusquement le cuiseur dans le macérateur, au contact du lait de malt préparé à l'avance. Cette vidange doit avoir lieu avec quelques précautions. On commence par fabriquer le lait de malt à l'aide des appareils étudiés plus haut; la proportion de malt employé varie de 10 à 15 p. 100 du poids du grain, suivant la nature du malt. Il importe d'éviter le plus possible, pendant la vidange du cuiseur, de détruire partiellement la diastase par suite de la température élevée de l'empois qui arrive dans le macérateur. Autrefois, avec les cuves matières ordinaires, dans lesquelles la réfrigération et l'agitation laissent à désirer, le danger d'altérer la diastase était considérable, et la vidange devait avoir lieu, à travers l'exhausteur, en veillant avec grand soin à modérer la vitesse de manière à ne pas élever trop rapidement la température et à ne pas dépasser 65°. Aujourd'hui, avec les macérateurs perfectionnés munis d'un agitateur et d'un réfrigérant très puissants, le travail est beaucoup plus facile; il suffit

d'agiter fortement la masse pendant la vidange afin d'égaliser instantanément les températures, et de régler les quantités d'empois et d'eau de refroidissement, de manière à ne pas dépasser pendant l'évacuation de la majeure partie du cuiseur, la température de 55°. Quand la vidange est très avancée, on laisse monter la température au degré final choisi, qui est ordinairement de 60 à 62°, pour les raisons que nous avons exposées plus haut; avec certaines matières premières, on doit cependant atteindre 66-67°. Dans ce cas, il est plus que jamais nécessaire de faire la majeure partie du travail de saccharification à 55°, afin de produire une forte quantité de maltose qui préserve ensuite la diastase contre le chauffage à 66-67°, qu'on réalise seulement à la fin de l'opération. La durée de saccharification est très variable; il est en général préférable de prolonger le travail pendant un temps suffisant pour que la température finale puisse produire l'affaiblissement des organismes nuisibles et augmenter le rendement du malt en extrait, c'est-à-dire pendant une heure environ. Le malt doit être employé en totalité dès le début de la saccharification, car son utilisation comme matière amylacée est d'autant plus parfaite que la durée de contact avec la diastase est plus grande. Il n'est donc pas recommandable d'ajouter le malt en deux ou trois portions, à moins que la disposition des appareils ne rende ce mode de travail indispensable.

Pour éviter toute crainte de destruction de diastase pendant la vidange, certaines grandes usines vident le cuiseur brusquement dans un récipient spécial formé par un cylindre métallique horizontal, d'où on laisse couler avec la vitesse voulue la masse

dans le macérateur. Cette méthode a l'avantage de

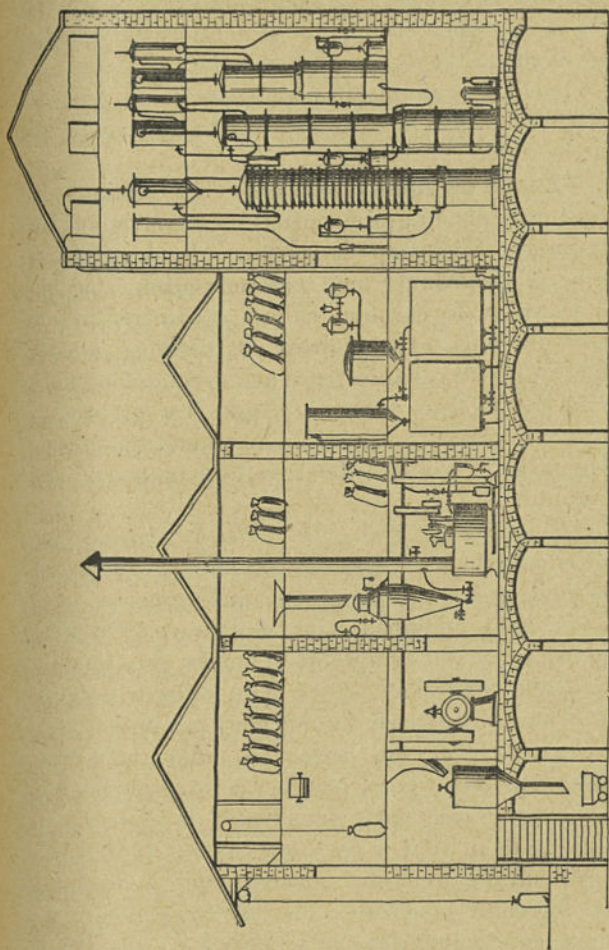


Fig. 43. — Installation d'une distillerie de grains avec travail par cuisson sous pression
(Crépelle-Fontaine, constructeur à La Madeleine-les-Lille).

permettre une vidange très brutale qui divise très finement la matière, par suite de la diminution sou-

daine de la pression, de supprimer l'exhausteur et la vapeur qu'il dépense et de permettre la récupération de la vapeur qui s'échappe de la matière en vidange pour le chauffage de l'eau destinée à la cuisson.

Le mode de cuisson du maïs, spécial au procédé Collette et Boidin, sera étudié au chapitre consacré à ce procédé.

b) *Travail du maïs concassé.* — La méthode de travail du maïs en grains entiers a l'inconvénient de consommer beaucoup de vapeur, de durer longtemps, d'occasionner une caramélisation sensible des hydrates de carbone, et une décomposition de l'huile du maïs, et de fournir des drèches dont la valeur nutritive est inférieure aux drèches obtenues par le travail sans pression. Aussi il s'est produit dans ces dernières années un mouvement sensible de retour vers le procédé de travail du maïs concassé ou moulu.

Cette méthode avait été d'abord réalisée par Hollefreund dans un appareil que nous avons décrit plus haut, puis on a travaillé le maïs concassé dans les cuiseurs coniques sans agitateurs. On s'est aujourd'hui rendu compte que l'emploi rationnel de ce procédé exige l'utilisation d'un cuiseur à agitateur. Quand l'appareil à cuire n'est pas muni d'agitateur, il se forme des pelotes au moment de l'empâtage et pendant la cuisson la masse se transforme en un empois très épais dans lequel la distribution régulière de la vapeur est impossible. Ces inconvénients sont d'autant plus sensibles que le maïs est plus finement concassé; on peut cependant les réduire en ajoutant dans le cuiseur 1 à 1,5 p. 100 de malt afin de liquéfier partiellement la masse à 67-70 degrés, comme l'a recommandé Riebe, mais

cette dernière méthode offre le désavantage d'exposer à la caramélisation la petite quantité de maltose qui se forme inévitablement pendant ce traitement.

Le grain est d'abord concassé au moyen de moulins ou broyé par des meules. On place alors dans le cuiseur environ 200 litres d'eau par 100 kilogrammes de maïs, on chauffe à 60-65 degrés, puis on fait arriver lentement le grain finement moulu en maintenant l'agitateur du cuiseur constamment en mouvement. On porte à l'ébullition, on ferme le cuiseur et on fait monter doucement la pression de manière à atteindre 3 atmosphères au bout d'une heure environ. On maintient cette pression un quart d'heure, et on procède à la vidange du cuiseur dans le macérateur, et à la saccharification comme nous l'avons vu précédemment. On obtient ainsi une masse beaucoup moins colorée qu'avec le travail en grains entiers, l'alcool produit a plus de finesse, la cuisson est plus courte et la drèche obtenue est beaucoup mieux acceptée par les animaux. En outre, la fermentation des moûts ainsi préparés est plus facile, car ils renferment beaucoup moins de produits de décomposition de l'huile et des matières hydrocarbonées, produits qui exercent toujours une action plus ou moins antiseptique.

Par contre, l'emploi de l'agitateur dans le cuiseur occasionne une dépense sensible de force motrice; la mouture exige du personnel et un matériel supplémentaire; il y a des pertes sous la forme de folle farine. Cette méthode est donc assez coûteuse.

La pratique de la cuisson est variable suivant l'état de division du grain. La méthode décrite ci-dessus s'applique au grain finement moulu; si le

grain est plus grossièrement concassé, on doit augmenter la durée de la cuisson.

On peut enfin adopter le mode de travail exposé à propos de la cuisson du maïs entier, mais en employant du maïs concassé simplement en trois ou quatre fragments. Cette méthode est avantageuse, car elle n'exige pas l'emploi d'un cuiseur à agitateur; en outre, la durée de la cuisson est plus faible et il n'est pas nécessaire d'atteindre une pression aussi élevée que dans le travail en grains entiers.

Dans les distilleries belges, on employait autrefois une méthode, aujourd'hui abandonnée, qui permettait la préparation de moûts extrêmement concentrés, à cause de la législation adoptée à cette époque. Le maïs, préalablement trempé dans de l'eau additionnée d'acide sulfureux, était ensuite desséché à la touraille de manière à abaisser sa teneur en eau à 7-8 p. 100. Le maïs ainsi traité était moulu, et empâté dans le cuiseur avec 115 litres d'eau à 60 degrés par 100 kilogrammes de matière première, et 5 p. 100 de malt moulu. La cuisson se faisait dans un cuiseur à agitateur à une pression de 2 à 3 atmosphères; la masse était alors vidée dans le macérateur, refroidie à 75 degrés, et additionnée de farine de malt, de manière à obtenir finalement la température de 63 degrés nécessaire à la saccharification.

Procédé Mandl. — Ce procédé a pour but d'éviter la caramélisation qui se produit aux hautes températures, tout en maintenant la forte pression nécessaire à la désagrégation du grain, au moyen d'une injection d'air comprimé. Le maïs moulu est chauffé d'abord pendant deux heures à 1 kilogramme — 1 kgr. 500 de pression de vapeur, puis

on porte la pression à 4 kilogrammes pendant deux heures au moyen d'air comprimé. La méthode a donné de bons résultats, mais l'influence de l'air comprimé y est plus que douteuse, et le procédé de Mandl n'est en réalité qu'un procédé de travail du maïs moulu avec cuisson à faible pression prolongée pendant quatre heures, ce qui permet d'obtenir des moûts moins caramélisés et un alcool de meilleure qualité. La méthode ne s'est pas répandue dans la pratique.

3° Procédés de travail du maïs avec saccharification par les acides. — Dans les méthodes exposées jusqu'ici, on opère la saccharification au moyen du malt. On peut également saccharifier l'amidon par les acides. Les acides étendus, à l'ébullition, transforment en effet l'amidon d'abord en amidon soluble, puis en dextrines et enfin en glucose. Cette méthode a le grand avantage de permettre une stérilisation parfaite du moût, impossible à réaliser dans le travail avec le malt. Cependant la méthode est aujourd'hui assez peu employée, car elle fournit un rendement plus faible en alcool et elle entraîne une grande diminution de la valeur des drèches. On l'applique cependant encore dans quelques distilleries, notamment dans les pays chauds, où la production du malt est difficile; on l'emploie aussi dans certaines distilleries françaises de mélasses, pour la préparation de moûts de levains à base de grains.

La saccharification du maïs par l'acide peut se faire soit à l'air libre, soit sous pression.

Saccharification par l'acide à l'air libre. — Le maïs concassé ou moulu est travaillé dans une solide cuve en bois munie d'un barboteur de vapeur et d'un

agitateur. On commence par placer de l'eau dans la cuve, à raison de 300 à 400 litres par 100 kilogrammes de maïs; puis on additionne cette eau d'acide sulfurique (environ 5 p. 100 du poids du grain), ou mieux d'acide chlorhydrique (environ 10 p. 100 du poids du grain). On fait barboter la vapeur, et dès que le liquide est en ébullition, on introduit le maïs concassé. On maintient l'ébullition jusqu'à ce que la saccharification soit complète, ce qui demande de huit à douze heures.

Il est assez difficile de déterminer le point où on doit arrêter la saccharification. Théoriquement, on devrait prolonger l'ébullition jusqu'à ce que tout l'amidon soit transformé en glucose fermentescible. Mais un deuxième phénomène intervient alors: l'ébullition prolongée en présence d'acide détruit partiellement le glucose formé, le liquide noircit et il se produit du caramel qui gêne la fermentation. On doit donc s'arrêter assez tôt pour détruire aussi peu que possible le glucose formé, et prolonger cependant le traitement assez longtemps pour que la saccharification soit suffisante. La pratique seule permet de déterminer les meilleures conditions pour chaque mode de travail. On a cependant l'habitude de prendre de temps à autre un échantillon de moût, de le filtrer et d'additionner le liquide filtré de trois fois son volume d'alcool à 95 degrés. Dans ces conditions, les dextrines se précipitent sous la forme floconneuse. On considère la saccharification comme terminée quand il ne se produit plus qu'un très léger louche, ce qui indique que presque toutes les dextrines ont été transformées en glucose. Mais ce procédé ne peut donner que des renseignements peu précis.

La saccharification terminée, on neutralise à chaud

la majeure partie de l'acidité au moyen du carbonate de chaux, ou à froid au moyen de la chaux, en laissant dans le moût une acidité de 1 gramme à 1 gr. 5 par litre, évaluée en acide sulfurique. Si la neutralisation a eu lieu à chaud, on refroidit alors la masse à la température de fermentation, par une des méthodes que nous étudierons plus loin.

Cette méthode de saccharification par l'acide à l'air libre peut subir quelque modifications. On peut, par exemple, transformer au préalable la farine de maïs en empois dans un macérateur et saccharifier par l'acide l'empois ainsi obtenu. On peut également cuire d'abord sous pression le maïs entier ou concassé, vider la matière cuite dans la cuve au contact de l'eau acidulée et saccharifier l'amidon en faisant bouillir pendant le temps voulu.

Saccharification par l'acide sous pression. —

La méthode précédente est très coûteuse à cause de la grande proportion d'acide qu'on emploie et de la forte dépense de vapeur nécessitée par la longue ébullition du liquide. La saccharification par l'acide sous pression permet de réaliser une grande économie de vapeur, d'acide et de temps.

Cette opération s'effectue dans le Krüger ou dans un autoclave horizontal analogue à ceux que nous avons décrits plus haut. On place d'abord dans l'appareil de l'eau acidulée par de l'acide chlorhydrique à raison de 200 litres d'eau et de 4 kilogrammes à 4 kgr. 500 d'acide pour 100 kilogrammes de maïs. On chauffe à l'ébullition en injectant de la vapeur et on fait arriver peu à peu le maïs sans interrompre l'ébullition. On ferme alors le trou d'homme et on injecte plus fortement la vapeur en laissant ouvert le robinet d'air. Quand l'air est chassé, on

ferme ce robinet, et on laisse monter la pression à 3 kilogrammes. Au bout de quarante à cinquante minutes, la saccharification est terminée. On ouvre alors le robinet de vidange et on envoie le liquide dans une cuve où il est neutralisé, comme nous l'avons vu plus haut. Il est préférable de cuire un peu plus longtemps, par exemple pendant une heure un quart à une heure et demie, à une pression de 2 kilogrammes, plutôt que de chercher à réduire la durée de l'opération en saccharifiant à haute pression. La caramélisation est moins à craindre avec les faibles pressions et le rendement est meilleur.

Le travail peut également se faire après transformation de l'amidon en empois. Dans ce cas, on empèse d'abord la farine de maïs dans un macérateur, et on fait couler ensuite la masse dans le saccharificateur, ou bien on cuit le maïs sous pression, on vide, on mélange l'empois avec l'eau acidulée et on saccharifie dans le Krüger. Rappelons enfin qu'avec le saccharificateur horizontal de Warein et DeFrance, on peut d'abord cuire le maïs sous pression, puis faire arriver, par la pression du générateur, l'acide chlorhydrique dans le cuiseur au contact de l'empois. La durée de l'action de l'acide est ainsi considérablement diminuée et la saccharification est complète en vingt minutes.

Travail du seigle, de l'orge et du blé.

On peut diviser les méthodes de traitement de ces céréales en trois classes, comme nous l'avons fait pour le maïs :

1° Les méthodes de travail sans pression avec saccharification par le malt;

2° Les méthodes de travail sous pression avec saccharification par le malt ;

3° Les méthodes de travail avec ou sans pression avec saccharification par les acides.

1° Travail sans cuisson sous pression avec saccharification par le malt. — Les procédés de traitement des céréales sans pression sont encore employés aujourd'hui dans les distilleries anglaises et allemandes qui produisent des eaux-de-vie de grains, dans les fabriques de genièvre en France, et dans les fabriques de levure pressée.

Le travail peut se faire soit à moûts clairs, soit à moûts troubles. Dans le premier cas, on sépare toutes les parties insolubles du moût avant de l'envoyer en fermentation ; dans le second cas, on fait fermenter le moût avec toutes ces parties insolubles.

a) *Travail à moûts clairs.* — Les méthodes de travail à moûts clairs sont surtout employées dans les distilleries anglaises et dans les fabriques belges, allemandes et autrichiennes qui produisent la levure pressée par travail en moûts clairs avec aération.

La méthode anglaise a été autrefois très employée en France, mais elle est aujourd'hui complètement abandonnée. L'opération se fait dans une cuve matière munie d'un agitateur et d'un faux-fond perforé destiné à retenir la drèche. Le grain est d'abord moulu par des meules, et mélangé avec une proportion de malt concassé très variable, qui oscille entre 8 et 50 p. 100 du poids de la mouture. La mouture passe dans un hydrateur qui la transforme en une pâte homogène et tombe dans la cuve matière ; on fait alors arriver de l'eau à 70-75°, et après quelque temps d'agitation, on monte à 65° par addition d'eau presque bouillante. La saccharifica-

tion s'opère à cette température. On laisse en repos pendant deux heures, puis on soutire le moût clair par le faux-fond de la cuve matière. On trempe de nouveau avec de l'eau très chaude, et après agitation, on abandonne au repos pendant une heure et on soutire de nouveau. Cette eau ainsi soutirée sert à empâter l'opération suivante; mais, pour améliorer le rendement, certaines distilleries mélangent les deux premiers moûts et font encore un, deux ou trois lavages complémentaires qui servent pour le traitement suivant. On obtient ainsi un rendement plus élevé; mais les moûts sont plus dilués et le travail est plus compliqué.

Ce mode de travail à moûts clairs a l'avantage de donner des alcools très purs et de permettre la distillation à feu nu, à cause de la limpidité des moûts qu'il fournit. Par contre, le rendement qu'il donne est inférieur à celui qu'on obtient avec les moûts épais, car jamais l'amidon ne peut être entièrement saccharifié par cette méthode. En outre, comme on ne peut employer de la farine fine qui rendrait les filtrations difficiles, les quantités d'amidon non dissoutes sont assez considérables. Enfin le lavage est toujours imparfait et les drèches retiennent forcément une proportion de sucre fermentescible variable avec le degré d'épuisement.

La méthode de préparation des moûts clairs pour la fabrication de la levure pressée sera étudiée plus loin, dans le chapitre consacré à cette fabrication.

b) Travail à moûts épais. — Ce mode de travail est encore répandu en Allemagne et en Belgique pour la fabrication des eaux-de-vie de grains, mais il est peu répandu en France. Cependant on l'utilise dans les distilleries de genièvre, dans les fabriques

de levure qui travaillent par la méthode viennoise, et en général pour la préparation des levains par la méthode allemande.

La préparation du moût peut se faire par plusieurs méthodes. Le procédé le plus simple consiste à placer dans la cuve matière de l'eau à la température de 70 degrés et à y introduire peu à peu la mouture de grains et de malt en agitant constamment. La température s'abaisse, et on ajoute au besoin de l'eau chaude pour élever de nouveau la température à 65 degrés. Cette méthode est très primitive, la trempe du grain n'y est pas uniforme et il se produit facilement des grumeaux.

Un procédé plus parfait consiste à empâter au préalable la farine dans la cuve matière avec de l'eau à 50-60 degrés, de manière à avoir une température finale de 45 degrés environ. On monte alors à 63-65 degrés par addition d'eau chaude, et on abandonne le moût à la saccharification. On peut, avec avantage, remplacer l'addition d'eau chaude par une injection de vapeur à condition de mélanger intimement la masse. On obtient ainsi un moût plus concentré qu'avec l'addition d'eau chaude.

Dans ces méthodes, la dissolution de l'amidon du seigle, du blé et de l'orge ne peut pas être complète. Cependant Lintner a montré que l'amidon de ces céréales peut être dissous à la température de 65 degrés, soit 15 ou 20 degrés au-dessous du point d'empesage, dans la proportion de 95 p. 100 environ, tandis que celui du maïs et du riz n'est dissous que dans la proportion de 30 à 50 p. 100. Ces méthodes sont donc applicables au seigle, à l'orge, au blé, à l'avoine; mais avec le maïs et le riz, il serait nécessaire, pour avoir un rendement satisfai-

sant, de chauffer au préalable la farine à la température de formation d'empois, soit 80-85 degrés, de refroidir à la température de saccharification et d'ajouter ensuite le malt, ou de faire tomber cet empois dans le lait de malt préparé à part, ce qui fait monter la température au degré convenable pour la saccharification.

Voici, d'après Maercker et Delbrück, le mode de travail adopté dans les fabriques allemandes d'eau-de-vie de grains. Les matières premières employées sont le seigle ou le froment seuls ou mélangés au maïs, et on utilise pour la saccharification le malt d'orge touraillé, dans la proportion de 5 à 25 p. 100 du poids du grain, suivant les usines et la qualité de l'eau-de-vie à produire. Les céréales sont d'abord finement moulues, puis trempées pendant plusieurs heures dans l'eau froide additionnée de 100 à 150 centimètres cubes d'acide sulfurique à 66 degrés B. par 100 kilogrammes de farine. La masse pâteuse est alors portée lentement à 45 degrés au moyen de la vapeur, en agitant constamment; on ajoute les deux tiers du malt, et on monte alors à la température de 50 degrés qu'on maintient pendant trente minutes. Le reste du malt est introduit quand la température de saccharification est atteinte, soit 63-65 degrés. Parfois cependant on ajoute tout le malt à 48 degrés, ou bien on en réserve une faible partie qu'on introduit après saccharification, pendant le refroidissement, afin de favoriser la fermentation complémentaire.

Les méthodes spéciales de préparation des moûts épais pour la production des levains par le procédé allemand et dans les fabriques de levure viennoise seront étudiées dans le chapitre consacré à ces fabrications.

Les appareils employés pour le travail des céréales à moutés épais sont très variables. Dans les petites distilleries, on se sert de cuves matières en bois, dans lesquelles l'agitation se fait à bras d'homme. Dans les usines plus grandes, on emploie les cuves matières en bois, avec agitateurs mécaniques plus ou moins compliqués. Enfin les distilleries modernes emploient les macérateurs perfectionnés que nous avons décrits précédemment.

2° Travail avec cuisson sous pression et saccharification par le malt. — La cuisson du seigle, du blé et de l'orge peut se faire en grains entiers en suivant les principes exposés pour le traitement du maïs par cuisson sous pression. On travaille surtout le seigle par cette méthode,

On place dans le cuiseur 150 à 200 litres d'eau par 100 kilogrammes de seigle et on porte à l'ébullition. On y fait arriver peu à peu le seigle, sans que l'eau cesse de bouillir, et on continue l'ébullition sous pression très faible jusqu'à ce que le grain soit bien ramolli. On élève alors peu à peu la pression, en travaillant à soupape soufflante, pendant une heure et demie, puis on ferme la soupape, on monte à la pression de 4 atmosphères qu'on maintient une demi-heure, et on vide sous cette pression l'empois dans le macérateur au contact du malt.

Si les grains ont été récoltés dans de mauvaises conditions et sont humides, Delbrück conseille de les faire tremper au préalable pendant douze heures dans de l'eau à 50 degrés, à raison de 80 litres d'eau par 100 kilogrammes de seigle. Il est nécessaire d'ajouter à cette eau un sixième de litre d'acide sulfurique pour éviter toute altération de l'eau pendant cette trempe prolongée. On fait alors

écouler l'eau acidulée, on introduit le seigle dans le cuiseur, on y ajoute la quantité d'eau nécessaire, on chauffe à soupape soufflante pendant une heure, puis on ferme la soupape, et on maintient encore une heure sous forte pression avant de vider le cuiseur.

Quand le seigle est très humide, sa trempe est difficile, mais il suffit de le dessécher au préalable sur le plateau d'une touraille pour qu'il se travaille ensuite sans aucune difficulté.

La cuisson sous pression peut également s'effectuer avec avantage sur les grains concassés ou moulus, dans les cuiseurs munis d'agitateurs, comme nous l'avons vu pour le maïs.

3° Travail avec ou sans pression et saccharification par les acides. — Les céréales peuvent enfin être traitées par les acides; toutefois ce mode de travail, appliqué au maïs, est rarement employé pour les autres grains. La saccharification peut se faire soit à l'air libre, soit sous pression, par les méthodes que nous avons exposées pour le traitement du maïs. Toutefois, le blé, le seigle peuvent être travaillés en grains entiers par l'acide. Dans le travail sous pression, il suffit de monter à 2 atmosphères et de maintenir cette pression pendant une heure et demie pour avoir une saccharification complète.

Travail des pommes de terre.

Les pommes de terre doivent subir d'abord un lavage, puis la cuisson qui transforme la fécule en empis et enfin la saccharification par le malt.

Lavage des pommes de terre. — Il est d'abord nécessaire de débarrasser la pomme de terre

des particules terreuses qui la recouvrent. La terre, le sable et les pierres occasionnent en effet des accidents dans les cuiseurs à haute pression, et salissent les appareils. Ce lavage peut s'effectuer dans les laveurs ordinaires composés d'une bêche dans laquelle tourne un arbre horizontal muni de bras. La bêche porte un faux-fond à travers lequel passe la boue, et les bras de l'agitateur viennent passer près de ce faux-fond en assurant le brassage des tubercules. L'eau circule en sens inverse des pommes de terre, comme dans les laveurs à betteraves, auxquels il suffira de se reporter pour plus de détails.

Cuisson de la pomme de terre. — Pendant longtemps, la cuisson de la pomme de terre s'est effectuée à l'air libre. On plaçait les tubercules dans la cuve en bois que nous avons précédemment décrite, et on faisait arriver la vapeur. L'eau condensée s'écoulait au-dessous du faux-fond. La cuisson demandait environ trois heures, et quand elle était suffisante, on faisait passer la masse dans le broyeur à cylindres, et la matière broyée tombait dans la cuve matière au contact du malt.

Cette méthode est aujourd'hui complètement abandonnée et remplacée par la cuisson sous pression. On emploie pour ce travail les cuiseurs coniques ou cylindro-coniques sans agitateurs, dont nous avons déjà décrit les principaux modèles. La cuisson des pommes de terre normales dans le cuiseur conique se fait de la façon suivante : les générateurs étant bien alimentés et la pression élevée, on remplit le cuiseur de pommes de terre, sans ajouter d'eau, car les tubercules en contiennent assez pour la cuisson. Cent kilogrammes de pommes de terre demandent 140 à 170 litres de capacité, suivant la richesse en

fécule, soit en moyenne 155 litres. On ferme le cuisEUR et on fait arriver la vapeur seulement par la partie supérieure, en laissant ouvert à la partie inférieure le robinet de purge qui sert à l'évacuation de l'air et de l'eau condensée. La masse s'échauffe progressivement jusqu'en bas. Quand la vapeur se dégage par le robinet de purge, on ferme celui-ci et on continue l'injection de vapeur par la partie supérieure de manière à monter jusqu'à une pression de 2 atmosphères. On ferme alors la soupape supérieure de vapeur, et on monte jusqu'à 3 atmosphères en envoyant de la vapeur par la soupape inférieure. On maintient cette pression dix à quinze minutes, puis on vide en ouvrant en même temps la soupape supérieure de vapeur. Il est nécessaire d'effectuer la vidange à haute pression, afin d'assurer la division parfaite de la masse. La durée de l'opération est d'environ une heure.

Si les pommes de terre sont très riches en amidon, il est préférable de monter d'abord à 1 atmosphère en faisant arriver la vapeur par le haut, puis on ferme la soupape supérieure et on injecte la vapeur par le bas en montant très lentement en pression jusqu'à 3-3, 5 atmosphères, et en travaillant à soupape soufflante, et on vide à 4 atmosphères.

Si les pommes de terre sont gelées ou pourries, il est nécessaire de cuire très lentement pour éviter la formation d'une masse compacte dans laquelle la répartition de la vapeur serait très inégale. On cuit d'abord pendant une heure sans pression, en faisant passer la vapeur dans l'appareil; on monte ensuite à la pression de 3 atmosphères qu'on maintient pendant un quart d'heure, puis on vide à 4 atmosphères.

Avant la vidange de l'empois, on place dans le

macérateur la quantité de malt nécessaire à la saccharification, et on procède à la préparation du lait de malt. La proportion de malt à employer varie avec le matériel utilisé pour la saccharification et avec le pouvoir diastasique du malt. Avec les anciennes cuves matières où l'agitation laisse à désirer et où la destruction de diastase est à craindre, on employait 5 à 6 kilogrammes d'orge sous forme de malt par 100 kilogrammes de pommes de terre. Grâce à l'emploi de l'exhausteur et des macérateurs perfectionnés, on a pu abaisser cette quantité à 2,5-3 kilogrammes de malt vert par 100 kilogrammes de pommes de terre pour la saccharification. Si on y ajoute une quantité de malt à peu près égale pour la préparation du moût de levain, on voit qu'on consomme environ 5 à 6 kilogrammes de malt vert, c'est-à-dire 4 à 4, 5 kilogrammes d'orge par quintal de matière première. En employant le malt long, on peut réduire cette quantité à 2,5 kilogrammes.

Le lait de malt doit avoir dans le macérateur un volume suffisant pour que l'agitateur puisse brasser la masse dès le début du travail. La cuisson étant terminée, on vide le cuiseur dans le macérateur, sous forte agitation, en ayant soin de ne pas dépasser, pendant la majeure partie de la vidange, la température de 55 à 56°. On se sert à cet effet du réfrigérant du macérateur. Quand la plus grande partie du cuiseur est évacuée, on monte à 60 ou 62°, si le malt est de bonne qualité, et à 66-67° s'il est mauvais et chargé de bactéries. La durée de saccharification est variable; on peut obtenir d'excellents résultats avec une durée de dix à quinze minutes; dans d'autres cas, il faut prolonger la saccharifica-

tion pendant une heure et demie, surtout si le moût contient beaucoup d'organismes nuisibles par suite de la qualité défectueuse du malt.

Le moût ainsi préparé doit alors être refroidi à la température convenable pour la fermentation alcoolique. Nous exposerons plus loin les méthodes et les appareils employés pour ce refroidissement.

Travail des autres matières amylacées.

Le riz peut être travaillé comme le maïs ; toutefois la cuisson sous pression en grains entiers est difficile, et il est préférable de le travailler moulu, dans un cuiseur à agitateur. On peut employer aussi la méthode de cuisson sans pression, mais il ne faut pas perdre de vue, dans ce cas, que l'amidon de riz n'est bien attaqué par la diastase que quand il a été chauffé au moins à 70°-75°, température à laquelle il se transforme en empois. Il est donc nécessaire d'empâter au préalable le riz avec de l'eau tiède, de chauffer à 75°, puis de refroidir à 50-55° avant d'ajouter le malt. Ce travail doit naturellement se faire avec le riz finement moulu. On traite enfin le riz, en Italie, par le procédé de saccharification à l'acide.

Le travail du dari se fait également comme celui du maïs. Le sarrasin est utilisé assez fréquemment dans les fabriques de levure pressée : on doit l'employer décortiqué et moulu et on le traite comme les céréales, par les procédés de travail sans pression et à moût trouble.

Depuis quelques années, on a travaillé en France beaucoup de manioc. Les rhizomes de manioc sont

très irréguliers : ils renferment parfois beaucoup de fibres ligneuses et d'impuretés. On les réduit en farine par passage à la râpe centrifuge décrite en distillerie de betteraves, puis on cuit la farine sous pression avec quatre fois son poids d'eau. La cuisson doit être de courte durée. L'amidon de manioc ne s'empêse qu'à 69°, mais à cette température, l'empesage se fait très vite. L'empois obtenu est alors saccharifié par le malt.

Travail simultané des diverses matières amylacées.

Maïs et pommes de terre. — Le plus souvent, on se sert pour la cuisson du maïs d'un petit cuiseur spécial, et on vide la masse après cuisson dans le macérateur où se trouve le moût de pommes de terre. On peut cependant travailler ensemble le maïs et les pommes de terre dans le même cuiseur. Delbrück conseille dans ce cas d'opérer de la façon suivante. Si les pommes de terre sont riches en fécule, on place au fond du cuiseur 125 kilogrammes de pommes de terre, puis 200 kilogrammes de maïs entier, et on ajoute 60 à 80 litres d'eau par 100 kilogrammes de maïs. On chauffe, et on ajoute peu à peu le reste des pommes (1.500 kilogrammes) sur le maïs. On ferme le trou d'homme, on chasse l'air et on monte rapidement à 3,5-4 atmosphères. On maintient la pression pendant une heure avec les maïs tendres et une heure et demie avec les maïs durs. Si les pommes de terre sont pauvres en amidon, on trempe d'abord le maïs pendant vingt-quatre heures dans l'eau chaude dont la température ne doit pas

descendre au-dessous de 62-63°. Le maïs ainsi trempé est alors introduit dans le cuiseur avec les pommes de terre en plaçant au fond une couche de 200 kilogrammes de tubercules, et ensuite le maïs trempé bien mélangé aux pommes de terre. On cuit alors à une très forte pression, qui peut atteindre 4 kgr. 5, et on procède à la vidange.

Seigle et pommes de terre. — Quand on travaille du seigle, du blé ou de l'orge avec des pommes de terre, on doit faire tremper le grain pendant douze heures dans de l'eau à 50 degrés, additionnée d'un peu d'acide sulfurique pour éviter toute altération. On place alors dans le cuiseur une couche de pommes de terre destinée à retenir le grain, puis on introduit le grain trempé et on achève de remplir l'appareil avec des pommes de terre. On cuit alors comme s'il s'agissait de pommes de terres seules, en maintenant cependant la pression plus élevée et pendant plus longtemps. Il faut ordinairement monter à 3, puis à 4 atmosphères pendant environ une heure et demie. La vidange se fait à 4 atmosphères et l'emploi du tube de Barthel donne ici d'excellents résultats.

VI. — ÉPULPAGE ET REFROIDISSEMENT DES MOÛTS

Épulpage des moûts. — Nous avons déjà étudié précédemment l'épulpage des moûts de betteraves. L'épulpage des moûts de matières amylicées est employé dans les pays où l'impôt est établi sur la capacité des cuves. Cette opération a l'avantage de rendre le moût moins épais et de faciliter par suite

la fermentation, de permettre une meilleure utilisation du volume des cuves et un fonctionnement plus régulier des appareils de distillation. On utilise dans ce but en Allemagne de nombreux appareils épulpeurs. Ces appareils n'étant pas utilisés en France, nous ne les décrivons pas ici.

Refroidissement des moûts. — Les moûts sucrés ainsi préparés aux dépens des betteraves, des mélasses ou des matières amylacées doivent être refroidis à la température favorable à la fermentation alcoolique.

La température des moûts de betteraves, à la sortie des appareils de préparation, est variable avec les modes de travail. Tantôt le jus est soutiré à une température très voisine de celle de la fermentation, tantôt il est soutiré plus ou moins tiède et il est alors nécessaire de le refroidir. Dans tous les cas, on a intérêt à avoir en distillerie de betteraves un puissant réfrigérant à jus qui amène rapidement le moût à la température voulue, et on doit assurer en même temps une bonne aération du liquide pour favoriser la multiplication de la levure.

Les moûts de mélasses préparés par les méthodes qui comportent le chauffage doivent également être refroidis au degré voulu.

Enfin les moûts de matières amylacées se trouvent, à la fin de la saccharification, à une température de 63-65 degrés et doivent être amenés au degré convenable pour qu'ils puissent êtreensemencés par la levure.

La stérilisation des moûts avant le refroidissement ne se fait qu'exceptionnellement, dans certaines méthodes spéciales de travail. La stérilisation des moûts de matières amylacées est impossible à cause

de la nécessité de conserver la diastase intacte pour la saccharification complémentaire pendant la fermentation; nous verrons cependant plus loin comment cette stérilisation peut être réalisée dans le procédé Collette et Boidin à l'Amylomyces. Les moûts de mélasses préparés avec chauffage sont stérilisés par l'opération du dénitrage. La stérilisation des moûts de mélasses destinés à la préparation des levains dans les distilleries de mélasses de cannes et aussi la stérilisation des jus de cannes et d'autres liquides sucrés peuvent être réalisées au moyen du stérilisateur récupérateur réfrigérant automatique, Egrot et Grangé (fig. 44).

Le fonctionnement de cet appareil est le suivant : le jus à stériliser est aspiré par une pompe à vapeur et refoulé dans un faisceau tubulaire; celui-ci comprend une série de tubes extérieurs renfermant chacun un faisceau de petits tubes intérieurs; ces faisceaux multitubulaires et les tubes extérieurs constituent deux courants dans lesquels le moût à stériliser s'échauffe au moyen du moût qui vient d'être stérilisé. Au sortir d'un faisceau, le moût à stériliser arrive dans un récipient de stationnement où il est mis en contact intime avec la vapeur de chauffage; la durée de contact est suffisamment longue, en raison de la capacité du récipient, pour assurer la stérilisation complète; à sa sortie du récipient, le jus stérilisé passe dans le second circuit du faisceau; il y cède sa chaleur au jus qui arrive; quelques éléments complètent la réfrigération au moyen d'eau froide. L'appareil est pourvu de régulateurs qui permettent, pour une température de stérilisation déterminée, d'ailleurs variable à volonté, de régler automatiquement la vitesse d'écoulement

du moult. Le nettoyage de l'appareil est très facile, car il suffit de desserrer un écrou pour enlever une boîte de fermeture et pouvoir nettoyer deux faisceaux tubulaires. Les quantités de jus traités peuvent varier de 10 hectolitres à 200 hectolitres par heure, suivant la puissance de l'appareil.

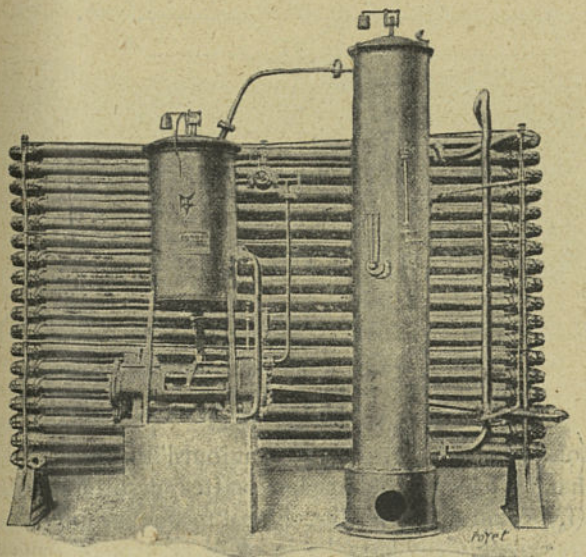


Fig. 44. — Stérilisateur-récupérateur réfrigérant automatique (Egrot et Grangé, constructeurs, Paris).

Les conditions théoriques à réaliser dans l'opération du refroidissement des moûts sont les suivantes : le travail doit se faire le plus rapidement possible, à l'abri des infections, dans des appareils dont le nettoyage doit être très facile. En pratique, ce résultat peut être obtenu soit au moyen de l'air seul, soit au moyen de l'eau seule, soit au moyen de l'air et de

l'eau combinés, soit enfin parfois au moyen de la glace.

Refroidissement par l'air. — Cette méthode a été longtemps employée pour les moûts de matières amylacées, quand on voulait éviter la dilution des moûts occasionnée par le refroidissement par addi-

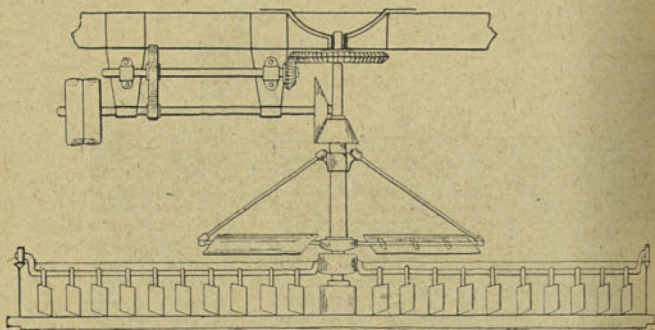


Fig. 45. — Ancien réfrigérant plat pour moûts de grains (d'après Lindet).

tion d'eau froide. Elle est aujourd'hui à peu près abandonnée, sauf dans les petites distilleries. Le réfrigérant employé (fig. 45) est formé par une large cuve plate, dans laquelle le moût se trouve exposé en couche mince. Cette cuve est munie d'un agitateur qui brasse la masse et renouvelle sans cesse la surface du liquide. Au-dessus se trouve un ventilateur à palettes, tournant rapidement à une faible distance du moût. Il se produit ainsi une évaporation active qui refroidit la masse, mais ce refroidissement est long, et pendant toute sa durée, le moût est exposé à la contamination par les ferments de l'air et par le développement des microbes qu'il contient déjà.

Refroidissement par l'eau. — Le refroidissement par l'eau est bien préférable et il existe un grand nombre d'appareils basés sur ce principe. Ce refroidissement peut s'obtenir soit dans les réfrigérants tubulaires dans lesquels le moût circule dans des tubes refroidis par un courant d'eau froide, soit au moyen des réfrigérants placés dans les appa-

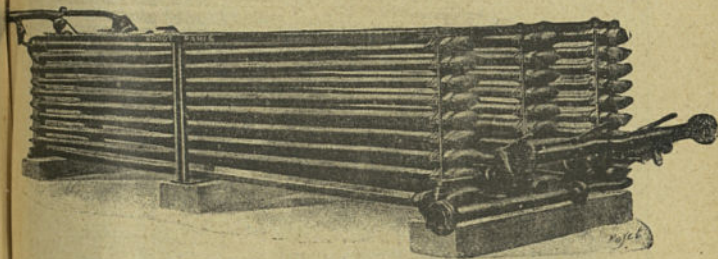


Fig. 46. — Réfrigérant automatique à grand rendement
(Egrot et Grangé, constructeurs, Paris).

reils de préparation des moûts et plongés dans le liquide à refroidir.

Le principe des réfrigérants tubulaires est le suivant : on fait circuler le moût à refroidir dans des tubes, tandis qu'on fait passer de l'eau froide dans l'espace intertubulaire et en sens inverse de la marche du moût. L'eau froide arrive donc au contact du moût refroidi, s'échauffe en refroidissant le liquide et s'échappe de l'appareil au point d'entrée du moût à refroidir. Il suffit par suite de régler la longueur des tubes et la vitesse du courant pour que le moût chaud sorte de l'appareil complètement refroidi.

Parmi les appareils utilisés dans ce but, nous citerons les réfrigérants tubulaires d'Egrot et Grangé, de Pingris, de Mollet-Fontaine, etc.

Le réfrigérant automatique à grand rendement, système Egrot et Grangé (fig. 46), se compose de faisceaux tubulaires formés des mêmes éléments que ceux du stérilisateur-récupérateur réfrigérant déjà

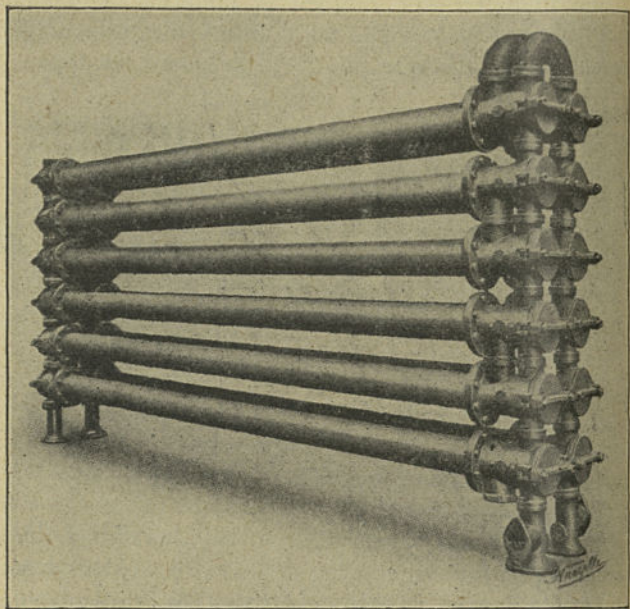


Fig. 47. — Réfrigérant fermé à circulation méthodique (Pingris, constructeur à Lille).

décrit. Il est parcouru d'un côté par le liquide à refroidir et de l'autre par l'eau de refroidissement. La circulation de ces liquides est assurée soit par charge naturelle, soit, s'il y a lieu, par pompes. La disposition de ces réfrigérants est très commode pour le nettoyage, en raison de la facilité de démontage.

Tous les constructeurs fabriquent aujourd'hui des

réfrigérants tubulaires constitués par des faisceaux de tubes à l'intérieur desquels circule le moût à refroidir, tandis que l'eau froide circule en sens inverse dans l'espace intertubulaire. Tous ces appareils sont recommandables, à condition d'être solides et de permettre un nettoyage facile de l'intérieur et de l'extérieur des tubes.

La figure 47 représente un réfrigérant fermé à circulation méthodique, de la maison Pingris, et la figure 48 un réfrigérant fermé construit par la maison Mollet-Fontaine.

Tous ces réfrigérants tubulaires sont utilisés pour le refroidissement des moûts de betteraves, de mélasses, et de matières amylacées, principalement dans les fabriques de levure pressée.

Le refroidissement peut également s'opérer au moyen de dispositifs de réfrigération placés dans les appareils de préparation des moûts. Cette méthode est employée pour le refroidissement des moûts de mélasses après chauffage, et surtout des moûts de grains après saccharification, grâce aux perfectionnements apportés dans la construction des macérateurs. Nous avons vu, en décrivant ces appareils, les principaux systèmes employés pour le refroidissement. On atteint le résultat cherché soit au moyen de poches d'eau qui plongent dans le macérateur, soit au moyen de serpentins, et on y adjoint parfois, dans certains appareils, le ruissellement de l'eau sur les parois extérieures du macérateur. Les poches d'eau ont été beaucoup utilisées autrefois; elles se font en cuivre ou en fonte: la tôle n'offre pas assez de résistance et s'use trop vite. La fonte donne de meilleurs résultats, mais elle est attaquée également au bout de quelque temps, à cause du frottement continu et violent

que provoquent les puissants agitateurs des macérateurs actuels. Le cuivre est encore le plus économique, car sa durée est beaucoup plus grande. On abandonne de plus en plus aujourd'hui les poches d'eau pour recourir aux serpentins dont la solidité est plus grande et dont l'usure est beaucoup moins rapide.

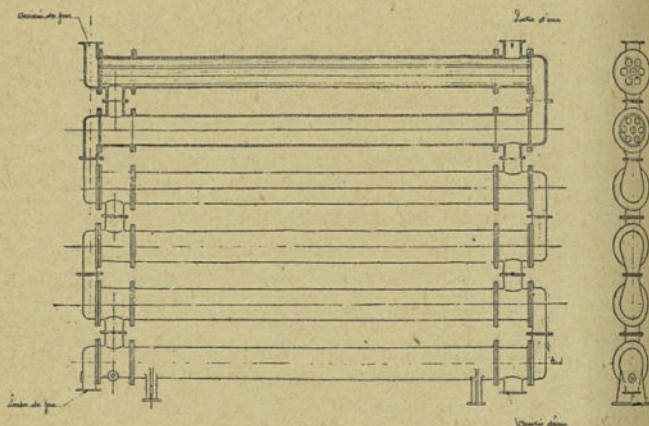


Fig. 48. — Réfrigérant fermé de 45 mq. de surface (Mollet-Fontaine, constructeur à Lille).

Quel que soit le dispositif adopté, il est nécessaire que les appareils soient construits de manière à pouvoir être démontés et nettoyés très facilement. Il se produit en effet très rapidement des dépôts à la surface des poches et des serpentins, et ces dépôts, mauvais conducteurs de la chaleur, diminuent beaucoup la puissance de réfrigération de l'organe. Aussi dans tous les macérateurs nouveaux, le serpentin est démontable, de manière à permettre un nettoyage facile.

D'après Delbrück, pour refroidir en un temps maximum d'une heure à une heure et demie un moût de 65° à 15-17°, un bon appareil ne doit pas consommer plus de 2 litres à 2 litres et demi d'eau à 10° par litre de moût.

Cette méthode de refroidissement dans le macérateur même présente de gros avantages; elle réduit beaucoup les dangers d'infection, et diminue le matériel; aussi, dans la plupart des cas, elle est adoptée par les distilleries de matières amylicées. Le moût qui sort du macérateur peut être alors envoyé directement aux cuves. Dans les grandes distilleries où il est nécessaire de rendre très vite le macérateur libre pour l'opération suivante, on fait cependant la saccharification et la réfrigération dans deux appareils différents.

Le refroidissement des moûts de mélasses après chauffage peut s'effectuer dans la cuve même d'après les mêmes principes. On emploie alors un serpentín qu'on dispose dans la cuve et dans lequel on fait circuler un courant d'eau froide. Cette méthode assure le refroidissement à l'abri des germes de l'air, mais le serpentín fait perdre beaucoup de place dans l'appareil. Parfois on complète la réfrigération en faisant ruisseler de l'eau à la surface extérieure de la cuve.

Refroidissement par l'air et l'eau combinés. —

On peut également utiliser, pour le refroidissement des moûts, les réfrigérants à ruissellement, dans lesquels on obtient l'effet voulu en faisant couler le moût en nappe mince sur une surface métallique refroidie par une circulation d'eau. Le refroidissement s'opère ainsi à la fois par l'évaporation au contact de l'air et par le contact avec la paroi froide.

Nous avons étudié spécialement ces réfrigérants dans notre ouvrage consacré à la brasserie (1), et nous nous bornerons à signaler les réfrigérants du type Lawrence qui conviennent tout particulièrement pour le travail de la distillerie. Ces appareils peuvent être employés pour les moûts clairs, par exemple les moûts de mélasses et les moûts de grains préparés par la méthode anglaise ou destinés à la fabrication de l'aéroleuvre, mais ils se prêtent mal au travail des moûts épais. Ils ont l'avantage de consommer peu d'eau et de se nettoyer avec la plus grande facilité. Pour éviter l'infection par les microbes de l'air, on doit placer ces réfrigérants dans une chambre spéciale très propre, facile à laver, et dans laquelle on insuffle de l'air avec un ventilateur, en plaçant sur le refoulement du ventilateur un filtre à coton destiné à retenir toutes les poussières.

Refroidissement par la glace. — Le refroidissement par la glace est une opération trop coûteuse pour être pratique. Cette méthode est cependant employée parfois en été quand la température de l'eau de réfrigération est trop élevée pour amener le moût au degré voulu, ou pour refroidir le liquide dans les cuves de fermentation. Le meilleur procédé consiste, dans ce cas, à placer la glace dans les flotteurs qu'on plonge dans le liquide, comme on le fait pour le refroidissement des cuves en brasserie. Il faut éviter de placer directement la glace dans le moût, car elle contient toujours des bactéries qui viendraient souiller le liquide.

(1) Voir E. BOULLANGER, *Brasserie*, Tome II (ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE).

VII. — ANALYSE DES MOÛTS ET DES PULPES**Analyse des moûts de matières sucrées.**

— Les moûts de betteraves sont analysés par les méthodes exposées précédemment pour le jus de betteraves. La densité se prend au densimètre.

Pour le dosage du sucre fermentescible total, la meilleure méthode consiste à procéder à l'inversion par la méthode de Clerget exposée à propos du dosage du saccharose dans les mélasses (10 p. 100 d'acide chlorhydrique pur et chauffage au bain-marie à 67-70 degrés en douze minutes), et à doser le sucre interverti dans le liquide par une des méthodes de dosage des sucres réducteurs au moyen des liqueurs cupriques. Ce procédé fait connaître à la fois le sucre qui se trouve à l'état de saccharose et celui qui se trouve à l'état de glucose ou de sucre interverti, car il peut y avoir une inversion sensible du saccharose par l'acide sulfurique si le soutirage des moûts s'effectue à une température assez élevée.

Les moûts de mélasses s'analysent de la même manière. La densité se prend au densimètre, à l'aéromètre Baumé ou au flacon. Le sucre se dose par la méthode exposée ci-dessus. On peut procéder d'abord au dosage des sucres réducteurs au moyen de la liqueur cupropotassique, puis faire l'inversion Clerget et doser de nouveau les sucres réducteurs après inversion. La différence entre les deux chiffres trouvés donne le sucre interverti correspondant au saccharose et on obtient le saccharose en multipliant ce chiffre par 0,95.

Le dosage de l'acidité est particulièrement impor-

tant dans les moûts de betteraves et de mélasses. On fait ce dosage sur 20 centimètres cubes de jus qu'on neutralise au moyen d'une solution de soude. On verse peu à peu la liqueur alcaline, et on examine de temps à autre si le liquide est neutralisé en prélevant une goutte qu'on porte sur un morceau de papier tournesol parfaitement neutre. Dès que le liquide ne donne plus sur le tournesol une coloration rouge, la neutralisation est complète. Si une auréole bleuâtre se manifeste, le point de saturation est dépassé. La solution de soude est tirée au préalable au moyen d'une liqueur sulfurique normale à 49 grammes par litre. Si V est le volume de la liqueur alcaline nécessaire pour saturer 10 centimètres cubes de cet acide, c'est-à-dire 490 milligrammes d'acide sulfurique, chaque centimètre cube de soude vaudra $\frac{0,490}{V}$ grammes d'acide sulfurique. On emploie souvent, pour éviter tout calcul, une solution de soude normale (40 grammes de NaOH par litre); chaque centimètre cube de cette solution correspond alors à 49 milligrammes d'acide sulfurique. Dans ces conditions, on désigne aussi souvent sous le nom de degré d'acidité le nombre de centimètres cubes de soude normale employé pour 20 centimètres cubes de moût.

M. Siderski a fait connaître une méthode qui permet d'évaluer séparément l'acidité minérale et l'acidité organique des moûts de betteraves. On se sert, comme papier réactif, de papier à filtrer imbibé d'une solution aqueuse au millième de rouge de Congo 4 R. Une goutte d'acide minéral dilué produit sur le papier rouge une tache bleu foncé, tandis que les acides organiques sont sans action sur cette

matière colorante. On verse donc peu à peu la liqueur de soude en faisant périodiquement des touches sur le papier Congo; dès que les taches bleues n'apparaissent plus, tout l'acide sulfurique libre est saturé. On continue, après lecture de la burette, à verser la liqueur alcaline en faisant des touches sur le papier tournesol jusqu'à neutralisation complète. La différence des deux lectures donne la quantité de liqueur de soude qui correspond à l'acidité organique. Il existe d'ailleurs une réaction, beaucoup plus sensible que la précédente, produite par la matière colorante contenue dans la betterave. En effet, dès que l'acidité minérale est saturée, la couleur du jus qui est jaune pâle ou rose vire au brun foncé, tandis que le jus se trouble légèrement. Ce point correspond à la saturation de l'acidité minérale. En continuant à verser la liqueur alcaline le jus noircit et se trouble de plus en plus jusqu'au point de neutralité complète qu'on reconnaît au papier tournesol.

Analyse des pulpes de betteraves. —

L'analyse des pulpes épuisées est nécessaire pour contrôler la marche de l'extraction du jus. On prélève d'abord un échantillon de pulpe sur chaque diffuseur ou sur chaque macérateur au moment de la vidange. On recueille ces échantillons dans une terrine et on les mélange pour avoir un échantillon moyen. Dans le travail par presses continues, on fait l'échantillonnage à la sortie des presses. Pour doser le sucre dans les pulpes, on peut employer plusieurs méthodes. Un premier procédé consiste à passer les cossettes ou la pulpe au hache-viande et à exprimer le jus. On mesure 100 centimètres cubes de ce jus, on ajoute 10 centimètres cubes d'acide sul-

furique au dixième et on chauffe au bain-marie pendant trente minutes à 70° pour transformer tout le sucre en sucre interverti. On neutralise, on refroidit, on amène à 110 centimètres cubes, puis on dose le sucre réducteur au moyen de la liqueur cupropotassique. On admet que 100 de cossettes de macération ou de diffusion renferment 95 de jus, et que 100 de pulpes de presses continues renferment 77 de jus. On obtient donc le sucre pour 100 de cossettes ou de pulpes en multipliant le chiffre obtenu par 0,95 ou 0,77 suivant le cas. Cette méthode a l'inconvénient d'exiger l'emploi d'un facteur qui n'est pas rigoureux, pour passer du jus à la pulpe.

On peut également peser 20 grammes de pulpe de presses, ou 40 grammes de cossettes, les placer dans un ballon jaugé de 200 centimètres cubes avec 120 centimètres cubes d'eau et 20 centimètres cubes d'acide sulfurique au dixième, chauffer pendant trente minutes au bain-marie à 70°, neutraliser, refroidir, amener à 204 centimètres cubes s'il s'agit de pulpes de presses ou à 202 centimètres cubes s'il s'agit de cossettes (les 4 centimètres cubes et 2 centimètres cubes représentent le volume du marc), filtrer et doser le sucre réducteur par la liqueur cupropotassique. Cette méthode a l'inconvénient d'hydrolyser des pentosanes de la pulpe et de donner des chiffres trop forts. Pour éviter cet inconvénient, M. Verbièse a proposé de faire l'extraction du sucre de la pulpe par l'eau dans un appareil à épuisement de Soxhlet. On emploie alors 10 grammes de pulpe et on place dans le ballon de l'appareil 100 centimètres cubes d'acide sulfurique à 1 p. 100; on procède à l'extraction et on dose le sucre dans le liquide. Pour éviter tout entraînement

de matières pectiques et de pentosanes, Weisberg conseille de substituer à l'extraction aqueuse l'extraction alcoolique, mais la méthode est alors plus longue et moins pratique.

Analyse des moûts de matières amylacées. — L'examen des moûts préparés aux dépens des matières amylacées comprend l'essai à l'iode, l'essai saccharométrique, les dosages du maltose, des dextrines, de l'amidon non désagrégé et de l'acidité, et la détermination de la force diastasique.

L'échantillonnage doit être fait dans le macérateur avant la mise en levain. On commence par filtrer le moût. Comme le papier à filtrer se bouche très rapidement, il est préférable d'opérer la filtration sur des chaussees en laine, en faisant passer plusieurs fois le liquide filtré sur la chausse jusqu'à ce qu'il passe presque clair. Pour certaines déterminations où il est nécessaire d'avoir un liquide absolument limpide, on termine la filtration sur papier. Les chaussees doivent être couvertes pour éviter la concentration, et on doit les laver et les sécher après chaque opération.

L'essai à l'iode s'effectue avec une solution contenant 1 gramme d'iode et 2 grammes d'iodure de potassium dans 100 centimètres cubes. On prend 10 centimètres cubes de moût filtré très clair et on ajoute 1 centimètre cube de solution d'iode. Si le moût est bien saccharifié, il ne doit contenir que du maltose et des achroodextrines sans action sur l'iode, de sorte que le liquide garde sa coloration jaune. Si la saccharification est défectueuse, l'iode donne une coloration rouge due aux érythro-dextrines et même une coloration bleue due à l'amidon soluble. Il est indispensable, pour faire cet essai, de verser

goutte à goutte la solution d'iode dans le liquide, et de n'opérer que sur le moût complètement refroidi.

L'essai saccharométrique a pour but la détermination approximative de l'extrait du moût, au moyen du saccharomètre de Balling. Ce saccharomètre est un aréomètre en verre qui, plongé dans un moût à la température de 17°5, indique directement, par la graduation de sa tige supérieure, la teneur en extrait pour 100 grammes de liquide. Le chiffre obtenu n'est qu'approximatif, car l'instrument est gradué avec des solutions de sucre pur et les moûts contiennent, avec le sucre, d'autres substances dissoutes qui n'influent pas de la même manière que le sucre sur la densité du moût, et, par suite, sur le degré que marque le saccharomètre. L'essai saccharométrique doit être fait sur le moût filtré à clair, à 17°5, en plongeant lentement le saccharomètre bien propre dans le moût, de manière à ne pas mouiller la portion de la tige qui doit rester hors du liquide. Si la température est différente de 17°5, il est nécessaire de faire une correction qui est indiquée sur le thermomètre de l'appareil. Cette correction est d'environ 0°1 du saccharomètre pour 2 degrés et demi de température.

On peut également déterminer la densité du moût par la méthode du flacon et se reporter aux tables spéciales de Windisch, qu'on trouvera à la fin de notre volume consacré à la brasserie, et qui donnent l'extrait correspondant à la densité.

Le dosage du maltose et des dextrines fournit des renseignements précieux sur la marche de la saccharification. Le dosage du maltose se fait en étendant 10 à 20 centimètres cubes de moût filtré à

200 centimètres cubes et en titrant le sucre réducteur à la liqueur cupropotassique. On peut employer dans ce cas, la méthode pondérale de Soxhlet qui conduit à l'usage des tables de Wein, ou celle de Mohr qui conduit aux tables de Bertrand et dont nous avons exposé le principe au sujet du dosage des sucres réducteurs dans le jus de betteraves. Cette méthode n'est qu'approchée, car les moûts renferment d'autres sucres réducteurs que le maltose. Pour avoir des résultats plus exacts, il faut recourir à la méthode de M. Petit que nous avons étudiée dans notre ouvrage consacré à la brasserie (1), mais cette dernière méthode a encore l'inconvénient de doser comme maltose les pentoses non fermentescibles tels que l'arabinose et le xylose qui existent en quantités très appréciables dans les moûts préparés par cuisson sous pression. M. Boidin a préconisé une méthode très élégante qui permet d'éviter toutes ces causes d'erreurs et de fournir en même temps des indications précises sur le rendement en alcool que peut donner le moût. Nous avons décrit cette méthode, qui repose sur l'emploi du mucor β , en étudiant le dosage de l'amidon dans les matières amylacées, et il suffira de s'y reporter.

Le dosage des dextrines peut se faire en diluant à 200 centimètres cubes 10 centimètres cubes de moût et en transformant le maltose et les dextrines en glucose par addition de 15 centimètres cubes d'acide chlorhydrique à 1,125 de densité et par chauffage pendant deux heures et demie au bain-marie bouillant. Dans le liquide neutralisé, refroidi et amené à un volume connu, on dose le glucose

(1) Voir E. BOULLANGER, *Brasserie*, Tome II (ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE).

total par une des méthodes indiquées précédemment. On retranche du chiffre obtenu le glucose correspondant au maltose; il reste le glucose correspondant à la dextrine, et on obtient la dextrine en multipliant le résultat par 0,9. La méthode n'est qu'approchée à cause de l'incertitude qui règne sur le chiffre du maltose et à cause de la destruction du lévulose pendant l'inversion.

Le dosage de l'amidon non désagrégé s'effectue de la façon suivante. On place 1 kilogramme de moût non filtré dans une grande bouteille de 10 litres, qu'on remplit ensuite d'eau. On agite et on laisse déposer vingt-quatre heures. On décante le liquide clair, et on répète l'opération encore neuf fois à raison de trois lavages par vingt-quatre heures. On jette le résidu sur un filtre, on le lave à l'alcool et à l'éther, on le détache du filtre avec soin, on le laisse évaporer et dessécher à l'air et on le pèse. On le pulvérise alors finement et on dose l'amidon sur 3 grammes de matière, par la méthode que nous avons indiquée pour l'analyse des grains.

On détermine l'acidité sur 20 centimètres cubes de moût filtré qu'on sature avec de la soude normale, comme nous l'avons vu pour le dosage de l'acidité des moûts de betteraves et de mélasses.

Il est également très important de connaître la force diastasique des moûts sucrés, c'est-à-dire l'activité de la diastase saccharifiante encore présente dans le moût. Cette détermination s'effectue ordinairement par la méthode d'Effront. On prépare une solution type d'empois d'amidon à 2 p. 100 et on en traite 10 centimètres cubes dans des tubes, pendant une heure au bain-marie à 60 degrés, par des quantités croissantes de moût sucré : 0 cmc. 25. 0 cmc. 5,

0 cmc. 75, 1 centimètre cube, etc. Dans le liquide refroidi, on ajoute un demi-centimètre cube de solution étendue d'iode. S'il se produit encore une coloration bleue, c'est qu'il y a de l'amidon non transformé. Dans un bon travail, 1 centimètre cube à 1 cmc. 25 de moût doit suffire pour saccharifier entièrement l'amidon.

On détermine souvent, au moyen des chiffres obtenus par l'analyse du moût, un facteur analogue au quotient de pureté de la betterave. Ce facteur est le nombre qui indique combien cent parties d'extrait déterminé par le saccharomètre contiennent de maltose et de dextrine. Si un moût renferme par exemple 16 p. 100 de maltose et 4 p. 100 de dextrine, le degré saccharométrique étant de 25 Balling, le quotient de pureté sera $\frac{(16 + 4) 100}{25} = 80$ p. 100. Ce

chiffre, introduit par Delbrück dans la pratique de la distillerie, peut également se calculer en évaluant le maltose et la dextrine en glucose, et on obtient ainsi le quotient apparent, le chiffre précédent constituant le quotient réel. Dans l'exemple ci-dessus le quotient apparent serait donc $\frac{[16 \times 1,053 + 4 \times 1,11] 100}{25}$

=85, 1 p. 100. D'après Delbrück, le quotient apparent varie dans les moûts de pommes de terre de 81 à 89 p. 100; d'après Behrend et Maercker, de 80 à 92 p. 100, suivant la richesse des pommes de terre en amidon; dans les moûts de maïs, de 90 à 99 p. 100; dans les moûts de seigle, de 84 à 87 p. 100.

Analyse du malt. — Nous nous bornerons ici à indiquer le principe des déterminations à effectuer, l'analyse des malts ayant été traitée en détail dans notre ouvrage consacré à la brasserie.

Le dosage de l'extrait a beaucoup moins d'importance qu'en brasserie. On le fait en traitant le malt broyé par cinq fois son poids d'eau, et en saccharifiant à 65 degrés jusqu'à disparition complète de l'amidon. On amène à un poids ou un volume connu et on détermine l'extrait au saccharomètre. Le calcul se fait comme nous l'avons vu en brasserie. L'eau se dose sur 10 grammes de malt moulu qu'on dessèche à l'étuve à 105° jusqu'à poids constant. La détermination la plus importante est celle du pouvoir diastasique. On peut déterminer soit le pouvoir saccharifiant, soit le pouvoir liquéfiant du malt. La méthode la plus usitée pour la détermination du pouvoir saccharifiant du malt est celle de Lintner qui consiste à mesurer ce pouvoir en dosant la quantité de sucre que produit pendant un temps donné une quantité donnée d'extrait de malt sur une quantité donnée d'amidon. Pour la détermination du pouvoir liquéfiant, on emploie la méthode de Lintner et Sollied qui consiste à liquéfier un empois d'amidon avec des quantités croissantes d'extrait de malt et à rechercher la quantité d'extrait nécessaire pour liquéfier complètement 10 centimètres cubes de cet empois. Ces méthodes ont été décrites dans notre volume consacré à la brasserie et il suffira de s'y reporter (1).

(1) Voir E. BOULLANGER, *Brasserie*, Tome II (ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE).

V. — FERMENTATION DES MOUTS

I. — GÉNÉRALITÉS

Les moûts sucrés, refroidis à la température convenable, doivent subir la fermentation alcoolique sous l'action de la levure. La morphologie et la physiologie de la levure ont été étudiées dans d'autres ouvrages de cette Encyclopédie et nous n'y reviendrons pas ici (1). Nous nous bornerons à rappeler brièvement les caractères des organismes qui jouent un rôle en distillerie, et les faits qui présentent une importance spéciale pour cette industrie.

On utilise particulièrement, en distillerie, les levures associées parfois aux mucédinées, pour la production de l'alcool, et les ferments lactiques pour la production de l'acide lactique dans certaines méthodes de préparation des levains. A côté de ces espèces utiles, beaucoup d'autres microbes peuvent également intervenir dans la fabrication comme ferments de maladie, notamment les ferments butyriques, acétiques, etc.

Levures de distillerie. — *Variétés de levures.* — Les levures employées en distillerie sont nombreuses et possèdent des propriétés très différentes. Nous avons vu, dans notre ouvrage consacré à la brasserie, qu'on peut distinguer parmi

(1) Voir KAYSER, *Microbiologie agricole*; — E. BOULLANGER, *Brasserie*, t. II (Encyclopédie agricole).

les levures de culture les levures hautes et les levures basses, et qu'il existe, dans chacune de ces catégories, des levures de type Saaz à faible atténuation et des levures de type Froberg à forte atténuation. Toutes les bonnes levures de distilleries de grains sont des levures hautes qui appartiennent au type Froberg, et elles se différencient par leur activité plus ou moins grande, leur multiplication plus ou moins forte, etc.

Les levures de vin, convenablement choisies, peuvent être employées avec succès dans la fermentation des moûts de betteraves et de mélasses, comme nous le verrons plus loin.

Les Schizosaccharomycètes, ou levures qui se multiplient par scissiparité, présentent un certain intérêt pratique, car quelques races, notamment le *Schizosaccharomyces Pombe* de Lindner, ont la propriété de faire fermenter énergiquement les dextrines. Mais l'optimum de température de cette espèce est à 36-37° C., c'est-à-dire trop élevé pour la bonne fermentation des moûts de distillerie, sa multiplication est faible et cette levure produit en outre une forte acidité dans le liquide fermenté. Aussi son utilisation dans la pratique courante est-elle difficile.

Les mycodermes ou levures de voile se rencontrent fréquemment à la surface des moûts en distillerie. Elles brûlent l'alcool, le sucre et les acides organiques. Vues au microscope, elles se présentent sous l'aspect de longues cellules à protoplasma homogène et non granuleux, portant souvent deux vacuoles aux extrémités. Elles n'ont pas grande influence dans un travail rapide et normal en distillerie, mais elles sont gênantes dans les fabriques de levure pressée.

Toutes les levures de culture utilisées en distillerie sécrètent les diastases nécessaires pour l'hydrolyse et la fermentation du saccharose et du maltose. La décomposition de ces sucres s'accompagne d'un dégagement de chaleur qui élève notablement la température du moût.

Action de l'oxygène. — L'action de l'oxygène sur la levure a donné lieu à un grand nombre de travaux contradictoires. Il est nécessaire d'envisager séparément l'action de l'oxygène sur la multiplication de la levure et sur la fermentation proprement dite. Il résulte de la plupart des recherches effectuées sur l'action de l'air sur la multiplication de la levure que la présence de l'oxygène favorise le phénomène. Pour ce qui concerne l'influence de l'oxygène sur l'activité de la levure comme ferment, beaucoup d'expérimentateurs, notamment Iwanowsky, Buchner et d'autres, n'ont constaté aucune différence entre l'activité dans un liquide aéré et dans un liquide non aéré. L'oxygène ne semble donc pas avoir d'influence sur l'activité, avec cette restriction cependant que les cellules de levure qui fonctionnent d'une façon continue en l'absence de l'air subissent avec le temps une réduction de toutes leurs propriétés vitales et par conséquent de leur activité. Les recherches de Nathan et Fuchs ont montré en outre que dans une solution nutritive privée d'oxygène, l'introduction d'une petite quantité de ce gaz peut exciter à nouveau l'activité de la levure, sans qu'il y ait bourgeonnement.

L'agitation régulière et modérée du liquide active la fermentation et favorise la multiplication de la levure, comme l'ont montré les expériences de Delbrück et de Nathan et Fuchs; toutefois lorsque

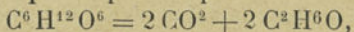
l'agitation est trop violente, la levure perd la faculté de bourgeonner et meurt.

L'action de l'acide carbonique a été également étudiée par beaucoup d'expérimentateurs. Il paraît établi que l'acide carbonique produit au cours de la fermentation ralentit légèrement la multiplication de la levure, mais son action sur l'activité des cellules vigoureuses semble peu sensible.

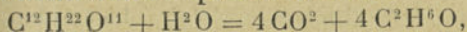
Produits de la fermentation alcoolique. — Nous savons que les produits de la fermentation alcoolique sont principalement l'alcool et l'acide carbonique. A côté de ces substances, on rencontre aussi d'autres produits tels que la glycérine, l'acide succinique et des corps excrétés par la levure. On doit y ajouter aujourd'hui les alcools supérieurs : les expériences de Pringsheim et d'Ehrlich ont montré en effet que la production de ces alcools est la conséquence de la synthèse de la matière albuminoïde par la cellule vivante de la levure. Elle dépend de la quantité d'azote que la levure emprunte pour ses besoins et pour sa production de zymase, à des acides aminés déterminés, notamment à la leucine, l'isoleucine et à la valine. Ces corps sont assimilés par la levure et se dédoublent en acide carbonique, ammoniacque et alcools supérieurs correspondants. L'ammoniacque est utilisée par la levure et les alcools restent comme résidus. La *l*-leucine donne ainsi de l'alcool isoamylique inactif; la *d*-leucine de l'alcool *d*-amylique actif; la valine, de l'alcool isobutylique. D'autres acides aminés sont probablement l'origine des autres alcools supérieurs. Le rendement en alcools supérieurs dépend autant de la quantité de leucine présente que de la quantité et de la nature des autres combinaisons azotées qui

existent dans le liquide. Le rendement en « huiles de fusel » est maximum avec la leucine et le sucre pur sans autre matière azotée; en présence d'asparagine, de sels ammoniacaux ou d'autres matières azotées facilement assimilables, les huiles de fusel diminuent car la levure utilise ces composés azotés facilement assimilables et laisse intacte une partie de la leucine. Ces notions permettent de se rendre compte de la voie dans laquelle on doit diriger la fabrication en distillerie pour réduire au minimum la proportion des alcools supérieurs. En produisant des moûts riches en composés azotés assimilables ou en ajoutant ces composés dans le liquide fermentescible, on peut restreindre la production des huiles de fusel, même si les moûts renferment beaucoup de leucine.

Rendement en alcool dans la fermentation alcoolique. — La question de la quantité d'alcool que peut produire théoriquement la fermentation alcoolique d'un sucre est particulièrement intéressante pour le distillateur et pour le calcul du rendement. Si le glucose, le lévulose, le sucre interverti étaient transformés intégralement en alcool et en acide carbonique d'après l'équation :



on pourrait en déduire que 1 molécule de glucose pesant 180 donne deux molécules d'alcool pesant $2 \times 46 = 92$. Donc 100 kilogrammes de glucose, de lévulose, ou de sucre interverti pourraient donner théoriquement 51 kgr., 11 d'alcool pur à 100 degrés. Ce chiffre est appelé le rendement *idéal* du sucre considéré. De même, si le maltose et le saccharose étaient transformés d'après la formule :



on pourrait en déduire que 342 parties en poids de maltose ou de saccharose donnent $4 \times 46 = 184$ parties en poids d'alcool, c'est-à-dire que le rendement idéal de ces sucres est de 53 kgr., 80 d'alcool par 100 kilogrammes de sucre. De même, 100 kilogrammes d'amidon $C^6H^{10}O^5$ pourraient donner un rendement idéal de 56 kgr., 79 d'alcool.

Si nous rapportons tous ces chiffres au volume, nous voyons donc que le rendement idéal pour 100 kilogrammes des divers sucres est le suivant :

	litres.	
Glucose, lévulose, sucre interverti.	64,45	d'alcool à 100°.
Maltose, saccharose.	67,87	—
Amidon	71,60	—

Ces rendements sont évidemment impossibles à réaliser, car nous savons que le phénomène de la fermentation alcoolique est beaucoup plus complexe et ne peut pas être représenté par une formule simple. Pasteur a montré que 100 grammes de saccharose ne peuvent donner que 51 gr. 10 d'alcool, dans des conditions rigoureuses de pureté de la fermentation. Ce rendement est le *rendement théorique maximum* qu'on puisse atteindre, avec toute la précision des expériences scientifiques et en évitant toute perte, de manière à avoir le bilan exact du phénomène de la fermentation. Il n'y a donc, sur 100 grammes de saccharose, que 94 à 95 grammes qui subissent le dédoublement représenté par la formule écrite plus haut, le reste sert à la production des tissus de la levure, de la glycérine, de l'acide succinique, etc.

Le rendement théorique maximum est donc de 51 gr. 10 d'alcool pour 100 grammes de saccharose, et comme 100 grammes de saccharose correspondent à 105 gr. 26 de glucose, et à 94 gr. 74 d'amidon, le ren-

dement théorique maximum de 100 grammes de glucose sera de 48 gr. 54 d'alcool à 100 degrés, et le rendement théorique maximum de 100 grammes d'amidon sera de 53 gr. 94 d'alcool à 100 degrés. En rapportant ces chiffres aux volumes, nous aurons donc, pour le rendement théorique maximum qu'on peut obtenir par 100 kilogrammes des divers sucres, les valeurs suivantes :

	litres.	
Glucose, lévulose, sucre interverti.	61,10	d'alcool à 100°.
Maltose, saccharose.	64,33	—
Amidon.	67,90	—

Le rendement théorique maximum atteint donc environ 95 p. 100 du rendement idéal.

Levures employées en distillerie. — Pendant longtemps, on s'est servi exclusivement, en distillerie, de la levure de bière haute provenant des brasseries, pour la mise en fermentation des moûts. On l'utilise encore beaucoup en France, notamment pour les moûts de betteraves et de mélasses. La levure pressée venant des distilleries est également employée parfois pour la fermentation des betteraves ou des mélasses et dans les fabriques de levure.

La levure de bière haute a l'inconvénient d'être souvent composée d'un mélange de races plus ou moins actives, de torulas, de mycodermes et parfois même de bactéries. Cette levure est cependant assez pure quand elle provient de brasseries où le travail se fait très proprement en cuve, et où les levains reçoivent tous les soins nécessaires. La levure pressée industrielle est moins pure et renferme toujours plus ou moins de bactéries.

Pour avoir des fermentations pures, on a songé à

introduire en distillerie les principes de Pasteur, et à produire des levains purs provenant d'une race de levure bien appropriée et acclimatée à la nature du moût. Beaucoup de méthodes sont aujourd'hui employées pour la préparation des levains de levure pure; nous les retrouverons en étudiant la fermentation des moûts. Dans toutes ces méthodes, il est nécessaire de se procurer la semence pure pour mettre en marche les appareils à levains. Ces levures sont fournies par les laboratoires spéciaux, ou peuvent être préparées à l'usine même au moyen d'un des appareils décrits dans notre ouvrage consacré à la brasserie, par exemple l'appareil de Fernbach ou l'appareil de Hansen, qu'on ensemence avec un ballon de culture pure préparée au laboratoire.

Mucédinées utilisées en distillerie. — On rencontre fréquemment des mucédinées en distillerie; elles se développent en parasites sur le malt vert, sur les murs, parfois même sur les appareils dans les usines mal tenues. Ces espèces doivent être considérées comme des ferments de maladie. Il existe cependant une classe de mucédinées qui est intéressante pour le distillateur, et dont les propriétés ont été appliquées avec le plus grand succès à la fabrication de l'alcool de grains. Cette classe est celle des *Mucors* qui ont à la fois la faculté de saccharifier l'amidon et de faire fermenter alcooliquement le sucre produit.

Pasteur a ainsi montré que le *Mucor racemosus*, cultivé à la surface d'un liquide sucré, se développe en donnant un mycélium formé de longs filaments peu cloisonnés et qui se couvre rapidement de spores aériennes. Dans ces conditions de vie très aérobie, le sucre est brûlé à l'état d'eau et d'acide carbonique;

une autre portion subit la fermentation alcoolique. Mais si on vient à immerger complètement ce mycélium dans le liquide nutritif, de manière à éviter toute vie en surface, l'aspect de la culture se modifie : le mycélium se cloisonne, se renfle par places et forme bientôt des sortes de boules qu'on appelle *conidies mycéliennes*. Ces conidies se séparent bientôt du mycélium et bourgeonnent à la façon des levures. La plante se remplit de bulles de gaz carbonique et la fermentation alcoolique devient prépondérante. Les expériences de Wehmer ont montré que la production d'alcool n'est pas une conséquence de la privation d'oxygène et de la formation de ces boules bourgeonnantes. En présence de l'oxygène, le mycélium non cloisonné fonctionne aussi comme ferment alcoolique, mais le phénomène est moins visible. La production des formes levures paraît être plutôt la conséquence de la fermentation alcoolique active qui se manifeste en l'absence de l'air.

L'action saccharifiante de ces mucédinées vis-à-vis de l'amidon a été découverte par Atkinson, dans l'*Eurotium Orizae*, moisissure qui joue un rôle important dans la fabrication du saké ou bière de riz au Japon. Plus tard, MM. Gayon et Dubourg étudièrent une autre mucédinée, le *Mucor alternans*, qui a la propriété de produire à la fois la saccharification de l'amidon et de la dextrine et la fermentation alcoolique. L'*Amylomyces Rouxii*, isolé par M. Calmette de la levure chinoise dont se servent les distillateurs de riz en Indo-Chine, est également une mucédinée du groupe des Mucors, capable de saccharifier l'amidon et de faire fermenter alcooliquement le sucre produit, quand on le cultive en profondeur. Nous verrons plus loin comment MM. Collette et

Boidin ont pu réaliser l'application industrielle des propriétés de cette mucédinée à la fabrication de l'alcool de grains. Les Mucors β , Boulard, Delemar, sont également des mucédinées saccharifiantes, utilisées aujourd'hui dans l'industrie, et qui ont la propriété de pouvoir saccharifier des moûts plus concentrés que l'Amylomyces.

Ferments lactiques utilisés en distillerie. — Les ferments lactiques sont employés en distillerie pour la préparation des levains par la méthode allemande. Grâce à l'acide lactique qu'ils produisent, ils favorisent la fermentation alcoolique ultérieure et préservent la levure contre le développement des autres microbes nuisibles.

Les ferments lactiques employés en distillerie sont extrêmement nombreux, et dans un moût de grains abandonné à l'acidification lactique spontanée, il se développe un grand nombre d'espèces apportées par le malt, les matières premières, l'air, etc. Certaines espèces ont été isolées et introduites dans la pratique industrielle, comme nous le verrons plus loin. Ces espèces ont été particulièrement étudiées par Henneberg.

Lafar a isolé d'un levain lactique un ferment qu'il a appelé *Bacillus acidificans longissimus*, qui paraît être le même que le microbe isolé par Leichmann d'un moût de distillerie et appelé *Bacillus Delbrücki*. Cet organisme se présente sous la forme de bâtonnets de 2μ , 7 à 8μ de longueur sur $0,4-0,7 \mu$ de largeur, soit isolés, soit réunis deux par deux ou en chaînes parfois très longues qui peuvent atteindre jusqu'à 100μ . Les milieux artificiels lui sont peu favorables; il se développe surtout bien dans le moût de bière non houblonné et le moût de distillerie. Il ne pousse

pas dans le lait. Son optimum de température est à 45 degrés; il ne croît pas au-dessous de 18 degrés et il est tué à l'état humide à 65-70 degrés. La température la plus favorable pour l'acidification est à 46-47 degrés; la production d'acide lactique cesse à 55 degrés. Les quantités d'acide formé ont atteint au maximum 1,6 p. 100; une dose d'alcool de 4 p. 100 ralentit l'acidification, une dose de 10 p. 100 la supprime complètement.

Un deuxième organisme très répandu dans les moûts de distillerie est le *Pediococcus lactis acidi* de Lindner. Ce ferment se présente sous l'aspect de cocci isolés, parfois groupés par deux ou par quatre. L'acidité qu'il donne est beaucoup plus faible qu'avec le *Bacillus Delbrücki*: elle ne dépasse pas 0,2 p. 100 dans le moût de distillerie. L'optimum de température de l'espèce est à 34-40 degrés, une température de 48 degrés est déjà nuisible. Ce ferment est donc inutilisable en distillerie, car l'acidification doit se faire, comme nous le verrons, au-dessus de 50 degrés, mais il n'est pas nuisible par lui-même. Le seul dommage à en attendre est son développement spontané qui pourrait gêner, par prépondérance, celui du *Bacillus Delbrücki*.

Les ferments lactiques du lait, de la bière, tels que le *Bacterium lactis acidi* de Leichmann, le *Saccharobacillus Pastorianus* Van Laer, le *Saccharobacillus Pastorianus*, variété *Berlinensis* ne peuvent être d'aucune utilité en distillerie, car leur optimum de température est compris entre 25 et 37 degrés, et ils ne donnent plus d'acide aux températures adoptées dans la pratique pour la préparation des levains lactiques. Il existe cependant une espèce, le *Bacillus lactis acidi* Leichmann, isolé du

lait, dont l'optimum de température est à 43-48 degrés, et qui est très probablement l'espèce qui se développait dans les moûts lorsque le distillateur employait du lait aigri pour mettre en marche ses premiers levains. C'est un long bacille, ayant au moins 6 μ et se présentant souvent en files de 14 à 70 μ ; sur le lait, on trouve des chaînes de plus de 300 μ . Les milieux artificiels ne lui conviennent pas; il pousse bien dans le lait, le moût de distillerie, le moût de bière non houblonné. Il donne dans le moût de distillerie une acidité un peu plus faible que le *Bacillus Delbrücki* et qui atteint 1,3 p. 100. L'acidification est nulle au-dessous de 13 degrés, elle est maxima à 41 degrés et redevient très faible à 55 degrés. Cette race devrait être employée plus souvent en distillerie.

En pratique, on abandonne les moûts à l'acidification lactique spontanée, ou bien onensemence le liquide avec une culture pure des ferments lactiques appropriés décrits ci-dessus.

Ferments secondaires en distillerie. — D'autres microbes peuvent aussi se développer dans les moûts de distillerie et agir comme ferments de maladie. On peut citer notamment les ferments butyriques et acétiques, des bactéries de putréfaction, etc. Les ferments butyriques sont particulièrement nuisibles à la fermentation alcoolique, car leurs produits de sécrétion constituent des poisons violents pour la cellule de levure. Il existe de nombreuses variétés de ferments butyriques; ces êtres sont en général anaérobies, mais on rencontre aussi des races aérobies, par exemple le *Bacillus butylicus* de Hueppe. Ils se présentent sous l'aspect de bacilles, de vibrions ou de fuseaux: ils sont mobiles

et donnent facilement des spores. Beijerinck range ces microbes dans le genre *Granulobacter*, qui se distingue par la présence de granulose, de sorte que les organismes qui appartiennent à ce genre se colorent en bleu par l'iode. Les produits qu'ils forment sont en général l'acide butyrique, l'alcool butylique, l'acide carbonique et l'hydrogène. Leur température optima est de 35 à 37 degrés, les températures élevées leur sont défavorables et au-dessus de 50 degrés leur action est paralysée. C'est pourquoi on choisit dans la pratique une température supérieure à 50 degrés pour l'acidification des levains lactiques. Ils sont cependant très résistants à la chaleur, notamment à l'état de spores : celles-ci ne sont détruites qu'à 105-110 degrés.

Les deux espèces qu'on rencontre le plus fréquemment en distillerie sont le *Granulobacter butylicum* qui donne de l'alcool butylique, de l'acide carbonique et de l'hydrogène, mais pas d'acide butyrique et le *Granulobacter saccharobutylicum* qui fournit de l'acide butyrique à côté des autres produits. Ces bacilles se développent surtout dans les levains lactiques maintenus à trop basse température, et donnent naissance à des boursoufflements et à des dégagements gazeux qui viennent rompre le chapeau du levain.

L'hydrogène dégagé par la fermentation butyrique peut réduire les nitrates contenus dans les moûts de mélasses en nitrites qui sont décomposés par les acides les plus faibles en donnant du bioxyde d'azote. Beaucoup de bactéries ont d'ailleurs la propriété de décomposer les nitrates en donnant soit de l'azote gazeux, soit du bioxyde d'azote. Nous retrouverons plus loin cette question de la fermentation nitreuse.

Les ferments acétiques, dont il existe un grand nombre d'espèces, peuvent se développer dans les moûts fermentés qui ne sont pas très riches en alcool, surtout quand on les laisse séjourner un certain temps en cuve avant de les distiller. Leur température optima varie de 20 à 30 degrés. Ils produisent de l'acide acétique aux dépens de l'alcool, et donnent dans les moûts fermentés une teneur anormale en acides volatils.

On peut rencontrer enfin dans les moûts en distillerie le *Bacillus subtilis* ou bacille du foin qui se développe en donnant à la surface du liquide une peau légèrement plissée et en donnant à la masse une odeur fade et nauséabonde. C'est un bacille aérobie, mobile, très sensible aux acides qui, à dose faible, arrêtent son développement. Les ferments des matières albuminoïdes appartiennent à la même famille : ce sont des agents actifs de putréfaction, qui ne se développent bien que dans les milieux neutres et privés d'alcool, et contre lesquels il est facile de se préserver en distillerie par des soins de propreté convenables.

Conditions à réaliser dans la pratique de la fermentation en distillerie.

Le travail idéal en distillerie consisterait à stériliser complètement le moût sucré, à le refroidir à l'abri de toute contamination par les microbes, à l'ensemencer avec une culture pure de levure et à préserver le liquide, pendant toute la durée de la fermentation, contre l'accès des autres ferments.

Ce mode de travail est, à quelques exceptions

près, beaucoup trop compliqué et trop coûteux pour pouvoir être adopté dans la pratique. Il n'est d'ailleurs pas indispensable, et on peut obtenir des rendements excellents par un travail bien approprié. En distillerie de betteraves et de mélasses, la stérilisation pourrait être appliquée, mais en distillerie de grains la nécessité de laisser la diastase active dans le moût pour la saccharification et la fermentation des dextrines exclut toute possibilité de stérilisation.

Il faut donc en général chercher à obtenir, sans stérilisation du moût, un milieu favorable à la levure, une bonne fermentation alcoolique et un haut rendement en alcool. On doit d'abord pour cela prendre dans la fabrication les plus grandes mesures de propreté, et nettoyer avec beaucoup de soin les appareils et les tuyauteries qui sont en contact avec les liquides fermentescibles. En outre, on doit adopter les modes de travail qui favorisent le plus possible le développement de la levure aux dépens des autres ferments : on emploie dans ce but l'introduction de levains actifs et purs, l'addition d'antiseptiques et de certaines substances telles que la colophane, qui agissent par voie physique. En outre, on maintient la levure aussi pure que possible dans la fermentation, et dans un état qui lui permettra de résister à l'infection.

Ensemencement des moûts. — Il importe tout d'abord de placer dans la cuve au contact du moût sucré une quantité convenable de cellules de levures bien vigoureuses, de manière à permettre au ferment alcoolique de s'emparer rapidement du terrain et d'étouffer par sa prolifération vigoureuse les microbes étrangers. Quand on travaille avec la

levure de bière ou levure pressée, il faut donc introduire dès le début une dose suffisante de levure pour assurer un départ rapide de la fermentation. La levure employée doit être naturellement aussi pure et aussi active que possible, et on doit avoir soin de bien l'aérer avant de l'incorporer au moût principal.

Quand on travaille par levains purs, il est nécessaire de choisir d'abord une levure bien appropriée aux conditions de travail de l'usine et de la multiplier dans des appareils spéciaux en employant du moût stérilisé, et additionné au besoin de matières nutritives pour favoriser le développement de la levure. Nous verrons plus loin les principales méthodes employées dans ce but. Quelle que soit la méthode adoptée, la préparation du levain permet de produire la quantité voulue de levure pure et active qu'on introduit dans le moût sucré.

Brown a montré que la levure ne se multiplie dans les moûts sucrés que jusqu'à un chiffre limite. Si on introduit dans ces moûts une quantité de levure qui dépasse ce chiffre, il n'y a plus de multiplication. Pratiquement, le poids de levure pressée à employer comme levain ne doit pas dépasser un cinquième environ du poids du sucre à faire fermenter. Si la levure est employée en excès, elle n'a à sa disposition qu'une quantité insuffisante de matières alimentaires; elle en souffre et perd peu à peu son activité. En employant pour la mise en levain, une quantité de levure exagérée afin d'avoir une fermentation plus vigoureuse, on arrive au résultat inverse. Pour la même raison, il n'est pas recommandable d'additionner de moût sucré, par petites portions, un levain très actif. On affaiblit peu à peu la levure, et il vaut mieux alimenter le levain avec un volume de moût

sucré égal à quatre ou cinq fois son volume.

Addition d'acides et d'antiseptiques. —

Pour protéger la levure contre le développement des microbes nuisibles, aussi bien dans le levain que dans le moût principal, on additionne le liquide de substances chimiques qui favorisent la fermentation alcoolique et gênent les ferments secondaires. On emploie dans ce but soit les acides minéraux et surtout l'acide sulfurique, soit les acides organiques, soit enfin les antiseptiques vrais. Nous avons vu, en étudiant la préparation des moûts de betteraves, que l'acide sulfurique rend le milieu plus favorable à la levure et gêne le développement des autres microbes. Dans les moûts de mélasses, il déplace les acides organiques du moût qui favorisent le travail de la levure et rendent le milieu peu favorable aux ferments secondaires.

L'addition d'acides minéraux libres en grande quantité est impossible en distillerie de matières amylacées quand on emploie la saccharification par le malt, car la diastase ne peut exercer son action complémentaire sur les dextrines en cuve de fermentation que si le milieu ne contient pas d'acide minéral libre. On peut cependant additionner les moûts, comme on le fait dans le procédé Bucheler, d'une quantité d'acide sulfurique suffisante pour mettre en liberté les acides organiques favorables à la levure. On peut également préserver la levure contre le développement des microbes nuisibles en faisant subir aux levains un commencement de fermentation lactique : l'acide lactique produit joue dans ce cas le rôle d'antiseptique vis-à-vis des ferments secondaires. On peut aussi employer, comme nous le verrons, l'acide lactique industriel. Delbruck a

montré que l'acide butyrique, ajouté à une dose qui ne dépasse pas 0,18 p. 100 excite l'activité de la levure et gêne les bactéries. Lange a préconisé l'emploi de l'acide formique et du formol pendant le refroidissement des levains préparés avec les ferments lactiques : on obtient ainsi une fermentation plus pure et l'activité de la levure augmente, mais cette méthode n'est évidemment pas applicable aux fabriques de levure pressée, car ces substances chimiques ont une action nuisible sur la multiplication de la levure.

L'emploi des vrais antiseptiques tels que l'acide fluorhydrique et les fluorures a permis de réaliser de grands progrès dans les fermentations en distillerie. Nous avons vu, dans notre volume consacré à la brasserie, qu'on peut acclimater les levures à certains antiseptiques. En introduisant ensuite cet antiseptique dans le moûtensemencé avec la levure acclimatée, l'antiseptique s'oppose au développement des ferments étrangers tout en permettant le travail de la levure accoutumée. Tel est le principe appliqué par Effront dans sa méthode à l'acide fluorhydrique.

Principes du procédé Effront. — Le procédé Effront est basé sur l'emploi de l'acide fluorhydrique, qui est un antiseptique très puissant contre les bactéries, même à très faible dose et qui exerce une action conservatrice sur la diastase du malt. En outre, il est possible d'acclimater peu à peu les levures à supporter de fortes doses d'acide fluorhydrique, en les faisant vivre en présence de quantités croissantes de cet acide, et on peut ainsi obtenir des fermentations très actives et très pures, tous les ferments étrangers étant paralysés par l'action de l'acide.

Les levures ainsi acclimatées gardent leur accoutumance, même après une série de cultures ; en outre, elles donnent une fermentation plus rapide avec une multiplication plus faible. On augmente donc le rendement en alcool en réduisant la consommation de sucre occasionnée par la prolifération de la levure.

Le mécanisme de l'acclimatation des levures à l'acide fluorhydrique et aux fluorures a été étudié par Effront. Il a constaté que dans l'accoutumance aux fluorures, la cellule s'enrichit de plus en substances minérales, et la chaux qui apparaît joue à l'intérieur de la cellule le rôle d'antitoxine en insolubilisant le fluor sous forme de sel de chaux.

Les avantages du travail à l'acide fluorhydrique sont nombreux. Le développement des ferments étrangers est paralysé par l'action antiseptique de l'acide, car une dose de 5 à 10 grammes d'acide fluorhydrique industriel à 30 p. 100 par hectolitre de moût suffit pour arrêter toute multiplication de ces organismes. Il en résulte qu'il n'est plus nécessaire, en distillerie de matières amylacées, de choisir une température de saccharification de 65 degrés pour affaiblir le plus possible les ferments étrangers ; on peut saccharifier ainsi à 58-60 degrés, c'est-à-dire à une température voisine de l'optimum pour la production du maltose. En outre, l'acide fluorhydrique préserve la diastase contre la destruction, et les fermentations secondaires sont ainsi plus actives. Le travail à l'acide fluorhydrique permet enfin la suppression des levains lactiques et de toutes les difficultés qu'ils entraînent.

Il importe toutefois de remarquer que ces avantages sont surtout sensibles dans les usines où l'installation ne permet pas d'observer dans toutes les

opérations une propreté rigoureuse, dans les distilleries qui ont fréquemment des accidents de fabrication ou qui emploient des matières premières de qualité défectueuse. Dans les usines où le travail est bon et régulier, les résultats obtenus avec l'acide fluorhydrique sont peu différents de ceux qu'on obtient avec les procédés ordinaires.

Nous étudierons spécialement plus loin l'application pratique de la méthode aux divers moûts de distillerie.

Certains sels de l'acide fluorhydrique possèdent les mêmes propriétés que l'acide lui-même : tels sont, par exemple, le fluorure d'ammonium et le fluorure d'aluminium. L'action de ce dernier sel a été étudiée par Clüss et Felber. Ces auteurs ont vu que le fluorure d'aluminium possède des propriétés antiseptiques analogues à celles de l'acide fluorhydrique; il ne retarde pas le départ de la fermentation et la levure en supporte des doses beaucoup plus considérables que celles qu'elle peut supporter sous la forme d'acide fluorhydrique. Il faut d'ailleurs employer ce sel en quantités beaucoup plus grandes, soit 35 à 40 grammes par hectolitre, pour obtenir le même résultat qu'avec 5 grammes d'acide fluorhydrique.

Emploi d'autres antiseptiques. — On a également tenté l'emploi des sulfites en distillerie. Les levures peuvent être parfaitement accoutumées à l'acide sulfureux, mais l'action de cet antiseptique est très inférieure à celle de l'acide fluorhydrique, et son utilisation présente des inconvénients pour les appareils et pour la qualité de l'alcool.

Les propriétés antiseptiques de l'aldéhyde formique ont fait songer à employer ce produit en distillerie. Delbrück, Clüss, Rothenbach, Lange ont

notamment étudié cette question. Clüss a constaté que le formol est moins avantageux que l'acide fluorhydrique sous le rapport du rendement en alcool. D'après Lange, l'addition de 0 cmc. 5 de formol par litre dans les moûts de levains permet d'obtenir des fermentations très pures et un rendement en alcool plus régulier. A faible dose, le formol ne nuit pas à la levure et protège la diastase; pour 3.000 litres de moût ou 200 litres de levain, on emploie 100 centimètres cubes de formol du commerce. Les levures peuvent s'acclimater au formol, et Effront a montré que dans cette acclimatation, la cellule est amenée à la production intensive d'un principe oxydant ayant une activité spécifique sur l'aldéhyde et qui joue le rôle d'anticorps.

Le lactoformol, combinaison d'aldéhyde formique avec la caséine du lait, a été préconisé par Jacquemin et Fritsche; les levures s'acclimatent aisément à une dose de 5 p. 1.000 de ce produit, tandis que le développement des bactéries est arrêté par une dose de 3 p. 1.000.

Pozzi-Escot a étudié également l'action des sels de cuivre, et il a vu que le sulfate de cuivre hydraté, à une dose variable de 0 gr. 05 à 0 gr. 5 par litre, favorise la multiplication et l'activité de la levure et gêne beaucoup les autres microbes. En pratique, 100 milligrammes par litre suffisent pour obtenir des fermentations pures et actives.

Emploi de la colophane. — Pour favoriser la levure et lui permettre de lutter efficacement contre les microbes nuisibles, Effront a préconisé, dans ces dernières années, l'addition au moût de certaines substances, telles que l'acide abiétique ou la colophane, qui agissent surtout par voie physique. Pour que les

levures puissent lutter contre l'envahissement par les microbes étrangers, il faut que la levure soit répartie aussi également que possible dans toutes les parties de la cuve de fermentation, et que les cellules qui se trouvent en concurrence soient très rapprochées les unes des autres. Or, ces conditions ne sont pas réalisées dans les moûts clairs; les ferments étrangers, plus légers, restent à la surface, les levures s'accumulent surtout au fond. Effront en a donné la preuve en plaçant dans un tube de 2 mètres de longueur du moût de mélassesensemencé avec un mélange de levure et de ferment lactique. Si, après quelque temps de séjour, on prélève des échantillons à différentes profondeurs du tube et si on compte les cellules, on trouve qu'au fond sur 100 cellules de levure il y a trois ou quatre bactéries tandis qu'à la surface il y a 400 à 450 bactéries pour 100 cellules de levure. Une fermentation industrielle peut donc être considérée comme une série de cultures qui se produisent indépendamment les unes des autres dans les différentes couches du même liquide.

Pour entraîner les microbes plus légers au fond de la cuve au contact des levures, Effront a recours à la colophane. Cette substance a des propriétés antiseptiques presque nulles, et elle agit surtout physiquement. Elle vient se précipiter sur les bâtonnets, les alourdit et les entraîne vers le fond. La dose à employer est de 20 à 40 grammes de colophane par hectolitre. On émulsionne cette résine dans dix fois son poids d'eau à 60° et on l'introduit dans le moût. Par cette méthode, la stérilisation des moûts de mélasse n'est plus nécessaire; il devient inutile d'ajouter de l'acide sulfurique en excès et il suffit de

neutraliser simplement la mélasse; en outre, l'emploi de doses massives de levure est évité et on peut réduire de moitié la quantité de levure employée pour la mise en levain. La diminution de la dose d'acide sulfurique entraîne une augmentation de richesse des salins en carbonate de potasse qui atteint 8 à 10 p. 100. Ces conclusions ont été vérifiées par les expériences de M. Lévy qui a constaté que sur des moûts de mélasses dénitrés, la colophane donne à la fermentation une avance de plusieurs heures sur la série non traitée, et que l'augmentation de l'acidité est plus faible avec emploi de la colophane. M. Lévy a même provoqué dans un moût de mélasse un accident de fermentation nitreuse en ajoutant du nitrate de magnésie et de la terre; il a introduit la colophane quand l'accident a été bien déclaré; deux heures après, les vapeurs nitreuses avaient disparu et la cuve est parfaitement tombée, plus vite que les cuves qui n'avaient pas reçu de résine.

La simplicité de cette méthode d'Effront la rend très recommandable en distillerie de mélasses et de betteraves.

Culture pure naturelle. — On doit enfin maintenir, pendant le travail industriel, la levure aussi pure que possible et dans un état physiologique qui lui permette de résister à l'infection. On y arrive en suivant les règles qui ont été formulées par Delbrück dans son système de *culture pure naturelle*. Ces règles reposent toutes sur les propriétés spéciales à chaque espèce microbienne et elles ont pour but d'assurer dans la lutte des diverses races de levures et des microbes, la victoire définitive à la levure pure choisie et l'anéantissement des autres espèces. Il est indispensable, pour arriver à ce but,

de tenir compte de tous les facteurs qui ont une influence sur la multiplication et le travail de la levure, et de placer sans cesse l'espèce à protéger dans les conditions optima qui lui assurent la prépondérance. On y arrive en préparant des levains concentrés, fortement acidifiés, en poussant très loin la fermentation de ces levains, la température s'élevant de plus en plus au cours de la fermentation. La levure resterait toujours victorieuse dans ces conditions si les bactéries ne possédaient pas la propriété de s'acclimater peu à peu au milieu dans lequel elles se trouvent. Il y a aussi les mycodermes, qui résistent mieux à ces conditions de culture que la levure elle-même. Dans la pratique, on arrive à triompher de ces difficultés en faisant subir de petites modifications à la composition du milieu, comme par exemple en changeant l'acidité ou la température de mise en levain ou encore en laissant de temps à autre la fermentation du levain aller plus loin que la limite normale : on arrive ainsi à augmenter l'activité de la levure et à la purifier. L'emploi des antiseptiques, notamment de l'aldéhyde formique, de l'acide formique et de l'acide butyrique, que nous avons étudié plus haut, permet en outre d'exciter l'activité de la levure et de s'opposer au développement des microbes étrangers.

II. — MATÉRIEL ET SALLE DE FERMENTATION

Les cuves de fermentation sont tantôt en bois, tantôt en tôle. Les cuves en bois sont surtout employées en distillerie de matières amylacées, et

dans les fabriques de levure pressée; on les fait soit en chêne, soit en sapin résineux. Leur section est ovale ou circulaire. Pour éviter l'absorption du moût par le bois, on a recommandé de les passer à l'huile de lin bouillante; dans ce cas, on doit au préalable bien chauffer l'intérieur de la cuve et la badigeonner ensuite avec un pinceau. On peut également employer le vernis à la gomme laque, à la colophane et à la térébenthine.

Les cuves en tôle sont aujourd'hui de plus en plus employées en France pour la fermentation des moûts de betteraves et de mélasses; leur nettoyage est beaucoup plus facile et la réfrigération peut s'y faire par ruissellement extérieur, ce qui est impossible avec les cuves en bois. Le verre et la pierre ne sont utilisés qu'exceptionnellement.

La grandeur des cuves de fermentation varie avec les pays et les conditions de travail de l'usine. En Allemagne, on utilise de petites cuves en bois dont la capacité ne dépasse pas 50 hectolitres. En France, on emploie des cuves beaucoup plus grandes, qui peuvent atteindre jusqu'à 1.000 à 1.500 hectolitres. Les petites cuves ont l'inconvénient de se refroidir facilement et d'occasionner beaucoup de main-d'œuvre. Les grandes cuves exposent à des pertes considérables en cas d'accident; elles ont une tendance à s'échauffer beaucoup pendant la fermentation, et le vin peut s'acidifier pendant la distillation et la vidange qui sont longues. Aussi est-il préférable de choisir des cuves de dimensions moyennes: dans les grandes usines, les cuves de 6 à 700 hectolitres paraissent être les meilleures.

Les cuves sont ordinairement ouvertes, mais la perte d'alcool par évaporation y est assez sensible.

Notamment, quand les cuves sont remplies jusqu'à quelques centimètres du bord, les petites bulles de liquide qui sont projetées dans l'air par le dégagement de gaz carbonique sont entraînées en grande partie hors de la cuve, et les pertes d'alcool deviennent alors assez fortes. La fermentation en cuves moins pleines réduit beaucoup cet entraînement mécanique.

De nombreux dispositifs ont été employés pour diminuer les pertes par évaporation, soit en couvrant les cuves avec des couvercles, ne laissant qu'un orifice pour le dégagement de l'acide carbonique, soit en enfermant les cuves séparément dans des chambres hermétiques de capacité faible, d'où le gaz dégagé est dirigé dans des laveurs à eau qui retiennent l'alcool entraîné, soit enfin en utilisant des cuves métalliques fermées, comme dans le procédé Amylo, avec tuyau de dégagement du gaz carbonique dans un barboteur contenant de l'eau destinée à retenir l'alcool entraîné. Miroir a signalé l'emploi, en Bohême, de cuves de fermentation fermées par un couvercle en fer rivé à la cuve et portant un gros tuyau de dégagement de gaz carbonique réuni à une tuyauterie communiquant avec une colonne à chicane pour le lavage du gaz carbonique. Sur chaque cuve, une vanne permet d'isoler les cuves qui ne sont pas en pleine fermentation. Un ventilateur aspire sur la colonne laveuse le gaz carbonique qui se débarrasse de son alcool au contact d'eau pulvérisée en fines gouttelettes. La marche de ce ventilateur est réglée de telle sorte qu'il n'y a jamais la moindre dépression, fût-elle d'un millième d'eau, sur la cuve. D'après Miroir, l'emploi de ce dispositif a donné une augmentation de rendement en alcool

variant de 0 l. 47 à 0 l. 71 par 100 litres d'alcool fabriqué, soit une moyenne de 0 l. 50 p. 100, avec des fermentations dont la température ne dépassait pas 32 degrés. Les eaux de lavage, dont le volume était de 50 à 60 hectolitres par jour, titraient de 1°5 à 2 degrés d'alcool; on les utilisait pour la dilution des mélasses, de manière à faire rentrer l'alcool dans le cycle du travail.

L'emploi des couvercles en fer donne naissance à une condensation partielle des vapeurs entraînées par le gaz carbonique et cette condensation ramène dans la cuve une grande partie de l'alcool entraîné. Les couvercles en bois sont évidemment très inférieurs, car ils ne provoquent qu'une condensation très faible et ils augmentent beaucoup les risques d'infection.

Certains dispositifs spéciaux ont été employés, pour la récupération de l'alcool entraîné pendant la fermentation, dans ces dix dernières années en Allemagne et notamment par Berndt (couvercle plongeant par son bord dans la cuve de fermentation, avec tube de dégagement d'acide carbonique entouré d'un réfrigérant qui condense les vapeurs alcooliques et les ramène dans la cuve); par Fischer (couvercle s'appuyant sur le rebord de la cuve qu'il ferme hermétiquement au moyen d'un joint; ce couvercle est pourvu d'un rebord élevé qui permet de le remplir d'eau; le dégagement d'acide carbonique se fait par une cloche dont le bord inférieur découpé plonge dans l'eau du couvercle, ce qui permet de récupérer l'alcool par barbotage dans cette eau, qu'on distille ensuite). Un autre dispositif de Fischer consiste à faire plonger le rebord vertical du couvercle dans une gouttière remplie d'eau disposée autour de la

cuve : le gaz qui se dégage se lave dans cette gouttière. Un perfectionnement de F. Herman consiste à faire passer l'acide carbonique par des trous ménagés dans le rebord du couvercle. Le couvercle des frères Becker est en fer, boulonné sur la cuve. Il porte au milieu une large ouverture bordée par une gouttière étroite, le reste de la face supérieure du couvercle formant une gouttière large. Ces deux gouttières sont remplies d'eau qui refroidit le couvercle. Dans la gouttière intérieure plonge une cloche par les bords de laquelle le gaz se dégage en barbotant dans l'eau. L'eau de lavage s'écoule dans la cuve. Strauch dispose une gouttière autour du bord de la cuve dans laquelle plonge le bord vertical du couvercle muni de trous pour laisser échapper l'acide carbonique. Un robinet permet d'évacuer l'excédent d'eau de la gouttière. Le couvercle peut être refroidi par circulation d'eau froide. Avec des couvercles de ce dernier modèle, Foth a observé une récupération de 0 l. 56 d'alcool par hectolitre produit, avec 50 litres d'eau dans la gouttière, pour des cuves de 50 hectolitres.

Les cuves closes se sont répandues de plus en plus en Allemagne et donnent satisfaction. En moyenne, on récupère ainsi 0 l. 6 à 0 l. 7 par cent litres d'alcool produit, la moitié de ce chiffre provenant de la suppression du contact de l'air, l'autre moitié provenant du lavage de l'acide carbonique. Dans certains cas, ce chiffre a atteint 1 litre à 1 l. 500 d'alcool. Mais il peut être notablement inférieur à 0 l. 6 dans des conditions moins favorables.

Le lavage des gaz par l'eau ne peut toutefois conduire qu'à une récupération partielle. Les travaux effectués pendant la guerre dans les poudreries pour

la récupération presque totale des vapeurs d'alcool lors de l'évaporation des solvants pourraient être très utilement appliqués en distillerie.

M. Brégeat a montré en effet en 1917 que certains corps à fonctions phénoliques, et en particulier les crésols, absorbent d'une manière complète l'alcool et l'éther et retiennent si bien ces produits qu'il faut, pour les dégager, porter l'absorbant à une température très élevée, par exemple à 130° et à 150°. Ce procédé, appliqué dans la plupart des poudreries françaises et étrangères, a permis de récupérer des quantités considérables d'alcool et d'éther.

M. Mariller a cherché à appliquer ce procédé à la récupération intégrale des vapeurs d'alcool contenues dans le gaz carbonique de fermentation.

Des essais ont été effectués en faisant fermenter dans une cuve fermée de 200 litres, munie d'un couvercle, des moûts de mélasses. Les gaz, à leur sortie de cette cuve, traversaient trois flacons successifs contenant le premier de l'eau et les deux suivants du crésol. Dans ces conditions, M. Mariller a pu constater que la perte était de 0, 22 p. 100 pour un liquide à 41, et de 0, 65 p. 100 pour un liquide à 10°. Ces chiffres sont en réalité plus faibles que ceux qu'on peut observer dans la pratique industrielle, à cause de la condensation très importante que produisait le couvercle, dont la surface était très grande par rapport aux dimensions réduites de la cuve. En appliquant la même méthode sur une cuve de fermentation ayant donné un liquide à 9°9 d'alcool par le travail des grains au moyen du procédé Boulard, M. Bettinger a constaté une récupération de 0, 579 p. 100.

M. Mariller conseille d'employer simplement une

colonne à ruissellement ou à barbotage, obligeant les gaz à subir le contact intime de l'épuisement par le crésol en circulation méthodique. Les colonnes à ruissellement n'exigeant qu'une faible perte permettent d'employer des ventilateurs à faible dépression, ce qui réduit la force motrice nécessaire.

Dans le cas des cuves fermées, les ventilateurs sont inutiles; les gaz traversent les appareils d'absorption en raison de leur propre pression. En cas de cuves ouvertes, on opère par simple débordement des gaz dans des tuyauteries avec légère aspiration d'intensité réglable. La désalcoolisation du produit se fait dans un évaporateur (ou une colonne), porté à la température précédemment indiquée et on obtient ainsi, d'une part l'absorbant régénéré qui rentre dans le travail, et d'autre part, de l'alcool qu'on rectifie directement. En pratique, avec des gaz de fermentation contenant de 10 à 20 grammes d'alcool par mètre cube d'air traité, le crésol peut être amené à une teneur de 10 p. 100 en alcool.

L'alimentation des cuves se fait souvent par des goulottes en bois; mais il est préférable d'employer des tuyaux métalliques qu'on peut facilement laver et nettoyer à la vapeur. La vidange se fait par un tuyau muni d'un robinet d'évacuation. Les canalisations de cuivre sont les meilleures; elles ont l'avantage d'être lisses et très faciles à laver. Le nettoyage des canalisations doit être fait avec le plus grand soin en y faisant passer la vapeur pendant au moins trois quarts d'heure, de manière à atteindre sûrement la température de destruction des microbes qui s'y trouvent.

Pour faciliter l'opération et empêcher les accumulations de germes, il est bon de pouvoir démonter

facilement les tuyauteries et d'éviter autant que possible les coudes brusques.

Le nettoyage des cuves de fermentation se fait ordinairement à la chaux; on les brosse avec un lait de chaux, puis on rince à l'eau pure. Si la pureté des fermentations laisse à désirer, il est préférable de recourir à des antiseptiques, par exemple au chlorure de chaux à 1 kilogramme par hectolitre ou au bisulfite de chaux du commerce, étendu de dix fois son volume d'eau. Le traitement à l'antiseptique est suivi d'un rinçage à l'eau. Mærcker recommande de passer d'abord la cuve à la soude et, après lavage, de la traiter par l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique étendu.

Les cuves sont placées dans une salle spéciale, appelée *cuverie*, ordinairement disposée au rez-de-chaussée. La température doit être aussi constante que possible, en été comme en hiver; aussi est-il recommandable de construire les murs assez épais et de ne pas percer de trop grandes fenêtres. Le nettoyage de la salle doit être très facile: le sol doit être imperméable, dallé ou cimenté pour qu'on puisse le laver à grande eau et il faut avoir soin de réserver un écoulement facile aux eaux de lavage. Les murs sont ordinairement construits en briques: ils doivent être recouverts en bas d'un revêtement de ciment jusqu'à la hauteur des cuves. On peut également les peindre au goudron ou au vernis émail. Les cuves doivent être disposées sur des fers qui reposent sur des dés en maçonnerie; on peut ainsi les visiter facilement en dessous et se rendre compte des fuites.

La cuverie doit être claire, assez haute et convenablement ventilée. L'élimination de l'acide carbo-

nique se fait en réservant au niveau du sol des orifices en communication avec l'extérieur ou avec une canalisation de tirage. Ces orifices doivent être grillagés et on doit pouvoir les fermer par des petites trappes pour réduire la ventilation dans les grands froids.

D'une façon générale, il est indispensable de maintenir toute la cuverie dans le plus grand état de propreté; les nettoyages constituent en effet une des premières conditions de la pureté des fermentations et de l'obtention de hauts rendements en alcool.

III. — FERMENTATION DES MOUTS DE BETTERAVES

Réglage de la densité, de la température et de l'acidité du moût. — Il importe tout d'abord de ne mettre en fermentation qu'un jus à la densité, à la température et au degré d'acidité convenables. La densité doit d'abord être maintenue constante, et on arrive à ce résultat en réglant la marche des appareils extracteurs du jus, de manière à obtenir un jus à la densité voulue. En outre, la température des jus qui coulent sur les cuves en fermentation doit être réglée au moyen du réfrigérant et des cuves préparatoires, si elles existent de telle sorte que les températures en cuve restent comprises entre 26 et 30 degrés. On doit donc couler plus froid quand la température a une tendance à trop s'élever dans les cuves.

Le réglage de l'acidité est particulièrement important. Nous avons vu que le moût de betteraves est additionné d'acide sulfurique lors de l'extraction. Cet

acide a pour résultat de déplacer d'abord les acides organiques de leurs combinaisons, et de les mettre en liberté, ce qui constitue un milieu favorable pour le développement et le travail de la levure. L'excès d'acide sulfurique employé reste à l'état libre dans le moût. Il est nécessaire d'ajouter une quantité d'acide sulfurique suffisante pour qu'il y ait dans le jus une certaine proportion d'acide sulfurique libre, car cet acide joue le rôle d'antiseptique vis-à-vis des ferments nuisibles, tandis que les acides organiques sont beaucoup moins actifs sous ce rapport. Mais la levure elle-même ne peut supporter les doses élevées d'acide sulfurique libre; une dose de 2 grammes à 2 gr. 5 en acide sulfurique *libre* paralyse la levure. La quantité d'acide sulfurique libre doit donc être insuffisante pour gêner la fermentation alcoolique et assez forte pour jouer le rôle d'antiseptique vis-à-vis des ferments plus sensibles à l'acidité. L'acidité à adopter dépend de la nature de la betterave; de la quantité de vinasse employée, de la pureté de la fermentation, etc. Si l'usine travaille dans de bonnes conditions, si les moûts sont peu chargés de bactéries et si les levains sont purs, il n'est pas nécessaire de choisir une acidité élevée et on peut avoir des fermentations excellentes en ne dépassant pas une dose de 1 gramme à 1 gr. 2 par litre, évaluée en acide sulfurique. Quand les conditions de travail sont moins favorables, il est préférable d'adopter une acidité plus élevée, voisine de 2 grammes par litre; dans certaines distilleries, on travaille même avec une acidité qui atteint 3 grammes par litre. Il vaut bien mieux porter tous les soins dans l'extraction des moûts, dans la pureté des levains et dans la propreté de la cuverie de manière à pouvoir fermenter avec une

acidité plus faible, que de combattre le développement des microbes nuisibles par de fortes doses d'acide sulfurique. Quoi qu'il en soit, le meilleur moyen dont dispose le distillateur pour fixer l'acidité la plus favorable consiste à faire quelques essais au laboratoire sur le moût fabriqué à l'usine. Après quelques tâtonnements, il trouvera rapidement la dose d'acide qui convient le mieux à ses conditions de travail et de matières premières.

Si on constate qu'avec la dose d'acide adoptée, l'acidité monte peu à peu en cuve pendant la fermentation, il faut augmenter progressivement la dose d'acide sulfurique, tout au moins provisoirement, rechercher dans le travail les causes de cette production d'acide, soit dans la préparation des moûts ou des levains, soit dans la fermentation elle-même, et y remédier. Si l'acidité du jus fermenté est très élevée, et surtout si l'acidité volatile y est considérable, l'excès d'acidité pourrait paralyser de plus en plus la fermentation alcoolique, et il faut dans ce cas diluer fortement la vinasse avec de l'eau avant de faire rentrer dans le travail, ou même rejeter cette vinasse et recommencer après nettoyage une extraction à l'eau pure.

Pour assurer la régularité de la densité, de la température et de l'acidité, on utilise fréquemment des cuves intermédiaires, appelées cuves préparatoires où se fait le réglage de la composition et de la température du moût. Ces cuves, au nombre de deux, sont placées entre les appareils d'extraction du jus et les cuves de fermentation : une des cuves s'emplit pendant qu'on titre l'acidité de l'autre. On peut ainsi corriger les défauts d'acidification. En outre, en plaçant un serpentín dans ces cuves, on

peut amener exactement le jus à la température voulue. On obtient ainsi un jus bien mélangé, à une température et à une acidité toujours constantes.

Mise en fermentation et préparation des levains. — La mise en fermentation des moûts de betteraves peut se faire directement par addition de levure de bière ou de levure pressée de distillerie ou par des levains de levure pure.

Travail avec la levure de bière. — Quand on emploie la levure de bière ou la levure pressée, on commence par réveiller la levure dans une cuvelle de 1 ou 2 hectolitres contenant du jus à 30 degrés. On place dans ce jus environ 50 kilogrammes de levure liquide ou 25 kilogrammes de levure pressée, on délaie et on brasse pour aérer le mélange. Au bout de quelques instants, le liquide gonfle dans la cuvelle : on le déverse alors dans une des cuves de fermentation contenant du jus sur une hauteur de 30 à 40 centimètres. On agite fortement le pied de cuve, de manière à bien faire pénétrer l'air dans la masse. Quand la fermentation est active, on suit au densimètre la diminution de la densité et quand celle-ci est tombée à 1010-1015 on commence à couler lentement sur la cuve le jus qui vient des appareils d'extraction, de manière à maintenir constamment la densité au point choisi, 1010 par exemple. L'alimentation en jus doit donc apporter dans un temps donné la quantité de sucre que la levure fait disparaître dans le même temps. Dans ces conditions, le jus contient toujours un grand nombre de cellules de levure en activité qui peuvent lutter victorieusement contre les ferments apportés par le moût. L'alcool produit exerce d'ailleurs toujours ainsi son action

antiseptique sur les microbes nuisibles. Il faut surtout avoir soin de ne pas couler trop rapidement, car le nombre des cellules de levure par litre de moût devient trop faible, la fermentation se ralentit, la cuve est alors *noyée*, et pendant cet arrêt d'activité, les ferments secondaires peuvent se multiplier plus abondamment.

Quand la cuve est ainsi remplie de jus, elle sert alors de pied pour la fermentation des autres cuves, comme nous le verrons plus loin.

Le pied peut également être fait dans une cuve spéciale; quand cette cuve est pleine, elle sert à ensemercer une première cuve sur laquelle on continue à couler le jus de betteraves. On peut également stériliser au préalable le moût, l'ensemencer avec la levure de bière et aérer avec de l'air filtré sur coton, pour activer la prolifération de la levure. Cette précaution est bonne, mais comme la levure de bière n'est jamais parfaitement pure, les ferments qu'elle contient se développent dans le moût et viennent faire concurrence à la levure; aussi est-il préférable si on veut recourir à ce mode de travail par stérilisation, d'employer les levains de levure pure.

Travail par levains de levure pure. — La pureté de la levure de bière est toujours douteuse. Pour avoir une fermentation aussi pure que possible, la première mesure à prendre consiste évidemment à partir d'un levain pur, complètement exempt de bactéries et préparé avec une levure bien appropriée. Dans la suite des opérations industrielles, le moût n'étant pas stérilisé, la contamination de la levure pure ainsi préparée est inévitable, mais le point de départ étant maintenu soigneusement pur, les chances de contamination sont beaucoup moins

grandes que dans le travail ordinaire, et l'introduction d'un nouveau levain aussi souvent qu'il est nécessaire permet de travailler sans cesse dans les meilleures conditions.

Le choix de la levure présente une importance considérable. La race adoptée doit être active et bien appropriée aux conditions de travail de l'usine. Les levures de bière conviennent mal, car elles sont habituées à faire fermenter des moûts neutres, dont le sucre est constitué par du maltose, et à température assez basse, tandis qu'en distillerie de betteraves elles doivent travailler en milieu acide, s'attaquer au saccharose, et marcher à température beaucoup plus élevée. Certaines races de levures de vin conviennent très bien pour la fermentation des moûts de betteraves; il en est de même de certaines levures acclimatées au moût de betteraves, qu'on peut isoler à l'état pur au laboratoire et multiplier ensuite à l'usine.

M. Jacquemin a appliqué le premier les levures pures de vin à la préparation des levains pour la fermentation des betteraves. Les appareils employés aujourd'hui par M. Jacquemin pour la production des levains continus sont constitués par des bassines métalliques, hermétiquement closes et stérilisables. Une première cuvelle, de très petit volume, sert à l'introduction de la semence de levure pure. Deux autres petites cuves, beaucoup plus grandes que la cuvelle, sont placées à côté de celle-ci : la cuvelle et les deux cuves sont réunies par un tuyau stérilisable par la vapeur, de manière à pouvoir envoyer une partie du contenu de l'une dans l'autre. On peut injecter de la vapeur dans ces cuves, y faire arriver le moût, le stériliser par la vapeur, le refroidir par

ruissellement d'eau froide à l'extérieur et faire passer dans le liquide de l'air stérilisé. Au-dessous de ces bassines de première propagation se trouvent deux cuves plus grandes, dans lesquelles on peut également stériliser du moût par la vapeur et qu'on ensemece avec la levure multipliée dans les deux petites cuves.

Le travail s'effectue de la façon suivante : On commence par remplir une des deux petites cuves avec du moût de betteraves, on le stérilise par ébullition pendant une demi-heure au moyen de la vapeur, puis on remplace la vapeur par une injection d'air stérile, et on refroidit par ruissellement d'eau sur les parois extérieures de la cuve. Quand la température est descendue à 30°, on vide dans la petite cuvelle, préalablement stérilisée par la vapeur et parcourue par un courant d'air filtré, la semence de levure pure fournie par le laboratoire ; on ferme, et par pression d'air comprimé filtré, on fait passer la levure dans la petite cuve qui contient le moût stérilisé. Vingt-quatre heures plus tard, le levain de cette cuve est bon à prendre. On prépare alors, dans la deuxième petite cuve située à côté de la première, du moût stérilisé et refroidi à 30°, et on l'ensemence en refoulant avec l'air comprimé, par l'intermédiaire du tuyau de communication, quelques litres de la cuve voisine où la levure est développée. On fait alors descendre le levain de la première petite cuve dans une des deux grandes cuves inférieures où on a préparé du moût de betteraves stérilisé ; on laisse fermenter le moût pendant douze heures sous aération continue et on envoie alors le liquide dans les cuves à pied de la distillerie, où le moût n'est plus stérilisé, mais où il est fortement aéré, s'il s'agit

d'une grande usine où les cuves ont plus de 300 hectolitres, ou bien on l'envoie dans une cuve ordinaire de distillerie si les cuves n'ont que 100 à 300 hectolitres. Le travail industriel s'effectue alors, comme nous le verrons plus loin, avec la levure ainsi préparée.

L'appareil est continu. En effet, avant de se servir d'une des petites cuves pour l'ensemencement d'une grande, on prépare dans l'autre du jus stérilisé et on l'ensemence en faisant passer quelques litres de jus de la première en fermentation. De même, on prépare alternativement du moût stérilisé dans chacune des grandes cuves qu'onensemence avec l'une ou l'autre des petites cuves supérieures.

M. Fernbach opère dans une cuve métallique de dix hectolitres en cuivre étamé, fermée par un couvercle et stérilisable par la vapeur, et portant un serpentín dans lequel on peut faire passer soit de la vapeur, pour porter le moût à l'ébullition, soit de l'eau froide pour le refroidir. On introduit dans cette cuve du jus de betteraves dont l'acidité doit être environ de 1 gramme par litre, on porte le jus à l'ébullition, puis on le refroidit à 30 degrés. Le réveil de la levure se fait dans un bac plat rectangulaire ouvert, placé immédiatement au-dessous de la cuve de stérilisation. Ce bac porte sur son fond un tube percé de trous, par lequel on peut injecter de la vapeur ou de l'air comprimé stérilisé par filtration sur coton. Après avoir nettoyé ce bac à fond avec des antiseptiques et de l'eau bouillante, on laisse tomber dans le bac 5 hectolitres de moût à 28 degrés venant de la cuve de stérilisation, on y verse les bouteilles de levures pure venant du laboratoire, on

mentation partir. Au bout de quatre ou cinq heures, quand le bac de réveil est en pleine fermentation, on y fait couler lentement 5 nouveaux hectolitres de moût à 26-28 degrés, et quand les 10 hectolitres sont en fermentation active, on coule encore 10 hectolitres de moût bouilli préparé dans la cuve de stérilisation. Quand la fermentation est bien partie, on fait couler les $\frac{8}{10}$ du contenu du bac de réveil comme pied dans une cuve de fermentation ordinaire, et on alimente ce qui reste dans le bac avec du moût bouilli pour constituer un second pied de levain destiné à une autre cuve, et ainsi de suite.

M. Barbet n'utilise qu'un seul et unique appareil à levains, assez grand pour qu'à intervalles réguliers, une, deux ou même trois fois par vingt-quatre heures, on puisse en soutirer un levain pur, suffisamment riche en cellules acclimatées et actives pour servir directement de pied à une grande cuve de fermentation. Pour les très grandes distilleries, on maintient cependant l'usage d'une cuve à levain intermédiaire. Toutes les précautions sont prises contre les contaminations pour que l'appareil puisse produire des levains purs pendant plus d'un mois sans renouvellement de la semence. Dans cet appareil, M. Barbet a appliqué une idée due à M. Calmette et qui consiste à cultiver la levure sur de larges plateaux plats sur lesquels le moût est continuellement remonté par un émulseur à air comprimé stérilisé. On a réalisé ainsi l'aérobiose recommandée par Pasteur pour favoriser la prolifération de la levure.

La figure 49 représente l'appareil breveté de M. Barbet. Il est formé par

un cylindre vertical, en cuivre ou en tôle et composé de deux parties distinctes : le bas fait réservoir de jus en fermentation pure, tandis que le haut comprend de quatre à six plateaux d'aérobiose sur lesquels le liquide forme une couche très mince d'environ 2 centimètres d'épaisseur. Le liquide du réservoir

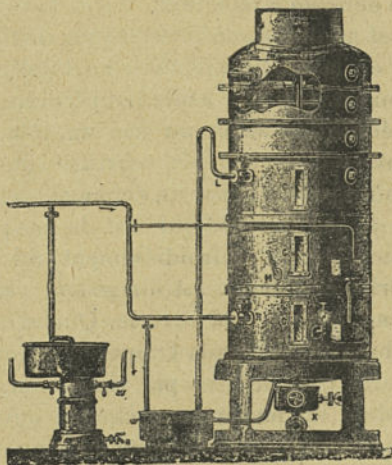


Fig. 49. — Appareil à production continue de levains purs par aérobiose (Barbet, constructeur à Paris).

voir inférieur est perpétuellement remonté sur le plateau supérieur au moyen d'un émulseur tubulaire intérieur fonctionnant par pression d'air stérilisé. Un axe vertical traverse l'appareil; cet axe porte des brosses métalliques pour mettre en suspension les levures déposées sur les plateaux; on les fait tourner par un mécanisme à la main. L'appareil porte en outre une tubulure d'évacuation de l'air et de l'acide carbonique, un robinet de vidange, un thermomètre, une entrée d'air stérilisé pour barbotage

direct et une tubulure d'ensemencement de la levure pure.

Le stérilisateur d'air placé à gauche de la figure se compose d'un filtre à coton enfermé dans un autoclave à vapeur, de telle sorte qu'on peut de temps en temps stériliser le coton sans avoir aucune manœuvre délicate à effectuer.

M. Barbet applique son procédé aux distilleries de betteraves de la façon suivante. La totalité des jus de diffusion est stérilisée à une température très voisine de l'ébullition dans un bac en tôle. Le jus, avant d'entrer dans ce bac, traverse un appareil tubulaire où il reprend, par un échange méthodique, la chaleur du jus stérilisé qui sort du bac ; un réfrigérant complète le refroidissement du jus. Le liquide stérile et refroidi est dirigé soit vers l'appareil à levains, soit vers la cuverie. Quand la fermentation est bien établie dans l'appareil à levains, on peut produire trois levains par vingt-quatre heures et on emploie un levain pour chaque cuve. Si les cuves sont nombreuses, on n'emploie qu'un levain pour deux ou trois cuves et on se sert de la cuve qui a reçu un levain pour transmettre la fermentation à la cuve voisine.

MM. Egrot et Grangé appliquent aux distilleries de betteraves le stérilisateur récupérateur réfrigérant automatique que nous avons décrit précédemment, dans le chapitre consacré au refroidissement des moûts. Ces appareils élèvent à l'ébullition ou même à 110-112° les moûts sucrés et les refroidissent ensuite à la température convenable pour la mise en fermentation. L'ensemencement du moût se fait au moyen d'une cuve à levain qui peut être stérilisée par la vapeur d'eau qui sort du moût qu'on y stérilise

et qu'on ensemence avec la levure pure choisie. Le levain est alors introduit, après développement, dans une cuve spéciale de fermentation continue que nous retrouverons plus loin.

MM. Collette et Boidin ont appliqué enfin à la préparation des levains pour les jus de betteraves les cuves closes et stérilisables utilisées pour la fermentation et la saccharification simultanées des matières amylacées par le procédé Amylo. Nous décrirons ces cuves dans le chapitre consacré à ce procédé. On peut, dans ces cuves, stériliser le jus de betteraves en grande quantité, le refroidir à l'abri de toute contamination par les microbes étrangers, l'aérer avec de l'air filtré et l'ensemencer seulement avec un ballon d'un demi-litre de jus de betteraves fermenté par la levure pure choisie. Quand le levain est développé, il sert de pied pour une cuve de fermentation et on travaille alors par coupages, comme nous le verrons plus loin, jusqu'à ce qu'un nouveau levain soit nécessaire. En pratique, quand les jus sont préparés avec soin et peu contaminés, il suffit de faire un levain chaque semaine.

Jacquemin et Gimel ont préconisé l'emploi, pour la préparation des levains, des levures cultivées dans des moûts radio-actifs. Cette radio-activité s'obtient par l'emploi de sels de radium et d'actinium à la dose d'une unité par litre de culture. Une plus forte dose donne une action dépressive sur la levure. Pique a constaté que ces « radio-levures » se multiplient plus abondamment dans les fonds de cuve, et qu'elles possèdent une activité zymasique plus grande que les levures ordinaires. Leur travail est plus rapide et le rendement en alcool est meilleur.

Levains à l'acide fluorhydrique. — On peut

également, en distillerie de betteraves, préparer des levains par le procédé Effront étudié précédemment. Au début de la campagne, on prépare un levain constitué par du moût de malt saccharifié additionné d'une dose convenable d'acide fluorhydrique, etensemencé avec la levure acclimatée. Au bout de vingt-quatre heures de séjour à 30 degrés, on coule ce premier levain dans une seconde cuvelle où se trouve un volume de moût de malt quatre à cinq fois plus fort. Le troisième jour, on fait un troisième levain plus important, et ainsi de suite. Quand on a un levain dont le volume représente 10 à 15 p. 100 du volume de la cuve à fermenter, on l'utilise pour une cuve; et dans la suite du travail, on peut procéder simplement par coupage des cuves, sans renouveler la levure, la dose d'acide fluorhydrique des moûts étant suffisante pour empêcher le développement des bactéries.

Pratique de la fermentation des moûts de betteraves. — La fermentation des moûts de betteraves peut se pratiquer par plusieurs méthodes. La plus répandue est la fermentation par *coupages* qui consiste en principe à se servir d'une cuve en fermentation pour transmettre la fermentation à la cuve suivante. On emploie aussi la fermentation sans coupages, chaque cuve étantensemencée par un levain neuf. On peut enfin opérer par la méthode de fermentation continue en cuve de fermentation principale et cuve de chute, préconisée par MM. Guillaume, Egrot et Grangé.

Fermentation par coupage. — Il existe plusieurs modes de travail par coupages. Le plus répandu consiste à faire servir successivement chacune des cuves comme cuve mère pour fournir le

coupage nécessaire à l'une des cuves suivantes. La mise en fermentation se fait comme nous l'avons vu plus haut, soit au moyen de la levure de bière, soit au moyen d'un levain pur préparé par une des méthodes précédemment étudiées. Quand la première cuve est pleine, on la partage avec une autre cuve vide, et on continue à couler les jus sur les deux cuves en maintenant toujours la densité à 1010-1015. Quand les deux cuves sont pleines, on les coupe avec une troisième, et ainsi de suite.

La plus ancienne cuve, emplie complètement, est isolée et abandonnée à la fermentation jusqu'à ce qu'elle soit tombée; on l'envoie alors à distillation. Le travail se continue ainsi régulièrement jusqu'à ce que la première cuve distillée et vide soit de nouveauensemencée par le coupage d'une cuve précédente et rentre ainsi en série. Chaque cuve devient donc successivement cuve mère et fournit le liquide nécessaire pour l'ensemencement des autres cuves.

Pour pouvoir effectuer le coupage, toutes les cuves doivent communiquer entre elles par un tuyau de communication qui se trouve à peu près à la moitié de la hauteur des cuves et qui est relié à chacune d'elles par un robinet. Pour mettre deux cuves en communication, il suffit d'ouvrir le robinet correspondant à chacune de ces deux cuves.

Une deuxième méthode de fermentation par coupages consiste à faire fournir les coupages par une cuve mère unique ou cuve nourrice. Cette cuve mère est mise en fermentation avec la levure de bière ou un levain de levure pure et elle a pour fonction de fournir tous les coupages nécessaires pour communiquer la fermentation aux cuves proprement dites. On fait ainsi en sorte que, dans

la cuve mère, pour l'entretenir, et dans les cuves de fermentation qui reçoivent les coupages de la cuve mère, pour les remplir. Cette méthode est moins employée que la précédente, et on la rencontre surtout dans les usines qui produisent de forts levains à la levure pure. Elle est excellente à condition d'employer une levure qui ne soit pas contaminée, et de liquider de temps à autre la cuve nourrice pour la remettre en marche avec un nouveau levain. Certaines usines liquident ainsi leur cuve mère tous les jours, d'autres la conservent huit jours et plus. Il est préférable de renouveler le levain tous les deux ou trois jours au moins. Si on a le soin d'alimenter la cuve nourrice avec du jus stérilisé par passage dans les stérilisateur-récupérateurs décrits précédemment, et si on l'ensemence avec un levain de levure pure, on peut avoir des fermentations d'une pureté parfaite.

Fermentation par levains. — On peut aussi produire la fermentation dans des cuves successives en la provoquant par un levain neuf pour chaque cuve.

Cette méthode peut être employée dans les usines qui sont outillées pour produire d'une façon continue des levains de levure pure. Les appareils de M. Barbet, précédemment décrits, conviennent tout particulièrement pour ce mode de travail où chaque cuve reçoit son levain pur. Ce procédé peut être combiné avec le procédé par coupages; on utilise alors un levain pour deux ou trois cuves en communication et ce mode de travail rentre alors dans les méthodes ordinaires par cuve mère.

Fermentation en présence d'acide sulfureux.

— Martinié a proposé la substitution de l'acide sul-

fureux à l'acide sulfurique pour l'acidification des jus de betteraves. On additionne ce jus, après chauffage à 70°, d'environ 500 milligrammes d'acide sulfureux par litre et on ensemece très fortement, avec un tiers environ du volume mis à fermenter. Dans ces conditions, une très faible partie de l'acide sulfureux reste libre. La plus grande partie se combine avec les sucres réducteurs et avec l'aldéhyde éthylique, une partie enfin s'oxyde à l'état d'acide sulfurique. La fermentation part très vite et en 14 heures, la densité est au-dessous de 1000. Le jus employé pour la mise en fermentation peut être du jus sulfité. D'après Martinand, on obtiendrait des fermentations très pures, car non seulement les bactéries, mais également les moisissures et les levures apiculées sont atteintes par l'acide sulfureux, ce qui n'a pas lieu avec l'acide sulfurique.

Fermentation continue aseptique, système Guillaume, Egrot et Grangé. — Cette méthode de fermentation comporte l'emploi d'une grande cuve, dite de fermentation principale, qui est semencée au début de la campagne par un levain de levure pure et qui est ensuite alimentée régulièrement et d'une façon continue par le jussucré sortant du réfrigérant. Cette cuve n'est jamais vidée, ni jamais mise en distillation, sauf en fin de campagne bien entendu; elle supporte seule toute la fermentation et reçoit absolument tout le jus frais produit par la diffusion. Pour envoyer à la distillation le moût fermenté, un prélèvement continu est fait sur la cuve de fermentation principale, et le débit en est réglé de façon à toujours maintenir dans celle-ci le volume de jus convenable pour y assurer la fermentation au point voulu de tout le jus frais qu'elle

reçoit. Ce jus fermenté est envoyé dans une cuve de chute et de liquidation dans laquelle la fermentation achève de tomber et d'où il passe à la distillation.

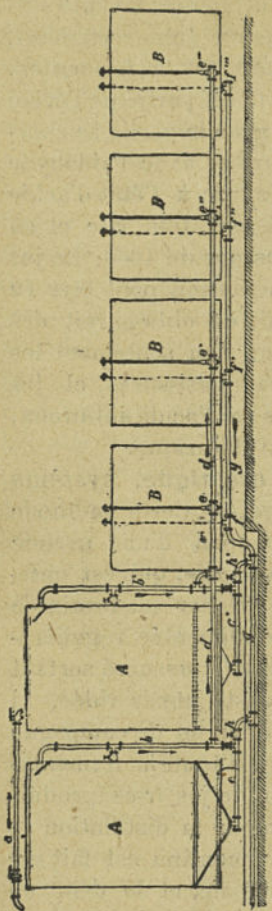


Fig. 50. — Schéma d'ensemble pour la fermentation continue aseptique, système Guillaume (Egrot et Grangé, constructeurs à Paris).

La figure 50 représente une installation de fermentation de jus de betteraves par cette méthode. La fermentation principale se fait dans deux cuves conjuguées A, A, et la liquidation du jus fermenté s'effectue au moyen de quatre cuves de chute B, B, B, B, de capacité beaucoup moindre.

L'arrivée du jus frais se fait en *a*, les tuyaux *b* et *b'* servent à l'extraction latérale, et *c* et *c'* à l'extraction inférieure des cuves de fermentation principale. Le tuyau *d* amène les jus aux cuves de chute, et le tuyau *g* sert pour le départ des jus fermentés.

Marche de la fermentation. — La fermentation du jus de betteraves est très rapide, car il constitue un milieu excellent pour la prolifération de

La fermentation du jus de betteraves est très rapide, car il constitue un milieu excellent pour la prolifération de

la levure. Les jus doivent arriver sur les cuves à 22-25° de manière à ne pas dépasser 30° autant que possible en cuve de fermentation. Les températures inférieures à 28° ralentissent la marche de la fermentation, et les températures plus élevées occasionnent une perte en alcool plus grande par évaporation. En outre, les hautes températures de 34-37° favorisent la multiplication des microbes nuisibles. Ce fait n'a pas grande importance dans les usines qui travaillent bien et qui produisent des moûts pauvres en bactéries, mais devient très important pour les usines où la propreté laisse à désirer.

Quand la levure a terminé son action, le dégagement d'acide carbonique cesse brusquement, le liquide s'éclaircit et la cuve est prête à être distillée.

Pour pouvoir régler la température en cas d'échauffement ou de refroidissement, on installe parfois un serpentín réfrigérant dans la cuve. Cette disposition est assez peu recommandable, car ces serpentins sont gênants pour le nettoyage des cuves, et quand le travail est bien conduit, quand l'acidité et la température de coulage sont bien réglées, leur présence est absolument inutile. Il est bien préférable, dans tous les cas, quand on dispose de cuves en tôle, de recourir à la réfrigération par ruissellement d'eau à l'extérieur ; mais cette mesure ne doit pas être nécessaire dans une cuverie bien conduite.

Il est indispensable, à la fin de la fermentation, de doser l'acidité du jus fermenté. Si la marche est bonne, l'augmentation de l'acidité doit être faible. On doit également contrôler la chute de densité et le sucre restant après fermentation. Nous étudierons spécialement cette question à propos du contrôle du travail.

Le procédé de fermentation par coupages réduit considérablement la dépense en levure; mais, en en pratique, la pureté de la levure ne peut pas se conserver intacte. Au bout d'un certain temps, la fermentation se ralentit, le rendement en alcool baisse, l'acidité augmente et il est nécessaire de renouveler la levure. On prépare alors un nouveau levain soit avec la levure de bière, soit avec la levure pure et on recommence une nouvelle série de coupages avec le levain ainsi préparé.

Les jus produits par les diverses méthodes d'extraction ne fermentent pas tous de la même manière. Les jus qui fermentent le plus facilement sont les jus de presses continues, puis viennent les jus de macération; enfin les jus de diffusion à l'eau, préparés avec des betteraves riches, sont les plus difficiles à faire fermenter. Ce fait paraît tenir d'une part à la composition chimique du jus, et d'autre part aux conditions d'aération. Les moûts de betteraves préparés par diffusion à l'eau sont beaucoup plus purs que les jus de presses. Les jus de presses représentent le véritable jus de la betterave, tandis que dans l'extraction par diffusion à l'eau, certaines matières azotées peu diffusibles restent dans les cossettes et sont perdues pour l'alimentation de la levure. Le ferment alcoolique trouve donc dans les moûts de diffusion à l'eau beaucoup moins de matières azotées assimilables que dans les moûts de presses continues. En outre, si on n'a pas soin de bien aérer les moûts de diffusion, ces moûts renferment une quantité d'oxygène beaucoup plus faible que les moûts préparés par râpage et pressurages. Dans la diffusion ou la macération à la vinasse, les différences avec les moûts de presses sont moins

grandes, car la vinasse constitue une véritable décoction de levure et renferme par suite beaucoup de matières azotées assimilables. Il est donc indispensable, dans le travail par diffusion à l'eau, d'employer une levure acclimatée à vivre dans ce moût pur, et peu exigeante sous le rapport de la nutrition azotée.

Accidents de fabrication dans la fermentation des jus de betteraves. — Les accidents qui se produisent dans la fermentation des jus de betteraves proviennent le plus souvent de l'envahissement des cuves par les ferments nuisibles. Le développement de ces ferments peut venir d'un manque de propreté dans le travail, d'une température de fermentation trop élevée, d'une acidification sulfurique insuffisante ou de la mauvaise qualité de la levure.

Le manque de propreté est la cause la plus fréquente des accidents de fermentation. Le lavage des betteraves peut être imparfait, les jus faibles qu'on emploie souvent en macération et en diffusion peuvent s'être altérés dans la citerne, les appareils où passe le jus sont parfois insuffisamment nettoyés; enfin les cuves de fermentation elles-mêmes peuvent être malpropres. Donc, quand on se trouve en présence d'un accident, il faut aussitôt rechercher le foyer d'infection, le supprimer, procéder à un nettoyage général aux antiseptiques et recommencer le travail.

Une température trop élevée de fermentation (34-35 degrés) favorise le développement des microbes nuisibles, et même si les jus sont assez purs et bien préparés, la fermentation peut laisser à désirer au bout de quelque temps dans les usines qui travaillent par coupages sans renouveler fréquemment

leur levure. Les bactéries se multiplient ainsi peu à peu et le travail devient défectueux. Le mal est beaucoup plus grave et plus rapide dans les distilleries où les soins de propreté sont insuffisants et où les jus sont riches en bactéries.

Le développement plus actif des ferments nuisibles peut venir aussi d'un défaut d'acidification sulfurique : ce fait peut s'observer surtout au début de la campagne, quand le distillateur doit régler par tâtonnements l'acidité la plus favorable pour ses conditions de travail et la nature de ses betteraves. Une fois l'acidité réglée, si on constate un dérangement dans le travail et une augmentation progressive de l'acidité pendant la fermentation, on peut provisoirement élever peu à peu la dose d'acide sulfurique, mais il est nécessaire de rechercher en même temps si une faute n'a pas été commise dans le travail et s'il n'y a pas eu une infection qu'il faut supprimer avant toute modification définitive dans le taux d'acide sulfurique.

Enfin la mauvaise qualité de la levure peut également occasionner des accidents. Ce fait se produit surtout dans les usines qui utilisent de la levure de bière altérée ou impure, ou qui, travaillant par levure pure, envoient sans contrôle microscopique dans une cuve un levain infecté à la suite d'une fausse manœuvre. Le seul remède dans ce cas est la liquidation rapide des cuves, et la mise en marche, après nettoyage, avec un autre levain de bonne qualité.

Un accident assez fréquent en distillerie de betteraves est la fermentation nitreuse. Cette fermentation résulte du développement de bactéries réductrices qui décomposent les nitrates de la betterave

en donnant surtout des nitrites et de l'azote gazeux. Les nitrites sont eux-mêmes décomposés par les acides en donnant du bioxyde d'azote qui se transforme au contact de l'air en vapeurs rutilantes de peroxyde d'azote, qui sont très antiseptiques pour la levure et ralentissent son développement. La cuve se couvre dans ce cas de bulles jaunâtres de peroxyde d'azote. La fermentation nitreuse se produit également dans les cuves infectées par le ferment butyrique : ce ferment dégage de l'hydrogène qui réduit les nitrates en nitrites; ceux-ci donnent du bioxyde d'azote. Quand on observe cette fermentation nitreuse, il faut procéder à la désinfection radicale du matériel au chlorure de chaux ou au bisulfite de chaux et remettre en route en prenant tous les soins de propreté nécessaires. L'aération des cuves en fermentation nitreuse peut améliorer provisoirement le travail, mais cette mesure est insuffisante dans la plupart des cas pour faire disparaître complètement le mal, et un nettoyage rigoureux des appareils s'impose.

L'excès de rentrée des vinasses peut aussi amener des troubles dans la fermentation. Les sels et les matières organiques s'accumulant dans le jus, la chute de densité devient anormale et la fermentation se ralentit. Il suffit dans ce cas de diluer plus fortement la vinasse pour faire rentrer le travail dans la voie normale.

Il se produit fréquemment, pendant la fermentation, des mousses très abondantes qui s'élèvent de plus en plus et débordent hors de la cuve. On cherche à abattre ces mousses avec du dégras ou de l'huile, mais il faut ne faire usage de ces substances que le moins possible, car elles salissent les colonnes et

donnent parfois mauvais goût à l'alcool. Quand les mousses se produisent dans les grandes cuves, le meilleur remède consiste à les abattre en dirigeant à la surface de la cuve, avec une lance, un fin jet d'eau froide; on évite ainsi tout débordement, sans modifier la marche de la fermentation, la quantité d'eau ajoutée étant négligeable par rapport au volume des cuves.

IV. — FERMENTATION DES MOÛTS DE TOPINAMBOURS

Les observations relatives à la fermentation des moûts de betteraves s'appliquent également à la fermentation des topinambours. Le procédé le plus employé est le coupage, qui réussit très bien à cause de la grande pureté des jus. La préparation des moûts de topinambours exige en effet, comme nous l'avons vu, un chauffage prolongé en présence d'acide pour la saccharification de l'inuline et des lévulosanes. Ces moûts sont donc parfaitement stériles et la levure y trouve un terrain excellent pour son développement actif. L'emploi de levains de levure pure est ici particulièrement recommandable, car la fermentation mise en marche avec un levain peut se conserver pure pendant très longtemps, et il suffit de faire simplement deux à trois levains pendant toute la campagne, en procédant par coupages dans l'intervalle, pour obtenir des fermentations d'une pureté parfaite.

La prolifération de la levure dans les moûts de topinambours est très considérable, et les distillateurs ont l'habitude d'écumer une partie de cette levure

et de la donner aux pores. Mais comme cette multiplication du ferment alcoolique se fait aux dépens du sucre, on a intérêt à la réduire en ensemençant faiblement les cuves; la pureté du moût permet parfaitement ce mode de travail.

V. — FERMENTATION DES MOÛTS DE MÉLASSES DE BETTERAVES ET DE CANNES

Moûts de mélasses de betteraves.

Nous avons vu, en étudiant la préparation des moûts de mélasses de betteraves, qu'on amène aujourd'hui le moût à une densité qui varie de 1075 à 1105 et qu'on adopte en général une acidité faible qui oscille entre 0 gr. 5 à 1 gramme d'acide sulfurique par litre. Parfois on se contente même de neutraliser simplement l'alcalinité. Le moût ainsi préparé est alors envoyé à la fermentation.

Mise en fermentation et préparation des levains. — La mise en fermentation des moûts peut se faire soit directement avec la levure de bière, soit au moyen de levains lactiques, soit au moyen de levure pure.

Travail avec la levure de bière. — On place soit dans une cuve à levain spéciale, soit dans une cuve de fermentation, une certaine quantité de moût de mélasses dans lequel on délaie la levure nécessaire, et quand la fermentation est en pleine activité, on coule lentement le moût de mélasses sur la cuve jusqu'à remplissage. Cette méthode est aujourd'hui de moins en moins employée. La fermentation

le verrons, un pied pour chaque cuve; on doit donc employer de très fortes quantités de levure qui n'arrivent pas toujours à temps et dans un état de pureté suffisante. Aussi tend-on aujourd'hui de plus en plus à substituer à la levure de bière les levains de levure pure.

Travail par levains lactiques. — Cette méthode, employée en Autriche, consiste à préparer un levain de moût de grains par le procédé allemand que nous étudierons plus loin à propos de la fermentation des matières amylacées. Ce mode de travail n'est pas recommandable, car les levains lactiques sont coûteux et difficiles à préparer, et comme on ne peut les chauffer à une température supérieure à 75 degrés, on apporte forcément des bactéries dans le moût de mélasses avec le levain. Le seul avantage de la méthode est qu'elle entraîne l'introduction dans le moût d'une grande quantité de matières nutritives favorables à l'activité de la levure. Mais ce résultat peut être aussi bien atteint par d'autres méthodes qui comportent l'emploi de la levure pure et que nous allons exposer.

Travail par levains de levure pure. — Les levains de levure pure peuvent être fabriqués soit avec des grains, soit avec de la mélasse.

Quand on prépare les levains avec des grains, on a recours au maïs qu'on saccharifie par les acides. On opère alors le plus souvent de la façon suivante : Le maïs concassé est d'abord empâté dans un malaxeur avec environ 350 litres d'eau et 4 kgr. 500 d'acide sulfurique par 100 kilogrammes de grains; on chauffe pendant une heure à 90 degrés, puis on envoie la masse dans un Krüger où on la porte à 2 kilogrammes de pression. On évacue la masse dans

une cuve, on neutralise partiellement avec de la soude de manière à ramener l'acidité du moût à 0 gr. 8 environ, la densité étant de 1045. On charge avec ce moût un appareil métallique à culture pure, on stérilise par l'ébullition, puis on refroidit à 30-31 degrés et on enseme avec la levure choisie. Quand la densité est tombée à 1025-1030, on vide l'appareil dans une cuve de propagation qui est alimentée par du moût de mélasse; on y maintient la densité à 1035 environ et la température à 28 degrés; quand elle est pleine, on l'envoie comme pied dans une cuve de fermentation. Cette méthode est avantageuse quand le maïs n'est pas cher; les levains au maïs apportent dans le moût de mélasses des matières nutritives abondantes qui favorisent l'activité et la multiplication de la levure; en outre, le moût de levain a subi une stérilisation parfaite pendant la saccharification par l'acide, de sorte qu'on peut obtenir ainsi des pieds très purs.

On peut aussi préparer, dans un récipient spécial en cuivre à double fond, un moût de malt en saccharifiant pendant 30 minutes à 58 degrés, puis pendant 10 minutes à 69 degrés un mélange de malt moulu et d'eau dans la proportion de 2 kilogrammes de malt pour 3 litres et demi d'eau. Ce moût de malt est concentré par ébullition, dans un appareil à levure, jusqu'à ce qu'il contienne environ 18 p. 100 de sucre, puis on refroidit aseptiquement et on enseme avec une culture pure de levure. La levure fournie par cet appareil sert à ensemer des cuves intermédiaires de propagation, remplies de moût de mélasses stérilisé par chauffage et fortement aéré. Ces cuves, d'une capacité de 2 hectolitres, servent à ensemer de plus grandes cuves, de 30 hectolitres

environ, remplies de moût de mélasses à 24 p. 100 de sucre, stérilisé et aéré. Quand la densité a diminué de moitié, les pieds de cuve sont envoyés à la cuverie.

Quand on emploie la mélasse pour la préparation des levains, il est nécessaire de l'additionner de matières nutritives azotées et phosphatées pour permettre le développement normal de la levure. On peut utiliser dans ce but soit la maltopeptone, constituée par un extrait de radicules de malt concentré dans le vide et additionné d'antiseptiques, soit de la levure de bière peptonisée sous l'influence des bactéries, soit le phosphate d'ammoniaque, soit du maïs saccharifié par les acides dans la proportion de 1,5 p. 100 de la mélasse, soit la levure résiduaire recueillie dans les fonds de cuves et peptonisée par cuisson sous pression avec un peu d'acide sulfurique.

Cette dernière méthode a été préconisée par M. Barbet pour faciliter la fermentation des moûts de mélasses. Le résidu boueux de levure est porté à l'ébullition dans un Krüger et distillé jusqu'à épuisement de l'alcool. On ajoute alors une dose d'acide sulfurique qui correspond justement à celle qui est nécessaire pour chaque cuve de fermentation, on ferme et on porte à une pression de 2 kilogrammes. Toutes les cellules de levure sont peu à peu dissoutes ainsi que leurs substances composantes, matières azotées, acide phosphorique, etc. Le mélange acide est refoulé dans la mélasse pour la diluer. On obtient ainsi un moût riche en matières nutritives, dans lequel les fermentations sont extrêmement actives.

Le procédé Bauer utilise la peptonisation de la levure de bière par les bactéries. La levure de bière est abandonnée à elle-même pendant trois ou quatre

semaines dans des petites cuves qui reçoivent chaque jour la quantité de levure correspondante à la consommation. Il faut environ 500 grammes de levure peptonisée par 100 kilogrammes de mélasse travaillée.

Dans les usines qui traitent en même temps les grains et la mélasse, la vinasse liquide de grains est la matière azotée la moins coûteuse et la meilleure à employer pour les pieds destinés à la fermentation des mélasses.

Quelle que soit la matière nutritive adoptée, la quantité de mélasse employée pour confectionner les pieds à 1045-1050 de densité est introduite dans un appareil métallique fermé et stérilisable par la vapeur; on stérilise le moût à 100 degrés, l'acidité étant établie à 2 gr., 5 par litre environ. On refroidit par injection d'air filtré et ruissellement d'eau sur les parois extérieures de la cuve. Quand la température est descendue à 35 degrés, onensemence la levure pure choisie, et quand la densité est tombée environ à 1020, on coule le levain dans une cuve à propagation qu'on alimente avec du moût de mélasse; on y maintient la densité à 1030 environ et quand la cuve est pleine, on l'envoie comme pied dans une grande cuve de fermentation. Si la cuve métallique est munie d'un second récipient destiné à préparer du moût stérile, on peut faire arriver de nouveau du moût dans la cuve et produire ainsi des levains purs continus. La capacité de la cuve à levain doit être d'un sixième de celle des cuves à pied et celle des cuves à pied de $\frac{1}{6}$ de celle des cuves de fermentation.

Les levures utilisées peuvent être soit des levures de vin, soit des levures sélectionnées de mélasses.

Les levures de vin donnent d'excellents résultats par suite de leur activité, mais elles ont parfois l'inconvénient de donner des flegmes riches en produits de tête. Ce défaut se manifeste surtout avec les levures qui donnent beaucoup d'aldéhydes, d'éthers et en général d'éléments constitutifs du bouquet. Il y a donc un choix à faire sous ce rapport. Les levures sélectionnées après développement dans la mélasse peuvent aussi donner des résultats très satisfaisants quand elles sont convenablement choisies.

Les appareils de M. Jacquemin, décrits pour la préparation des levains en distillerie de betteraves, sont utilisés en distillerie de mélasses, d'après les mêmes principes. Chacune des deux cuves métalliques de propagation forme alternativement un levain pour une cuve à pied. Quand la densité est tombée environ des deux tiers dans la cuve à pied, la température étant de 30 degrés, on vide cette cuve dans une cuve de fermentation sur laquelle on coule alors le moût de mélasses. Le moût des cuves à pied n'est pas stérilisé, mais on l'aère pendant les douze heures que dure sa fermentation. La levure employée est la levure pure de vin.

M. Barbet a également appliqué à la distillerie de mélasses son appareil à production continue de levains purs par aérobiose, que nous avons précédemment décrit. La mélasse diluée à 28-30 degrés B, avec un peu d'eau et la totalité de l'acide sulfurique nécessaire à la fermentation, passe dans un récupérateur qui l'échauffe à 80 degrés, entre dans le dénitréur continu où elle subit une ébullition de quinze à vingt minutes, et sort pour se rendre dans un débourbeur fermé par un couvercle. Elle

y reçoit l'eau chaude des condenseurs et même une certaine proportion de vinasse bouillante qui la diluent à 80 degrés, de manière à avoir après refroidissement une densité de 1080 environ. Le moût dilué passe alors au récupérateur où il échauffe la mélasse à dénitrer, puis au réfrigérant et va finalement à la cuverie. Pour les levains, on prélève directement sur le délayeur du moût qu'on réchauffe à 97-98 degrés, on le refroidit dans un réfrigérant spécial, et on l'envoie dans l'appareil à levains purs par aérobiose que nous avons décrit à propos des levains purs en distillerie de betteraves. On ajoute dans le délayeur, soit un peu de sirop de maïs saccharifié et filtré, soit de la maltopeptone pour fournir à la levure quelques éléments plus favorables que ceux de la mélasse seule. L'appareil à levains fonctionne comme nous l'avons vu plus haut, et fournit pour chaque cuve un levain très actif qui permet de charger les cuves à très haute densité, jusqu'à 1100, ou d'employer une certaine proportion de vinasses au délayeur, ce qui économise du charbon pour le travail de potasserie.

Levains de levures acclimatées aux antiseptiques. — La préparation des levains en distillerie de mélasses peut également se faire par le procédé Effront à l'acide fluorhydrique. Le moût de mélasses est additionné d'une dose convenable d'acide fluorhydrique pour empêcher le développement des bactéries, puisensemencé avec une levure acclimatée à l'acide fluorhydrique et appropriée au travail des mélasses en moût concentré, c'est-à-dire aux substances minérales de ces moûts. Une fois le levain préparé, le travail se poursuit d'une façon continue, la cuve à pied fournissant la levure nécessaire.

Plusieurs expérimentateurs ont également acclimaté la levure aux sulfites qui se trouvent parfois en grandes quantités dans les mélasses. MM. Alliot et Gimel ont préconisé l'emploi de l'hypochlorite de chaux dans les levains; ce produit oxyde l'acide sulfureux et les sulfites pour les transformer en acide sulfurique et en sulfates; il a en outre une action bactéricide accentuée et accélère à faible dose la multiplication des cellules de levures. L'hypochlorite de chaux est ajouté après chauffage et refroidissement dans le moût stérilisé, à la dose de 50 grammes par hectolitre. On réduit ainsi la dose d'acide sulfureux au-dessous d'une limite à partir de laquelle il est sans influence sur les levures qui lui sont déjà acclimatées.

Le procédé de fermentation en présence d'acide sulfureux (Martinand), signalé plus haut pour les jus de betteraves, est également applicable aux mélasses.

Pratique de la fermentation des mélasses de betteraves. — Le levain préparé par une des méthodes que nous venons d'exposer est envoyé dans une cuve de fermentation, et on y fait couler le moût de mélasse à la densité et à la température choisies. Avec des levains très actifs, on peut faire fermenter à fond des moûts à 1095-1105 de densité, ce qui réduit la dépense de la potasserie en combustible. Quand la qualité des mélasses est défectueuse, on adopte une densité de 1075-1095. La température du coulage des moûts varie généralement de 20 à 25 degrés; on doit choisir la température plus élevée, quand la mélasse est médiocre. Pendant la fermentation, la température monte à 30-34 degrés, mais elle ne doit pas dépasser 34 degrés. Lorsque l'emplissage de la cuve est terminé, on laisse

la fermentation s'achever, et on envoie la cuve à la distillation dès qu'elle est tombée. Il peut se produire des pertes en alcool importantes si la distillation de la cuve est retardée ; on peut constater en une dizaine d'heures une augmentation d'acidité de 0 gr. 5 à 0 gr. 6 par litre, qui provient surtout de la transformation de l'alcool en acide acétique, et la perte de ce chef peut atteindre en pratique près de 2 p. 100.

Quand on emploie des matières nutritives abondantes pour rendre le moût de mélasses plus riche en substances assimilables pour la levure, et notamment quand on utilise les fonds de cuves par le procédé Barbet dont nous avons parlé plus haut, on obtient des fermentations extrêmement actives et les moûts ont une tendance à s'échauffer outre mesure. Pour éviter cet inconvénient, il ne faut pas pousser trop loin le degré de chargement des mélasses, car plus on a de densité initiale, plus on a de sucre sous un même volume et plus la température tend à s'élever. Grâce à la grande vitalité donnée à la fermentation par la peptonisation des fonds de cuves, on peut faire rentrer dans le délayage des mélasses une proportion importante de vinasses d'une fermentation précédente sans que la levure et sa sucrase en soient trop gênées, et par cet artifice on arrive à la même économie pour l'évaporation des vinasses que si on avait chargé à une densité plus élevée, et on évite les moûts trop riches en sucre, les fermentations trop chaudes et les pertes d'alcool qui les accompagnent.

Le procédé Effront à la colophane s'applique tout particulièrement aux moûts de mélasses et donne d'excellents résultats. On additionne le moût de

20 à 40 grammes de colophane par hectolitre, après l'avoir au préalable émulsionnée dans dix fois son poids d'eau à 60 degrés. La fermentation est plus rapide; on peut réduire notablement la quantité de levure employée pour la mise en levain, et on peut travailler à une acidité sulfurique très faible, ce qui permet d'avoir des salins plus riches en carbonate de potasse.

Les moûts de mélasses sont beaucoup plus pauvres que les moûts de betteraves en matières assimilables pour la levure; ils constituent donc un milieu moins favorable et la levure y dégénère rapidement. Aussi ces moûts se prêtent-ils mal à la fermentation par coupages, qui n'est pas à recommander, et on doit ensemençer chaque cuve avec un levain.

Accidents de fermentation des moûts de mélasses. — On peut observer, en distillerie de mélasses comme en distillerie de betteraves, des accidents de fermentation qui proviennent de la mauvaise qualité de la matière première ou de l'infection du moût par les microbes nuisibles. La fermentation nitreuse notamment peut se manifester dans les mêmes conditions et sous les mêmes influences qu'en distillerie de betteraves, et les remèdes à y opposer sont identiques.

Le phénomène qu'on observe le plus souvent est la langueur ou même l'arrêt de la fermentation avant la transformation complète du sucre en alcool. Certains auteurs, notamment M. Effront, ont attribué ces ralentissements à l'insuffisance de l'interversion du saccharose par la sucrase de la levure. Cette diastase serait en effet retardée dans son travail par les substances salines contenues dans la mélasse. D'autres auteurs, notamment M. Dejonghe estiment

que lorsque la fermentation languit, ce n'est pas parce que la sucrase est paralysée ou fait défaut, mais bien parce que la levure dégénère peu à peu dans un milieu pauvre en matières azotées assimilables. Ces divergences sont plus apparentes que réelles : il est très possible que, dans certaines conditions, la sécrétion de sucrase soit ralentie dans les milieux qui ne contiennent pas en quantité suffisante les aliments azotés convenables, mais il faut se garder de généraliser ces observations particulières. Dans les cuves dont la fermentation est anormale, on trouve tantôt du sucre inverti à côté du saccharose, tantôt le saccharose seul. Si l'arrêt de la fermentation était toujours dû à un manque d'inversion par la sucrase, on ne devrait pas trouver de sucre inverti. En réalité, beaucoup d'autres causes peuvent intervenir pour amener des ralentissements dans la chute de fermentation, et notamment une densité de chargement trop élevée, une température initiale trop faible, un coulage trop précipité, l'emploi d'un ferment contaminé avant ou pendant la préparation des moûts, etc. M. Sorel fait très justement remarquer que la cellule placée dans l'une de ces conditions défavorables languira, et celles qu'elle aura engendrées seront en dégénérescence. Les diastases sécrétées peuvent être alors en quantité insuffisante, et c'est en recherchant les causes de cette dégénérescence qu'on peut enrayer toute tendance à la fermentation anormale.

Moûts de mélasses de cannes.

Les méthodes de fermentation des moûts de mélasses de cannes sont extrêmement variables sui-

vant les usines. Dans les distilleries modernes, le travail se fait aujourd'hui scientifiquement, mais dans beaucoup de rhummeries industrielles des Antilles, on emploie encore des procédés tout à fait rudimentaires. Par exemple, on n'ensemence pas le moût de mélasse, on laisse la fermentation s'établir spontanément sous l'action des levures que contient toujours la mélasse, et qui restent sur les parois intérieures des cuves. La durée de la fermentation est naturellement variable; tantôt elle dure quatre à cinq jours, tantôt douze jours et plus. Quand la marche est normale, le moût tombe de 1068-1070 à 1030-1035. La température varie de 33 à 45 degrés. Ce mode de travail rudimentaire entraîne forcément des pertes importantes; les bactéries pullulent dans les cuves, et la fermentation est livrée aux levures, d'activité très variable, que le hasard y amène. D'après M. Pairault, les pertes atteignent ainsi 25 à 30 p. 100. L'emploi des méthodes de travail plus raisonnées et scientifiques permet de rendre le travail beaucoup plus régulier et d'augmenter notablement les rendements: ce sont ces méthodes que nous allons indiquer maintenant.

Mise en fermentation et préparation des levains. — Le moût, convenablement préparé par les méthodes précédemment décrites, doit êtreensemencé avec des levains de levure pure préparés dans les appareils spéciaux. Ces levains doivent être abondants, car en plaçant dans le liquide une grande quantité de cellules de levures bien vigoureuses, on permet à ces cellules de lutter victorieusement contre les bactéries et de s'emparer du terrain.

On peut employer pour la production des levains les appareils de propagation de Fernbach, repré-

sentés par la figure 51. Ces appareils se composent, dans leur disposition la plus simple, de deux cuves closes et stérilisables, en cuivre étamé intérieurement, dans lesquelles on introduit du moût qu'on y stérilise par ébullition au moyen d'un courant de

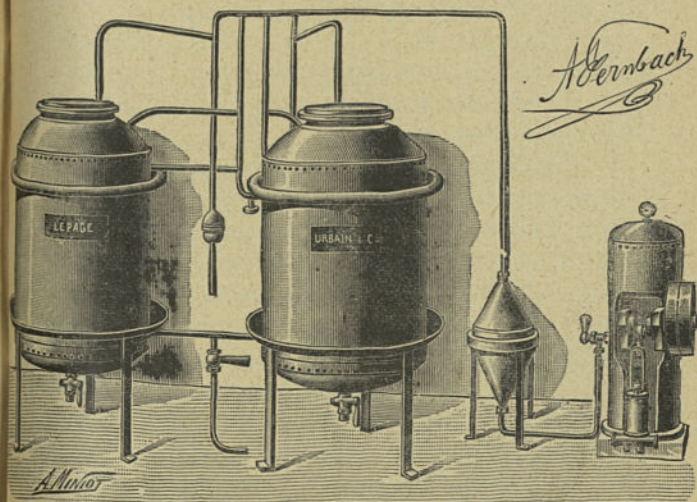


Fig. 51. — Appareil à production continue de levains, de F. Bernbach (Lepage, Urbain et C^{ie}, constructeurs à Paris).

vapeur. Le moût est ensuite refroidi vers 30 degrés, et on évite sa contamination en y faisant barboter un courant d'air stérilisé, pur, envoyé par une pompe au travers d'un filtre spécial à coton. Dans l'une de ces cuves, par une manœuvre très simple, on introduit la semence de levure pure par une tubulure spéciale d'ensemencement. Au bout de vingt-quatre à quarante-huit heures, on a un levain pur prêt à être employé. On évacue la majeure partie de ce levain dans une cuve de fermentation, puis on fait arriver,

sur la petite portion de levain pur restée dans l'appareil, du moût stérile venant de l'autre appareil en exerçant dans celui-ci une pression d'air pur. Au bout de huit à neuf heures on peut soutirer un levain pur, et on continue ainsi le travail tant que le levain reste pur, ce qu'on vérifie au microscope.

Les appareils de M. Barbet pour la production continue des levains par aérobiose donnent également d'excellents résultats dans les distilleries de mélasses de cannes.

M. Pairault a préconisé un système beaucoup plus simple, mais inférieur aux précédents, qui consiste à préparer une cuve mère avec un fort pied de cuve de levure pure, alimentée par du moût stérilisé, et à faire produire à cette cuve toute une série de pieds de cuve tant que la levure se conserve suffisamment pure.

La levure employée pour l'ensemencement des appareils doit être convenablement choisie. Cette levure doit conserver son activité aux températures élevées des climats chauds, en poussant la fermentation jusqu'à son terme sans ralentissement sensible. Elle doit pouvoir faire fermenter les moûts à haute densité, 1085 par exemple. On peut se procurer aujourd'hui, dans les laboratoires, des levures spéciales de rhum qui remplissent toutes ces conditions.

Pratique de la fermentation. — Chaque cuve doit être mise en levain avec environ $1/20$ de sa capacité de levain pur. Sur ce levain ainsi envoyé dans la cuve, on coule lentement le moût de mélasses, comme dans le travail de la mélasse de betteraves. Quand la fermentation est terminée, le jus a encore une densité de 1030 à 1035, si on a employé de la vinasse pour la préparation du moût, à cause de la

densité élevée de cette vinasse. La durée moyenne des fermentations est de quarante-huit heures, chargement compris.

La cuverie, qui est souvent défectueuse dans les rummeries, doit être établie d'après les principes que nous avons exposés plus haut. Le sol de l'atelier doit être cimenté, et l'écoulement des liquides de lavage doit se faire facilement au dehors. Les cuves doivent être placées sur des piliers en maçonnerie : pour la production des rhums, on peut leur donner sans inconvénients une capacité de 100 à 120 hectolitres. Si on dispose d'eau relativement fraîche, l'installation d'un serpentín réfrigérant mobile à la surface des cuves est très recommandable.

Les accidents de fermentation qui se produisent en distillerie de mélasses de cannes sont dus le plus souvent à la contamination des mouts par les microbes nuisibles. On réduit au minimum les dangers d'infection en employant les méthodes scientifiques et raisonnées que nous avons indiquées plus haut.

VI. — FERMENTATION DES MOUTS DE MATIÈRES AMYLACÉES

Le travail de la fermentation n'est pas le même avec les mouts provenant de matières amylacées qu'avec les mouts fabriqués avec les matières sucrées ; en outre, les caractères extérieurs de la fermentation sont assez différents. La fermentation des mouts de matières amylacées se divise en trois périodes : la fermentation préliminaire, la fermentation tumultueuse, et la fermentation complémen-

taire. Avec les matières sucrées, la fermentation est régulière d'un bout à l'autre et cesse presque brusquement quand le sucre a disparu.

Mise en fermentation et préparation des levains.

La préparation des levains pour les moûts de matières amylacées peut se faire par plusieurs méthodes. On utilise le plus souvent la levure artificielle préparée en multipliant sous forme de levain une levure cultivée pure. Quelques usines emploient cependant la levure de bière ou la levure pressée, mais la régularité du travail laisse souvent à désirer et le rendement en alcool est plus faible qu'avec les levains.

Le problème de la préparation des levains en distillerie de matières amylacées est assez complexe. La stérilisation du moût de levain est impossible, car elle entraînerait la destruction de la diastase qui doit saccharifier les dextrines, et la coagulation d'une certaine quantité de matières azotées utiles pour la bonne prolifération de la levure. On ne peut donc pas chauffer le moût à une température suffisante pour le stériliser, et, d'autre part, la température de saccharification n'est pas assez élevée pour détruire les ferments étrangers contenus dans le liquide. Pour arriver cependant à un résultat satisfaisant, on procède à une acidification du moût de levain. Cette acidification a pour but d'abord de rendre le milieu plus favorable à la levure, cet organisme préférant les milieux acides aux milieux neutres, ensuite de gêner le développement des microbes étrangers qui redou-

tent l'acidité. En outre, certains acides exercent sur la cellule de levure une action excitante qui détermine une augmentation soit dans la multiplication, soit dans la production de zymase. Enfin, les acides favorisent plus ou moins la dégradation des matières azotées complexes, qui se transforment en substances plus assimilables pour la levure. Tous les acides n'agissent pas de la même manière : l'action de certains acides se manifeste surtout sur la cellule de levure ou par des propriétés antiseptiques vis-à-vis des microbes nuisibles ; tel est le cas de l'acide fluorhydrique. D'autres acides, comme l'acide lactique, semblent agir surtout en favorisant la dégradation des matières azotées nécessaires à la nutrition de la levure.

L'acidification du moût de levain peut être obtenue soit par voie bactérienne au moyen du ferment lactique, soit par voie chimique. On peut, en outre, employer les antiseptiques et les levures acclimatées pour la production des levains à l'abri du développement des microbes nuisibles. Nous examinerons successivement ces divers cas.

Préparation des levains par acidification bactérienne. — Cette méthode, souvent appelée méthode allemande, consiste à produire l'acidification nécessaire en faisant subir au levain un commencement de fermentation lactique. L'opération s'effectue alors de la façon suivante.

Préparation du moût de levain. — La première condition à remplir pour obtenir un levain qui donne de bons résultats après ensemencement dans le moût principal consiste à placer la levure, pour la multiplier, dans des conditions de milieu analogues à celles qu'elle doit rencontrer dans le

moût principal. En outre, le moût de levain doit être riche en matières nutritives pour la levure, de manière à assurer sa multiplication active. Pour atteindre ce double but, on emploie ordinairement, pour la préparation du moût de levain, dans les distilleries de pommes de terre, du moût saccharifié mélangé à une certaine proportion de malt; certaines usines emploient cependant le moût saccharifié seul. Dans les distilleries de grains et dans les fabriques de levure pressée, on emploie le plus souvent un mélange de 50 p. 100 de malt avec 50 p. 100 de seigle.

La concentration du moût doit être élevée : on sait, en effet, que l'alcool est un antiseptique puissant contre les bactéries; la levure se conserve donc beaucoup plus pure dans un milieu assez riche en sucre pour pouvoir donner, après fermentation, un liquide riche en alcool. Une concentration de 22 à 24 degrés Balling, qui conduit normalement à un levain contenant 10 à 11 p. 100 d'alcool, paraît être la plus favorable. Cette forte concentration a, en outre, l'avantage d'éliminer du levain les races de levures étrangères qui ne peuvent pas supporter les hautes richesses alcooliques, et de permettre une élévation plus considérable de la température de saccharification sans nuire à la diastase.

Dans les petites distilleries, la macération s'effectue dans des cuiviers en chêne, à parois très épaisses, et placés sur des wagonnets. Ces cuiviers doivent être maintenus très propres au moyen de lavages à l'eau chaude additionnée d'antiseptiques, et de traitements à la vapeur prolongés au moins pendant dix minutes. On place dans le vase quelques litres d'eau à 90 degrés, on ajoute peu à peu le malt

vert parfaitement broyé, en agitant énergiquement à la main. Quand toute la masse est à l'état de lait, on achève de remplir le cuvier avec du moût frais saccharifié.

La température adoptée pour la saccharification du moût de levain est ordinairement de 65 degrés. Cette température peut être maintenue aisément à l'aide d'un mouvron à vapeur constitué par un tuyau de cuivre portant à son extrémité un cadre percé de trous. Le tuyau porte à la partie supérieure une bague de caoutchouc qu'on relie à la canalisation de vapeur; un manchon de bois permet de saisir l'appareil pendant le passage de la vapeur et de le maintenir dans le moût. Si les matières premières employées sont de bonne qualité, la température de 65 degrés est suffisante, et il est inutile de l'élever davantage; mais quand le malt ou les pommes de terre laissent à désirer, il est préférable de porter la température à 75 degrés pendant quinze minutes, à l'aide du mouvron à vapeur, à la fin de la saccharification. On obtient ainsi une bien meilleure stérilisation; mais dans ce cas, l'acidification lactique ultérieure peut laisser à désirer, car on détruit, avec les bactéries nuisibles, les ferments lactiques indispensables, et il est nécessaire d'amorcer ensuite fortement ces levains par une culture de ferment lactique pur ou par une addition d'un levain lactique antérieur.

La préparation du moût de levain peut se faire également dans des appareils spéciaux qui constituent de petits macérateurs, munis d'un agitateur et d'une double enveloppe qui peut recevoir de l'eau ou de la vapeur. Ces appareils permettent donc à la fois le chauffage et le refroidissement du levain et on

peut y effectuer la saccharification, l'acidification, le refroidissement et l'ensemencement de la levure, c'est-à-dire tout le travail de préparation des levains jusqu'à la fermentation alcoolique. D'après Heintzelmann, l'emploi de ces macérateurs est avantageux quand on les utilise ainsi pour tout le travail, mais il est peu recommandable pour la seule préparation du moût, à cause des canalisations qu'entraîne cette installation.

Acidification bactérienne. — Le moût ainsi préparé doit alors subir l'acidification par le ferment lactique. Cette opération est la plus importante de toute la fabrication des levains : elle est aussi la plus difficile, et les plaintes des distillateurs au sujet de la difficulté qu'on éprouve à obtenir l'acide pur en quantité voulue sont aussi anciennes que la méthode elle-même. Il est certain que les conditions locales défectueuses de quelques distilleries rendent le travail particulièrement difficile ; mais il n'en est pas moins vrai que, dans la plupart des cas, les insuccès proviennent de ce qu'on ne suit pas avec assez de soin les règles indispensables d'une bonne acidification.

Le but à atteindre est le suivant : produire une acidification lactique aussi pure que possible, et assez abondante pour exercer une influence favorable sur le développement de la levure. Il faut donc donner au ferment lactique les meilleures conditions pratiques de développement. La température la plus favorable pour l'acidification bactérienne dans la pratique, est comprise entre 50 et 58 degrés. On doit, par suite, maintenir la température entre ces limites. Plus la température s'élève au-dessus de 55-58 degrés, moins il se forme d'acide ; plus elle s'abaisse au-des-

sous de 50 degrés, plus l'acide produit est impur, par suite du développement d'autres bactéries. Entre 38 et 45 degrés notamment, les ferments butyriques peuvent s'emparer rapidement du terrain. Donc, dans la pratique, pour obtenir une fermentation lactique pure et vigoureuse, il faudra choisir une température élevée, environ 56 degrés et éviter l'abaissement de la température au-dessous de 50 degrés.

Cette acidification doit se faire dans une salle à levains chauffée. Le moût est placé dans des cuiviers en chêne et abandonné à l'acidification lactique à la température voulue. Les ferments lactiques, apportés par une fraction d'un bon levain lactique antérieur, se multiplient rapidement. Cette fraction destinée à l'ensemencement doit être prélevée à la fin de l'acidification, avant le chauffage à 75 degrés.

En général, la marche de l'acidification est conduite de telle sorte que le levain mûr possède, en distillerie de pommes de terre ou de grains, une acidité correspondant à 2 centimètres cubes de soude normale pour 20 centimètres cubes de moût, c'est-à-dire 2 degrés ou 4 gr. 9 d'acide sulfurique par litre. L'acidité oscille le plus souvent entre 1°5 et 2°5, soit 3 gr. 5 à 6 grammes par litre, évalués en acide sulfurique. Certains distillateurs travaillent cependant parfois avec une acidité de 1 degré, d'autres avec une acidité de 3 degrés. Ces différences tiennent surtout à l'activité du ferment lactique cultivé. La race de ferment lactique présente donc une grande importance : cette race doit être active, se développer aux hautes températures et donner dans le temps voulu une acidité de 1°5 à 2°5. Ces conditions ne sont pas toujours remplies quand on travaille sans

introduction de cultures pures. Il arrive souvent qu'au début de la campagne, l'acidification laisse à désirer, faute d'un ferment approprié. Le badigeonnage des cuves au lait aigri, employé autrefois, n'est pas rationnel, car nous avons vu que les ferments lactiques du lait ne peuvent pas, en général, supporter les hautes températures de 50 à 56 degrés.

L'introduction de cultures pures de ferments lactiques a permis d'éviter ces inconvénients et a rendu l'acidification plus régulière et plus sûre. On emploie aujourd'hui beaucoup les ferments précédemment décrits sous le nom de *Bacillus Delbrücki* ou *Bacillus acidificans longissimus* de Lafar, expédiés à l'état pur par les laboratoires. Cette application pratique des ferments purs est due aux études de Lafar et de Behrend. Une seule culture suffit pour ensemencher un premier levain, et la propagation de l'espèce se fait ensuite dans la pratique en prélevant 1 ou 2 litres de levain après acidification et avant chauffage pour transmettre la fermentation lactique à un levain suivant.

Chauffage du levain. — Quand le ferment lactique a rempli son rôle, il n'est plus d'aucune utilité et même ne peut qu'être nuisible dans le cours du travail ultérieur. Aussi Delbrück a-t-il préconisé le chauffage du levain à 75 degrés après acidification, pendant environ une demi-heure, pour détruire les ferments lactiques. Cette pratique est aujourd'hui adoptée avec avantage dans beaucoup de distilleries.

Refroidissement du moût acidifié. — Le moût ainsi porté à 75 degrés doit alors être refroidi à la température convenable pour l'ensemencement de la levure. On doit réduire au minimum la durée de ce

refroidissement, car le moût est exposé à l'infection dès que la température descend au-dessous de 50 degrés.

La réfrigération s'opère au moyen de serpentins plongés dans les cuves à levains et parcourus par un courant d'eau froide. Dans les anciennes installations, ces serpentins étaient fixes et on agitait le liquide pendant le refroidissement au moyen d'une palette en bois. On emploie aujourd'hui des réfrigérants mobiles qui jouent en même temps le rôle d'agitateurs et qui permettent d'obtenir un refroidissement rapide avec brassage de la masse pâteuse.

Les dispositifs employés dans ce but sont extrêmement nombreux. Dans certains appareils, le serpentin est mù par une transmission de l'usine.

D'autres serpentins sont mis en mouvement par l'eau de réfrigération, et n'exigent par suite aucune installation spéciale pour la transmission de la force motrice. Parmi ces appareils, on peut citer ceux de Bohm et de Geyer.

Dans le système Bohm, deux caisses accolées par le fond et mobiles autour d'un axe sont maintenues horizontales par un ressort. L'eau arrive dans une des caisses; quand cette caisse est remplie, l'appareil bascule brusquement et communique le mouvement au serpentin; la seconde caisse vient se placer devant l'arrivée de l'eau pour se remplir à son tour, et ainsi de suite. Dans le système Geyer, l'appareil est disposé de manière à refroidir à la fois deux levains. Les deux serpentins sont suspendus aux extrémités d'un fléau de balance. Chaque extrémité de ce fléau porte un vase; et les deux vases se remplissent et se vident alternativement de manière à entraîner le fléau, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre.

Dans l'appareil de Gomolka, le serpentín est fixe, et l'eau qui s'en écoule actionne une roue qui met en mouvement l'agitateur. Dans le système Piltz, l'agitation est obtenue par une vis d'Archimède verticale, mue à la main ou à la machine. Cette vis tourne dans un cylindre refroidisseur, y fait monter le moût vers la partie supérieure de la cuve; le liquide retourne alors vers le fond à l'extérieur du cylindre en passant sur un serpentín réfrigérant.

La température à laquelle on refroidit le moût est variable, suivant qu'on travaille en moût dilué ou en moût concentré. Les moûts dilués doivent être refroidis à une température plus basse que les moûts concentrés. Cette température est en moyenne de 12 à 14 degrés pour les levains en moûts dilués, et de 14 à 16 degrés pour les levains en moûts concentrés.

Ensemencement de la levure. — L'ensemencement de la levure doit succéder immédiatement au refroidissement et il faut éviter soigneusement d'abandonner pendant un temps plus ou moins long le levain lactique refroidi, sans ajouter la levure. En effet, quand le levain est abandonné à lui-même, les microbes étrangers s'y développent et les dangers d'infection sont considérables.

La levure employée pour l'ensemencement est ordinairement constituée par une portion d'un levain précédent, à laquelle on donne le nom de levure mère. Au début de la campagne, on peut employer la levure pressée ou la levure de bière, mais il est bien préférable d'avoir recours à une levure cultivée pure préparée dans un appareil à l'usine ou expédiée par un laboratoire. Beaucoup de distilleries emploient aujourd'hui la levure pure avec le plus grand avan-

tage au point de vue de la régularité de la fermentation et du rendement en alcool.

Comme la multiplication de la levure se fait très rapidement à 28-30 degrés, il est bon d'ajouter la levure au liquide dès que la température est descendue à 30 degrés pendant le refroidissement, et on continue la réfrigération sans arrêt jusqu'à ce qu'on ait atteint la température finale choisie. La fermentation se déclare activement, la température s'élève à 27-28 degrés, et si elle a une tendance à monter au delà de ces limites, il est nécessaire de refroidir la masse.

Maturité du levain et prélèvement de la levure mère. — La question de l'appréciation de l'état de maturité du levain est très importante. Jusqu'à quel point doit-on laisser la fermentation se poursuivre pour que le levain possède l'activité la plus grande? On a l'habitude de laisser tomber le moût à 4 degrés ou 5 degrés Balling. Mais l'examen du degré Balling ne suffit pas et il est préférable de se rendre compte, en outre, de la marche de la fermentation en déterminant la quantité de sucre disparu. En général, on doit donner à la levure le temps qui lui est nécessaire pour qu'elle produise un titre alcoolique assez élevé pour la garantir contre les microbes nuisibles. Le degré alcoolique doit être au moins de 8 p. 100, ce qui demande environ vingt à vingt-quatre heures. C'est pourquoi on estime qu'il est moins dangereux d'employer un levain un peu trop vieux qu'un levain trop jeune. Un levain insuffisamment mûr manque d'activité dans sa multiplication ultérieure en cuve et résiste mal aux ferments étrangers. Il importe cependant de ne pas attendre le moment où toutes les matières fer-

mentescibles ont disparu pour utiliser le levain et prélever la levure mère, car l'activité de la levure laisse également à désirer.

Quand le levain est mûr et avant la fin de la fermentation, on prélève donc une partie du levain qui sert de levure mère pour l'opération suivante. La méthode la plus rationnelle consiste à régler le travail de manière à prélever la levure mère au moment de l'utiliser pour l'ensemencement d'un nouveau levain qui vient d'être refroidi au point voulu. Ce procédé évite les dangers d'infection de la levure pendant l'attente. Quand l'ensemencement du nouveau levain ne coïncide pas avec la maturité du précédent, on doit conserver la levure dans un seau spécial, fermé et maintenu soigneusement propre. La conservation doit avoir lieu à 10 ou 12 degrés de manière à éviter toute altération de la levure et toute destruction de zymase. Il suffit pour cela de plonger le seau dans un bain à circulation d'eau froide.

Préparation des levains par acidification chimique. — La méthode de préparation des levains par acidification bactérienne a de gros inconvénients. Elle entraîne d'abord une perte de rendement, car le sucre transformé en acide lactique est perdu pour la fermentation alcoolique. Elle constitue en outre une arme à deux tranchants en utilisant deux organismes, le ferment lactique et la levure, très différents dans leurs conditions d'existence; aussi cette préparation est-elle extrêmement délicate : elle est la source de continuelles difficultés, et la plupart des mécomptes qu'on éprouve en fabrication proviennent de la préparation des levains. Elle occasionne enfin des dépenses de chauffage, de

temps, de main-d'œuvre assez considérables. Aussi a-t-on cherché à substituer à l'acidification bactérienne l'acidification chimique. Les essais entrepris dans cette voie ont été très nombreux; les premiers résultats obtenus ont été douteux, car nos connaissances sur l'action des acides vis-à-vis des levures et des bactéries n'étaient pas très précises à cette époque. L'application de l'acidification artificielle n'est devenue rationnelle que quand l'empirisme a pu céder le pas aux méthodes scientifiques raisonnées. Les travaux d'Effront sur l'acide fluorhydrique ont ouvert la voie; puis Rothenbach a acclimaté les levures à l'acide chlorhydrique et a utilisé cet acide pour l'acidification artificielle. On a ensuite fait l'essai d'autres acides, notamment de l'acide sulfurique, etc. Les résultats très favorables qui ont été obtenus par ces procédés ont montré que le degré d'acidité nécessaire aux levains peut être aussi bien produit artificiellement par addition d'acides minéraux ou organiques, que par fermentation par voie bactérienne. L'acidification chimique, bien exécutée, conduit même beaucoup plus sûrement et plus économiquement au but désiré.

Les principaux acides employés dans ce but sont l'acide fluorhydrique, l'acide lactique et l'acide sulfurique.

Travail à l'acide fluorhydrique. — Cette méthode, due à Effront, permet d'utiliser à la fois les propriétés antiseptiques de l'acide fluorhydrique vis-à-vis des bactéries, et son action favorable sur la levure et sur la diastase. On place dans un cuvier à levain 150 litres de moût principal saccharifié, on le refroidit à 28 degrés, puis on ajoute la dose d'acide fluorhydrique convenable. Cette dose varie suivant les

conditions de travail, et suivant l'acidité à laquelle la levure est acclimatée. Elle est en moyenne de 10 grammes par hectolitre de levain, mais peut s'élever notablement au-dessus. Quand la température est descendue à 24-25 degrés, on ajoute la levure mère acclimatée à l'acide fluorhydrique. La dose de levure à ajouter est d'un litre pour 4 litres de levain. La fermentation part rapidement, et on réduit l'élévation de température de manière à ne pas dépasser 30 degrés. Vingt à vingt-quatre heures après, le levain est mûr; le saccharomètre marque environ 5 degrés Balling et l'acidité est environ de 1 gr. 2 à 1 gr. 5 évaluée en acide sulfurique. On prélève la levure mère, et le reste du levain est utilisé pour une cuve de 30 hectolitres.

Cette méthode très simple permet de produire rapidement des levains dont la pureté ne laisse pas à désirer, et de réduire sensiblement la dépense en malt, car il est inutile d'ajouter du malt pour la préparation du moût de levain.

Travail à l'acide lactique industriel. — Les premiers essais dans cette voie ont été faits par Wehmer en Allemagne dans des fabriques de levure pressée. On ajoutait au moût, après saccharification, 1 à 2 p. 100 d'acide lactique; le liquide était alors immédiatement refroidi etensemencé avec la levure. Wehmer a ainsi obtenu un rendement en alcool et en levure plus grand qu'avec l'acidification bactérienne.

En distillerie de pommes de terre, des essais ont été faits par Lange et par Moritz. L'acide lactique était ajouté à 75 degrés, à la fin de la saccharification du moût de levain, puis on refroidissait à 15 degrés et onensemencait la levure. Lange a ainsi constaté que

l'échauffement qui se produit pendant la fermentation des levains acidifiés artificiellement est de 3 à 4 degrés plus faible que celui qu'on observe avec les levains acidifiés par voie bactérienne. Il faut donc choisir pour les levains à l'acide lactique industriel une température de mise en levain plus élevée de 3 à 4 degrés. Dans ces conditions, les levains sont mûrs au bout de vingt à vingt-quatre heures et ils donnent dans la pratique une bonne fermentation et un rendement en alcool au moins égal à celui que donnent les levains obtenus par acidification bactérienne. La dose d'acide lactique la plus convenable, pour les moûts à 22-24 degrés Balling, paraît être de 750 centimètres cubes d'acide par hectolitre de levain.

Delbrück a préconisé d'associer à l'acide lactique l'acide butyrique en petite quantité. Nous avons vu plus haut que cet acide, ajouté à une dose qui ne dépasse pas 0,18 p. 100, favorise l'activité de la levure et gêne les bactéries.

Travail à l'acide sulfurique. — Cette méthode brevetée par Bücheler, est appliquée en Allemagne aux distilleries de pommes de terre. Elle consiste à additionner le moût d'une quantité d'acide sulfurique juste suffisante pour mettre en liberté les acides organiques qu'il contient, sans qu'il y ait d'acide sulfurique restant libre. Bücheler utilise le violet de méthyle comme indicateur de la réaction du milieu. Ce sont les acides organiques mis en liberté qui remplacent l'acide lactique, et on évite ainsi, par ce procédé très simple, l'acidification bactérienne et tous ses inconvénients, et l'emploi de levures spéciales acclimatées. L'addition de l'acide se fait en quantité voulue après la saccharification ; on refroi-

dit alors le moût, on l'ensemence avec la levure mère à 28-30 degrés, et on continue le refroidissement jusqu'à la température finale choisie. Le levain est mûr au bout de vingt heures.

Les essais industriels effectués avec cette méthode ont donné de très bons résultats.

Le procédé Bauer et Kues consiste à employer l'acide lactique ou sulfurique pour l'acidification et à remplacer le malt par l'extrait de levure pour fournir au ferment alcoolique des matières azotées facilement assimilables. L'extrait de levure est obtenu par autodigestion des cellules. On utilise pour la préparation du levain le moût principal saccharifié. L'acidification se fait soit par voie bactérienne, soit par voie chimique; quand elle a lieu par voie bactérienne, elle est suivie d'une stérilisation partielle à 75-85 degrés; quand elle a lieu par voie chimique, on porte le moût à 75-85 degrés après saccharification. Pendant le refroidissement, on ajoute l'extrait de levure à raison de 400 à 500 grammes par hectolitre de levain et on met en levure à 28 degrés. Cette méthode de travail donne également de bons résultats et permet une notable économie de malt.

Il résulte de ce qui précède que les méthodes d'acidification chimique sont aujourd'hui au point et peuvent avantageusement remplacer la méthode d'acidification bactérienne. Elles rendent le travail plus simple et plus sûr, car l'acidité est toujours régulière et au degré voulu, ce qu'on obtient parfois difficilement avec le ferment lactique. Elles entraînent une forte économie de main-d'œuvre, de temps et de combustible pour le chauffage. Ces avantages doivent être mis en balance avec les frais qui viennent grever ces méthodes, notamment l'achat de l'acide

lactique ou sulfurique, et le paiement des licences de ces procédés brevetés. Il est certain que ces frais seuls empêchent actuellement le développement et l'extension rapide des méthodes par acidification chimique, et le choix de la méthode est évidemment subordonné à l'étude économique de la question dans chaque cas particulier.

Emploi des antiseptiques dans la préparation des levains. — Nous avons étudié précédemment l'emploi de l'acide fluorhydrique. On a préconisé, en dehors des acides, l'emploi d'autres substances antiseptiques dans la préparation des levains, et les bons résultats qu'on a parfois obtenus avec ces substances ont montré que le bon développement de la levure dépend moins de la présence d'acide libre que de celle de produits susceptibles de jouer le rôle d'antiseptiques vis-à-vis des microbes nuisibles et d'exercer une action favorable sur l'état physiologique de la cellule de levure.

Les antiseptiques qui ont été surtout étudiés sous ce rapport sont l'aldéhyde formique et l'acide formique. Ces substances sont ajoutées pendant le refroidissement, à 32-35 degrés, dans le levain lactique préparé par la méthode ordinaire, à la dose de 0 cmc. 2 d'aldéhyde formique et de 0 cmc. 1 d'acide formique par litre de levain. Ces doses s'élèvent peu à peu, dans les passages successifs, respectivement à 0 cmc. 5 et 0 cmc. 3 par litre, et on peut même ajouter 0 cmc. 1 à 0 cmc. 2 d'antiseptique en plus. Ces additions sont particulièrement avantageuses dans les cas où on emploie la levure pure et où la levure mère a une tendance à s'acidifier fortement jusqu'au moment où le levain est mûr. Quand on emploie ces antiseptiques, il est recommandable

d'élever de 1 à 2 degrés la température de mise en levain, et on observe les avantages suivants : les bactéries sont gênées, plus que dans le travail avec l'acide lactique pur, la pureté des fermentations est très grande, l'activité de la levure est augmentée, de sorte qu'elle se prête particulièrement bien à la fermentation des moûts épais. Même dans le cas où les rendements ne sont pas accrus, le travail est régularisé. Dans les fabriques de levure, on ne peut employer ces antiseptiques à cause de leur action nuisible sur la multiplication de la levure et il faut s'en tenir aux levains lactiques.

Le formol seul a été préconisé pour remplacer l'acide fluorhydrique comme antiseptique dans la préparation des levains, mais les travaux de Cluss ont montré que l'aldéhyde formique est moins avantageux que l'acide fluorhydrique dans la pratique.

Pratique de la fermentation des moûts de matières amylacées.

L'ensemencement du moût de matières amylacées par le levain peut se faire soit dans la cuve de fermentation, soit, ce qui est préférable, dans le macérateur où on a préparé le moût principal. Dans ce dernier cas, on refroidit le moût à l'aide du réfrigérant du macérateur, on ajoute le levain quand la température est descendue à 30 degrés et on continue le refroidissement jusqu'à la température favorable pour la fermentation préliminaire, soit 18 à 21 degrés. On envoie ensuite la masse à la cuve de fermentation.

La fermentation des moûts de matières amylacées peut être divisée en trois périodes : la période préli-

minaire, la période tumultueuse et la période complémentaire.

La période préliminaire correspond au départ de la fermentation et à la multiplication de la levure. Elle est d'autant plus longue que le levain employé a été moins abondant. Pendant cette période, la levure absorbe énergiquement l'oxygène en dissolution dans le moût et se multiplie. Le dégagement d'acide carbonique est faible et la cuve est à peu près en repos. La température la plus favorable pour la multiplication de la levure est à 28 degrés. Pedersen a montré par exemple que 100 cellulesensemencées donnent en vingt-quatre heures 476 cellules à 16 degrés et 1759 à 28 degrés. Plus la température est voisine de 28 degrés au moment de la mise en levain, plus la fermentation préliminaire est courte. Dans la méthode de Bücheler à l'acide sulfurique, la mise en fermentation se fait à 26-28 degrés, de sorte que la fermentation tumultueuse apparaît après trois ou quatre heures. Mais quand on met en levain à une température élevée, les fermentations sont parfois trop intenses; aussi choisit-on souvent une température de 18 à 21 degrés. La température ne doit pas s'élever pendant cette période au delà de 30 degrés, car au-dessus de 30 degrés la multiplication de la levure est déjà beaucoup moins active. La réfrigération et l'agitation par serpentins mobiles est donc indispensable, surtout si la mise en levain a eu lieu à haute température.

A cette période préliminaire succède la fermentation tumultueuse. Le dégagement d'acide carbonique devient très abondant, le moût est sans cesse en mouvement, la densité baisse et la température s'élève. Pendant cette phase, le maltose est trans-

formé en alcool et en acide carbonique, et, au fur et à mesure qu'il disparaît, la diastase présente dans le liquide reprend son action et saccharifie une partie des dextrines. Mais comme le travail de la levure est beaucoup plus actif que celui de la diastase, il arrive un moment où, le maltose ayant beaucoup diminué, la fermentation se ralentit faute d'aliments. Pendant cette fermentation tumultueuse, il se produit un fort dégagement de chaleur. La cuve abandonnée à elle-même s'échaufferait à 32-34 degrés, et cette élévation de température aurait pour conséquence une perte d'alcool et une diminution de l'activité de la levure et de la diastase. Il est donc nécessaire de refroidir la cuve au moyen de serpentins parcourus par un courant d'eau froide, de manière à maintenir une température de 28 à 30 degrés, sans jamais la dépasser.

La troisième phase de la fermentation, celle de la fermentation complémentaire, correspond à la saccharification et à la fermentation des dextrines. L'activité de la levure étant très supérieure à celle de la diastase, le ferment alcoolique a pu transformer, pendant la fermentation principale, tout le maltose avant que la diastase ait achevé la saccharification des dextrines. La fermentation complémentaire est donc lente. En outre, elle dépend essentiellement de l'état de la levure et de la diastase à ce moment. La levure ne doit pas être affaiblie, et pour que cette condition soit remplie, il faut que la température de fermentation n'ait pas dépassé 30 degrés. La diastase elle-même doit être restée active : le travail de la saccharification a donc dû être fait avec tous les soins nécessaires pour ne pas affaiblir l'amylase, et l'acidité de la cuve ne doit pas être montée

à un degré trop élevé qui arrêterait l'action diastatique. Il semble que la température la plus favorable pour la fermentation complémentaire doit être assez élevée, puisque l'optimum de la diastase est environ à 48-50 degrés. Mais il faut tenir compte aussi du travail de la levure et du développement possible des ferments nuisibles, et les expériences de Delbrück ont montré qu'il est au contraire avantageux, au point de vue du rendement en alcool, de choisir une température relativement basse pour la fermentation complémentaire. Cette température ne doit pas dépasser 26 à 28 degrés.

Le travail en moûts très concentrés, utilisé en Allemagne, présente beaucoup d'avantages sur le travail en moûts dilués. On peut produire avec un même matériel une quantité d'alcool beaucoup plus grande, et le rendement en alcool par 100 kilogrammes d'amidon est plus élevé. Mais la fermentation des moûts très concentrés exige l'installation de serpentins réfrigérants dans les cuves. La mise en levain doit être faite à une température plus élevée qu'avec les moûts dilués; on choisit ordinairement 18 à 20 degrés. Comme l'élévation de température pendant la fermentation peut atteindre 20 degrés, il est indispensable de refroidir la masse pour ne pas dépasser 30 degrés, ou de mettre en levain à 8-10 degrés, ce qui est impossible dans la pratique. Pour le refroidissement, on a employé d'abord des serpentins fixes, mais comme l'expulsion de l'acide carbonique se fait difficilement dans ces moûts épais, on les a remplacés par des serpentins mobiles. Il existe un grand nombre de dispositifs, analogues à ceux que nous avons décrits pour le refroidissement des levains. On peut citer notam-

ment les appareils suivants, employés en Allemagne pour la réfrigération et l'agitation dans les cuves de fermentation principale. Le réfrigérant de Koser se compose de six tubes disposés à angle droit sur un cadre, et il est animé à la fois d'un mouvement de haut en bas et d'un mouvement pendulaire de long en large. Dans les systèmes de Hornung et de Hübel, c'est l'eau seule qui provoque le mouvement des serpentins. L'appareil de Günther se compose d'un serpentin fixe formé par deux spirales de diamètre différent et autour duquel tournent des tringles munies de plaques métalliques perforées. Les serpentins adoptés dans la méthode de Hesse sont disposés de manière à recevoir à volonté de l'eau froide ou de l'eau chaude. Les moûts sont mis en fermentation à 15 degrés, on maintient la fermentation préliminaire jusqu'au lendemain, et on provoque alors la fermentation principale en faisant passer de l'eau chaude dans les serpentins. On élève la température à 27 degrés, et dès que la fermentation est bien déclarée, on remplace l'eau chaude par l'eau froide pour empêcher l'échauffement. Cette méthode, employée en Allemagne, permet de remplir plus complètement les cuves, ce qui est un avantage dans les pays où l'impôt est basé sur la capacité des appareils.

Dans la fermentation des moûts épais, Delbruck recommande de rafraîchir le moût avec de l'eau après la fermentation principale. On dilue ainsi l'alcool et les produits de la levure, et on peut plus facilement abaisser la température au point voulu pour la fermentation complémentaire. En moût dilué, cette opération est inutile.

Fermentation mousseuse. — Parfois, pen-

dant la fermentation principale, il se forme dans la cuve des mousses très persistantes] qui montent de plus en plus et finissent par déborder hors de la cuve en occasionnant des pertes importantes; on donne à cet accident le nom de fermentation mousseuse. Elle est très redoutée en distillerie à cause des pertes qu'elle entraîne. La cause principale de cet aspect de la fermentation est un excès d'activité de certaines races de levure, et cet excès d'activité est en rapport avec la nature de l'alimentation de la cellule. Seules, les bonnes races de levures, très actives, peuvent donner naissance à la fermentation mousseuse, mais il existe, sous ce rapport, de grandes différences entre les diverses levures, et certaines races très actives, comme la race XII de l'Institut des fermentations de Berlin, ne produisent cependant pas une mousse exagérée. Une alimentation azotée très abondante, l'aération, l'agitation favorisent l'apparition de l'état physiologique sous lequel la levure provoque la fermentation mousseuse.

La nature des matières premières mises en œuvre a également une influence. On observe surtout la fermentation mousseuse avec les pommes de terre pauvres en amidon et récoltées avant maturité. Elle peut être aussi produite par une cuisson imparfaite.

Les remèdes à employer contre cette forme de la fermentation sont les suivants, d'après les travaux de Hesse et de Hecke : 1° utiliser des levains concentrés, à 22-24 degrés Balling, avec forte acidification (2 degrés à 2°,5 en soude normale); 2° faire fermenter très énergiquement le levain jusqu'à 4 à 6 degrés Balling, la température finale étant de 30 degrés; 3° réduire la quantité de levure mère employée pour l'ensemencement; 4° supprimer le

renforcement de la levure avec du moût saccharifié; 5° utiliser du malt long; 6° employer seulement 25 kilogrammes de malt long par 1000 litres de capacité, dont la moitié ou les deux tiers au moment de la saccharification à 60 degrés, et l'autre moitié ou le tiers dans le moût refroidi à 20-25 degrés, après addition de la levure; 7° ne pas abandonner la masse à la saccharification, faire marcher l'agitateur pendant dix minutes environ et refroidir aussitôt après. On emploie aussi, pour abattre les mousses, l'huile ou le suif fondu. On doit employer ces substances en quantité aussi faible que possible, car elles ont le défaut de salir les colonnes à distiller et de donner mauvais goût à l'alcool.

SACCHARIFICATION ET FERMENTATION PAR LES MUCÉDINÉES

Nous avons vu précédemment que certaines mucédinées ont la propriété de produire à la fois la saccharification de l'amidon et de la dextrine et la fermentation alcoolique. L'application industrielle de ces mucédinées à la distillerie date environ d'une vingtaine d'années, grâce à l'impulsion scientifique donnée par M. Calmette, le promoteur des idées nouvelles qui devaient conduire ses collaborateurs, MM. Collette et Boidin, au résultat pratique définitif.

En étudiant en Indo-Chine les procédés de fabrication de l'alcool de riz, M. Calmette fut frappé de voir les indigènes fabriquer cet alcool sans se servir de malt ni d'acide pour la saccharification et pensa que la *levure chinoise*, dont se servent les distillateurs du pays, devait contenir une mucédinée

saccharifiante analogue à l'*Eurotium Orizæ* précédemment découverte par Atkinson. En procédant à l'analyse bactériologique de cette levure chinoise, qui se présente sous la forme de petits gâteaux aplatis, M. Calmette reconnut bientôt qu'à côté d'un certain nombre de levures, on rencontrait sans cesse une moisissure particulière qui se multipliait à l'aide d'un mycélium rameux en envahissant rapidement toute la surface des milieux de culture. M. Calmette a donné à cette espèce le nom d'*Amylomyces Rouxii* : elle a été classée ultérieurement par Wehmer dans le groupe des Mucors. Cette mucédinée, cultivée en surface, brûle le sucre qu'elle forme aux dépens de l'amidon. Mais si on la fait vivre en profondeur, elle saccharifie l'amidon avec énergie et transforme le sucre en alcool et en acide carbonique. On ne peut cependant pas priver complètement la plante d'oxygène, et pour obtenir l'effet utile, il faut cultiver l'*Amylomyces* dans une atmosphère confinée, et cette condition est réalisée inconsciemment en Extrême-Orient par les distillateurs indigènes qui placent pendant trois jours un couvercle sur les jarres, après avoir pris soin de ne remplir celles-ci qu'aux deux tiers avec le riz cuit mélangé de levure pilée.

Le travail de M. Calmette sur l'*Amylomyces* a été le point de départ des études industrielles pour l'application des mucédinées à la fabrication de l'alcool de grains. Ces études, effectuées à la distillerie de Seclin par MM. Collette et Boidin, ont conduit à l'établissement du procédé *Amylo*, permettant d'effectuer la saccharification de l'amidon par les mucédinées et la fermentation alcoolique en milieu stérile. Tel qu'il était appliqué au début, ce procédé

comprenait d'abord une cuisson des grains sous pression, suivie d'une liquéfaction de l'empois par 2 p. 100 de malt afin d'éviter une prise en masse par le refroidissement. Le liquide obtenu était stérilisé à 128 degrés sous pression de 1 kgr. 5 de vapeur, envoyé dans des cuves closes et stérilisables et ensemencé à l'état stérile par l'*Amylomyces* pour produire la saccharification de l'amidon et des dextrines, puis par une levure pure pour accélérer la fermentation alcoolique. Le procédé Amylo a subi aujourd'hui d'importantes modifications qui l'ont rendu beaucoup plus avantageux. Au lieu de l'*Amylomyces Rouxii*, on a employé d'abord une autre mucédinée saccharifiante, le mucor β qui est lui-même remplacé aujourd'hui par un autre mucor, le mucor Delemar. Ce mucor présente sur l'*Amylomyces* l'avantage de pouvoir saccharifier des moûts plus concentrés, de donner une acidité moindre, un rendement plus élevé et un travail plus rapide. En outre, si l'emploi d'une quantité de malt de 2 kilogrammes par 100 kilogrammes de grains constituait un progrès considérable sur les procédés antérieurs (qui exigent 5 à 7 fois plus de malt), il n'en fallait pas moins conserver dans chaque usine une petite malterie, et les distilleries des pays chauds devaient encore, à grands frais, importer d'Europe leur malt sec. MM. Collette et Boidin ont pu réaliser aujourd'hui pour le travail du maïs et du riz, la suppression totale du malt, et remplacer l'ancienne liquéfaction par une liquéfaction à l'acide. En outre, la stérilisation du moût à 128 degrés entraînait une consommation supplémentaire de 25 à 30 kilogrammes de charbon par hectolitre d'alcool. Cet inconvénient a disparu depuis que l'abaissement de la température à 65 degrés pour la

liquéfaction n'est plus nécessaire; la masse amylacée sort stérile du cuiseur, et on utilise les vapeurs qui s'échappent de la matière lors de la cuisson pour chauffer et stériliser l'eau employée pour la dilution du moût.

Le procédé Boulard, qui découle des mêmes principes que le procédé Amylo, comporte également une saccharification par une mucédinée spéciale suivie d'une fermentation alcoolique par la levure.

De nombreuses études ont été faites par MM. Bettinger et Delaval sur les propriétés du mucor Boulard. Ces auteurs ont montré notamment que ce mucor produit des acides en quantités d'autant plus grandes que l'air est plus abondant, que le milieu contient plus de sucre et que la plante est à une température moins élevée. L'acidité fixe est formée exclusivement d'acide succinique; il ne se produit jamais d'acide lactique ou d'acide oxalique dans les cultures de ce mucor. L'acidité volatile est surtout constituée par de l'acide acétique.

M. Bettinger a montré aussi que le phosphate de potasse accélère la pousse du mucor et la saccharification au début : il favorise le développement des tissus de la mucédinée, mais il est presque sans action sur ses fonctions comme ferment alcoolique. L'influence de l'acide phosphorique est en somme assez faible dans les phénomènes de saccharification par le mucor Boulard, et les sels de chaux, de potasse et d'ammoniaque jouent sous ce rapport un rôle au moins aussi important.

M. Delaval a constaté enfin que l'aspect extérieur du mucor varie beaucoup suivant les conditions d'aération et de concentration du moût. Avec un moût concentré, les filaments sont grêles; si la quan-

tité d'air introduite est faible, les filaments ne sont pas ramifiés; ils deviennent rameux et colorables en brun par l'iode si la quantité d'air est moyenne, et deviennent enfin courts, noueux et très ramifiés si l'aération est forte et dans ce dernier cas, on voit apparaître des chlamydozoïdes.

Procédé Amylo. — Cuisson du grain et liquéfaction. — La matière première employée en France est ordinairement le maïs. Le grain concassé est d'abord trempé à 50-60 degrés pendant une ou deux heures dans deux fois son poids d'eau acidulée. La quantité d'acide ajoutée n'a pas pour but de produire la saccharification de l'amidon, mais de liquéfier simplement la masse afin de pouvoir, après cuisson, diriger le moût dans les cuves de saccharification aseptiques sans craindre qu'il obstrue les tuyauteries ou qu'il ne se prenne en masse après refroidissement. Nous avons vu plus haut que pour obtenir ce résultat, il suffit de faire passer les phosphates polybasiques contenus dans le grain à l'état de phosphates monobasiques. La quantité d'acide à ajouter varie suivant la proportion de phosphates alcalins et de magnésie contenus dans le grain et suivant la durée de la cuisson et la pression choisie. Elle se détermine par un essai préliminaire. La dose de 150 à 200 grammes d'acide chlorhydrique, comptée à l'état gazeux, est généralement suffisante pour liquéfier 100 kilogrammes de grains à condition de maintenir ce grain pendant cinquante minutes à une heure sous pression et d'avoir au préalable fait tremper pendant une ou deux heures dans l'eau acidulée le grain concassé, de façon à déplacer les phosphates. Par ce mode opératoire, l'acide a disparu avant l'introduction du grain dans le cuiseur, de sorte

qu'on peut sans inconvénient employer les cuiseurs en fer. On agite pendant le trempage. On cuit alors sous pression à 4 kilogrammes pendant une demi-heure seulement, et on réduit par suite de plus de moitié la durée normale de la cuisson.

On détend alors la masse dans un cuiseur voisin sans agitateur, contenant l'eau nécessaire à la dilution du moût. Cette détente produit une meilleure désagrégation du maïs, dilue le moût dans les proportions voulues et permet de récupérer une partie de la vapeur employée à la première cuisson. Le passage d'un cuiseur à l'autre a lieu à l'aide d'un tuyau muni d'un diaphragme de sorte que les particules de maïs, qui n'ont pas été bien désagrégées lors de la première cuisson, éclatent sous l'influence de la diminution brusque de pression. On laisse le robinet d'échappement du second cuiseur ouvert jusqu'à ce que tout l'air soit chassé par la vapeur et la pression monte ensuite à 1,5-2 atmosphères. Après un séjour de 20 à 30 minutes dans le second cuiseur, le moût est chassé dans la cuve de fermentation.

MM. Boidin et Effront ont pu arriver à supprimer la plus grande partie du travail précédent en utilisant les diastases amylolytiques sécrétées par certaines bactéries, et notamment par une race de *Bacillus mesentericus* qu'on cultive sur un milieu alcalin largement aéré, ce qui augmente énormément son activité amylolytique. On peut obtenir ainsi une préparation de diastase bactérienne capable de liquéfier 1.000 fois son poids de grain et, en concentrant le liquide de culture dans le vide, on peut obtenir une activité encore plus grande.

L'emploi de cette diastase bactérienne a permis la liquéfaction du grain sans employer d'acide, ce qui

présente un très grand intérêt pour les distilleries des pays chauds. On trempe le grain dans une liqueur alcaline diluée, on le broie ensuite grossièrement et la masse, additionnée de deux fois son volume d'eau, est chauffée à 75-80 degrés. Puis on ajoute la diastase amylolytique, qui agit pendant une demi-heure à une heure; au bout de ce temps, tout l'amidon est liquéfié. On passe alors la masse au cuiseur comme dans la méthode précédente. Le moût obtenu par ce procédé est beaucoup moins riche en azote; le surplus, qui reste dans les drèches, augmente beaucoup leur valeur alimentaire.

Pour le manioc et la pomme de terre, il vaut mieux liquéfier avec 0,5 à 1 p. 100 de malt au lieu d'acide chlorhydrique. La pomme de terre est transformée en pulpe fine, on chauffe à 65 degrés, on ajoute le malt broyé avec de l'eau, on monte à 70-73 degrés, on y reste 15 minutes et on cuit ensuite à 3 atmosphères. Pour le manioc, on le réduit en poudre, on le mélange avec trois fois son poids d'eau, et on traite par le malt à 70 degrés comme pour la pomme de terre.

Le moût traité par l'acide reste fluide d'une façon permanente et renferme de l'amidon soluble, des dextrines et un peu de glucose (au maximum 1 p. 100). Il est alcalin à l'alizarine et à l'orangé, et son acidité exprimée en acide sulfurique n'est que 0 gr. 3 à 0 gr. 4 par litre, c'est-à-dire égale à l'acidité apparente des moûts de grains cuits sans acide et liquéfiés par le malt. Il n'y a donc pas lieu de saturer par la chaux la petite quantité d'acide ajoutée pour produire la liquéfaction. Le traitement par l'acide a en outre pour résultat de réduire la caramélisation au cuiseur. Quand on cuit le grain

avec de l'eau calcaire, le carbonate de chaux réagit sur les phosphates neutres du grain pour former du phosphate de chaux et du carbonate de potasse, et sous l'action de la température, il y a destruction des matières sucrées et production de caramel. Dans le travail à l'acide, le carbonate de chaux passe à l'état de chlorure de calcium qui réagit sur les phosphates alcalins pour donner du phosphate calcique et du chlorure de potassium. L'alcalinité est donc moindre et la coloration des moûts diminue.

Saccharification et fermentation. — La saccharification et la fermentation s'opèrent dans de grandes cuves en tôle de 1.000 à 1.500 hectolitres hermétiquement closes et stérilisables par la vapeur. A la partie supérieure de chaque cuve se trouve une ouverture de chargement par laquelle arrivent l'eau bouillante et la matière amylicée; à la partie inférieure se trouve le robinet d'évacuation du moût fermenté. Un tuyau débouche dans le fond de la cuve et permet l'injection de vapeur dans le moût pour le maintenir en ébullition pendant toute la durée du chargement. Par une manœuvre très simple, on peut remplacer la vapeur par de l'air comprimé qui se débarrasse de tout germe en traversant un filtre à coton flambé au préalable à 165 degrés. La cuve porte en outre un puissant agitateur dont l'arbre, à son point de jonction avec la paroi supérieure, est muni d'un calfat qui rend toute infection impossible. Cet agitateur permet le mélange intime de la masse lors du refroidissement, empêche la vie en surface de la mucédinée et la force à vivre en profondeur de manière à éviter toute combustion de sucre. Un tuyau de dégagement des gaz part de la partie supérieure de la cuve

et va s'ouvrir dans un barboteur rempli d'eau et placé au niveau du sol. Les ensemencements de cultures pures de mucédinées et de levures s'opèrent par une petite tubulure située dans le dôme de la cuve et bien à portée de la main. Sur cette tubulure s'engage un tuyau de caoutchouc d'environ 20 centimètres, bouché par un manchon métallique mobile qui l'obture hermétiquement. Une autre tubulure analogue, placée sur les côtés de la cuve, permet de prendre aseptiquement des échantillons du moût pour le contrôle. Un thermomètre indique la température du liquide. Enfin un tuyau percé de trous entoure la cuve à la partie supérieure et permet de faire ruisseler de l'eau sur les parois extérieures pour opérer le refroidissement.

On injecte de la vapeur, pendant tout le remplissage, par la valve inférieure de la cuve, de manière à maintenir l'ébullition. La vapeur sort bientôt par tous les orifices, stérilisant les tubulures d'échantillon et d'ensemencement, qu'on ferme successivement avec des manchons métalliques flambés. Quand la cuve est remplie, la vapeur n'a plus comme issue que le tuyau du barboteur, et il s'agit de refroidir ce moût stérile en évitant toute infection. On ferme la vapeur qu'on remplace immédiatement par un fort courant d'air stérile. Cet air produit dans la cuve un excès de pression qui empêche toute rentrée de l'air extérieur impur. On met ensuite l'agitateur en mouvement, et on procède au refroidissement du moût en faisant ruisseler de l'eau froide sur les parois extérieures de la cuve. L'agitateur amène constamment de nouvelles couches de moût chaud au contact de la paroi froide; l'air comprimé qu'on injecte empêche le vide que produirait la condensa-

tion et aère en même temps la masse. Dans ces conditions, le refroidissement est assez rapide et les 1.000 hectolitres de liquide sont bientôt amenés à 40-39 degrés.

La densité du moût non refroidi est de 1067. Après refroidissement à 40 degrés, elle est de 1059 par suite d'une fine précipitation de l'amidon.

On obtient ainsi, en cuve stérile, un moût stérile dans lequel on ensemence le mucor Delemar. Cet ensemencement s'effectue au moyen de cultures pures de ce mucor obtenues sur 20 grammes de riz cuit répartis au fond de ballons d'un litre. Un seul ballon suffit pour l'ensemencement et cette minime quantité de semence, qui ne représente à l'état sec que quelques centigrammes, est délayée dans un peu de moût stérile et sert à ensemenecer, par la tubulure du dôme, l'énorme cuve de 1.000 hectolitres. On met alors l'agitateur en mouvement et on aère énergiquement la masse. Dans ces conditions très favorables, le mucor se multiplie rapidement.

En culture ainsi immergée, il donne naissance à un organe de reproduction particulier, la gemme ou levure de mucor, qui est constituée par des cellules ovales qui se forment par segmentation des filaments. La formation de ces gemmes est très importante, car elles germent plus vite que les spores aériennes et la cuve est envahie plus vite par la moisissure.

L'agitation continue empêche la vie de la mucédinée en surface et supprime, par suite, toute perte par combustion directe. On prend aseptiquement des échantillons du liquide, on en contrôle la pureté au microscope et on suit la marche de la saccharification.

Pendant les 20 premières heures, la moisissure se développe, sans qu'il y ait de sucre formé; puis il se forme du maltose, qui s'hydrolyse ensuite quand 40 p. 100 des hydrates de carbone sont saccharifiés. Le travail du mucor remplace donc ici celui de la diastase du malt dans la fermentation complémentaire, mais il est beaucoup plus considérable puisque le moût ne contient que 1 p. 100 de produits réducteurs; en outre, il permet de réaliser l'asepsie parfaite pendant toute cette phase de la fabrication, ce qui est impossible par les méthodes ordinaires où la nécessité de conserver la diastase intacte empêche toute stérilisation.

La transformation de l'amidon et de la dextrine en sucres est accompagnée d'une fermentation alcoolique sous l'action du mucor. Mais cette fermentation est lente et il est préférable d'utiliser surtout les propriétés saccharifiantes de la mucédinée et de confier à la levure, vivant en symbiose, le travail de la transformation du sucre en alcool. Vingt-quatre heures après l'ensemencement du mucor, on enseme donc, avec toutes les précautions ordinaires d'asepsie, la cuve avec un ballon de 500 centimètres cubes d'une culture pure de levure en pleine fermentation. La race de levure employée est une race spéciale, qui a son optimum de température vers 38 degrés, de sorte qu'il n'est plus nécessaire aujourd'hui de refroidir le moût jusqu'à 33 degrés avant l'ensemencement de la levure, comme on le faisait autrefois. Cette minime quantité de semence assure, en se multipliant, la fermentation alcoolique du liquide. On cesse d'injecter de l'air. Au bout de vingt-quatre heures, toute la masse est peuplée de cellules de levures. Le travail symbiotique du mucor

et de la levure s'effectue; la mucédinée saccharifie les dextrines et l'amidon et la levure transforme le sucre en alcool et en acide carbonique. Pendant toute la durée de l'opération, on prend toutes les douze heures des échantillons de moût qu'on examine au point de vue chimique et microbiologique.

Quarante-cinq heures après le début de l'opération, le moût renferme 9,5 p. 100 de sucre, l'acidité est restée la même et la densité n'a diminué qu'un peu. Cinquante-trois heures après l'ensemencement de la moisissure, le sucre atteint son maximum, 11,3 p. 100 environ; il décroît ensuite rapidement par fermentation. Quarante heures plus tard, il n'y a plus de sucre, on trouve 0,3 p. 100 de matière réductrice non fermentescible, l'acidité est de 0,6 par litre, la densité est de 1000. Il n'y a plus de réaction à l'iode.

La saccharification et la fermentation alcoolique sont terminées et la cuve est envoyée à la distillation.

La durée de l'opération a pu être beaucoup réduite par l'emploi des levains de conidies. Quand on fait pousser des spores de mucor β dans des allonges contenant un moût faiblement sucré et traversé par un courant d'air, on voit germer les spores en 9 à 12 heures; un ou deux tubes mycéliens apparaissent et augmentent de longueur. Au bout de quelques heures d'aération, les tubes se vident et donnent chacun naissance à une ou deux gemmes colorables d'abord en jaune pâle par l'iode et qui deviennent jaune rougeâtre dès leur maturité. Si, à ce moment, on ajoute un peu de phosphate dans l'allonge, la gemme se remet à pousser immédiatement, mais au lieu de fournir un ou deux tubes

comme la spore, elle donne naissance à 5, 6 et même 10 tubes mycéliens. Si l'on continue l'aération, les nouveaux tubes forment de nouvelles gemmes, puis les tubes se vident complètement comme précédemment (Delemar). Les conidies ainsi obtenues permettent d'avoir, par ensemencement dans un moût de riz ou de maïs liquéfié, un développement extrêmement rapide du mycélium, qui envahit la cuve en 12 heures au lieu de 24. Delemar a pu ainsi faire pousser la mucédinée dans des appareils à levains de 100 hectolitres, d'une grande hauteur et d'un petit diamètre, de façon à avoir une aération intense et bien répartie. Les conidies sont ainsi très rapidement obtenues, et quand elles sont mûres, c'est-à-dire dès que les tubes mycéliens commencent à se vider, on transvase le levain dans une cuve de 1.000 hectolitres contenant du moût liquéfié et refroidi à 38-39 degrés. La conidie germe aussitôt, tandis que la spore met douze heures à germer; en outre, le mycélium fourni par les conidies secrète aussitôt de la diastase, et en plus grande quantité que le mycélium produit par la spore. On arrive ainsi à ensemercer le ballon de levure presque en même temps qu'on passe le levain et des cuves à 18 degrés Balling, tombent à 0 degré ou — 0° 2 en 60 heures et même en 48 heures quand on peut ensemercer avec un levain de levure au lieu d'un ballon (Delemar).

Cette rapidité de fermentation a permis de réaliser, dans beaucoup d'usines, une fermentation spéciale comportant un début de saccharification et de fermentation dans la cuve fermée Amylo et un transvasement en cuves ouvertes pour la fin du travail. Mais cette méthode est inférieure à celle qui est

basée sur l'emploi de la cuve fermée seule : les dangers d'infection sont beaucoup plus grands en cuve ouverte qu'en cuve fermée, et l'emploi des cuves fermées permet de récupérer la plus grande partie de l'alcool entraîné par le gaz carbonique, de sorte qu'on obtient pratiquement, avec la cuve fermée Amylo, au moins un litre d'alcool de plus par 100 kilogrammes de grains qu'avec les cuves ouvertes.

Avantages du travail par les mucédinées. — Les avantages du travail par les mucédinées sont très nombreux. D'abord, il devient possible d'opérer en milieu stérile et de supprimer ainsi tous les inconvénients qui résultent de l'impossibilité de faire subir au moût la stérilisation dans les autres méthodes où on doit conserver la diastase intacte. Les principes scientifiques se trouvent appliqués dans le travail par les mucédinées d'une façon tout à fait rationnelle, et toutes les phases du travail sont suivies et contrôlées au point de vue bactériologique et chimique. Si un accident se produit, le contrôle permettra toujours de reconnaître sa cause et le moment où il s'est manifesté.

La malterie est supprimée, ainsi que les dépenses en main-d'œuvre et en force motrice qu'elle entraîne. La préparation si aléatoire des levains est remplacée par le travail rigoureux du laboratoire où on prépare les ballons de culture pure pour ensemer les cuves. L'eau nécessaire à la dilution du moût étant chauffée par les vapeurs d'échappement de la cuisson, le procédé n'entraîne plus aujourd'hui aucune dépense supplémentaire de combustible. Bien au contraire, le travail à l'acide employé actuellement est d'une simplicité surprenante, et comme

il réduit de moitié la durée de la cuisson, supprime toute la force nécessaire pour le broyage du malt et pour la saccharification en cuve matière, tout le travail du maltage et de la préparation des levains, il devient évident que ce procédé réalise à la fois une économie de main-d'œuvre et réduit la consommation de charbon à son strict minimum.

Le travail par les mucédinées conduit en outre à un rendement moyen en alcool très supérieur à celui qu'on obtient par les autres méthodes. Ce rendement est au minimum de 37 à 39 litres d'alcool pur par 100 kilogrammes de maïs, au lieu de 34 litres que donnent, comme maximum, les procédés les plus perfectionnés. Les savants chimistes anglais H. Roscoe, H. T. Brown et A. Macfadyen, qui ont soumis au contrôle le plus rigoureux le procédé Amylo sur une cuve de 1.017 hectolitres, ont constaté que le rendement en alcool était de 37 l. 81 par 100 kilogrammes de maïs, le rendement théorique maximum déduit de l'analyse du grain étant de 38 l. 76. Le rendement en alcool atteignait donc, dans cette opération, 97,5 p. 100 du rendement théorique. Dans la plupart des distilleries qui travaillent le maïs par cette méthode, le rendement est voisin de 39 litres d'alcool par 100 kilogrammes de matière première. Ces chiffres montrent les beaux résultats que peut donner la pratique industrielle quand elle se conforme rigoureusement aux conditions théoriques dictées par la science pure.

La qualité de l'alcool produit est également supérieure. La quantité de moyens et mauvais goûts est beaucoup moindre; en outre, les flegmes renferment beaucoup moins d'alcools supérieurs que les flegmes produits par les méthodes ordinaires.

La filtration des drèches devient très facile, grâce à la présence des filaments mycéliens de la mucédinée qui exercent une action très favorable. Les drèches peuvent être séparées au filtre-pressé sans difficultés, et les tourteaux ainsi obtenus sont soumis à la dessiccation, puis épuisés de leur huile dans les appareils Donard et Boulet, sur lesquels nous reviendrons en étudiant les résidus de la distillerie. On obtient ainsi, par 100 kilogrammes de maïs, environ 3 kilogrammes d'huile, et 20 kilogrammes de drèches sèches qui se conservent très bien et qui sont vendues pour l'alimentation des animaux.

Les drèches sont d'ailleurs remarquables par leur valeur nutritive. En analysant des drèches obtenues par le procédé Boulard, Bettinger a trouvé que les principes digestibles pour des drèches de maïs pur à 6 p. 100 d'eau environ étaient les suivants :

Matières protéiques	24,78
Matières grasses	18,28
Extractifs non azotés	19,75
Cellulose	2,54

La valeur primitive en amidon est de 74, 2 et la relation nutritive, c'est-à-dire le rapport des matières azotées aux matières non azotées, est très étroit (1 : 2, 6 environ).

Ces drèches constituent donc un aliment concentré pour les vaches laitières et les jeunes veaux, en les associant avec d'autres aliments qui apportent une certaine quantité d'hydrates de carbone.

L'emploi de cuves fermées permet enfin de récupérer l'acide carbonique de fermentation. Les grandes cuves closes laissent échapper des torrents de gaz carbonique qu'on recueille à sa sortie des bar-

boteurs, qu'on purifie et qu'on comprime dans des cylindres pour le vendre à l'état liquide. Ce sous-produit est très rémunérateur, principalement dans les pays chauds.

FABRICATION SPÉCIALE DE LA LEVURE PRESSÉE

La fabrication de la levure pressée a pour but la production de la levure pour la boulangerie et la pâtisserie. Cette levure doit être blanche, active et riche en azote. Les expériences de Briant ont montré en effet que la qualité de la levure en boulangerie croît avec la richesse de cette levure en matières azotées. Les méthodes employées pour cette fabrication peuvent se diviser en deux groupes : les méthodes à moûts troubles et les méthodes à moûts clairs. Parmi les procédés à moûts troubles, un des plus anciens et des plus appréciés est le procédé viennois qui est surtout répandu en Allemagne et en Autriche.

Parmi les procédés à moûts clairs, le plus important est le procédé de la fabrication de la levure avec aération (aérolevure) qui est appliqué, soit aux moûts de grains, soit aux moûts de mélasses, soit à un mélange de ces deux moûts.

Nous ne reviendrons pas en détail sur la préparation des moûts qui se fait d'après les principes exposés dans le chapitre consacré aux moûts de matières amylacées, et nous indiquerons simplement, dans ce qui va suivre, les principales particularités du travail spécial de la levure. Cette fabrication sera d'ailleurs exposée d'une façon sommaire, car elle n'est agricole que par les produits qu'elle met en œuvre.

Procédé viennois à moûts troubles.

Ce procédé a l'avantage de fournir de la levure d'excellente qualité, mais certaines de ses parties sont encore mal connues au point de vue scientifique et assez empiriques. Il en résulte que s'il donne de bons résultats quand il est conduit par un praticien expérimenté, il amène souvent aussi des mécomptes.

En outre, il fournit un rendement très faible en levure et très élevé en alcool et les conditions économiques actuelles du marché de l'alcool amènent les fabricants français de levure à délaisser de plus en plus le procédé viennois pour adopter les méthodes de production d'aérolevure, avec moûts de grains ou de mélasses, car ces méthodes permettent d'obtenir beaucoup plus de levure par 100 kilogrammes de matière première, et beaucoup moins d'alcool.

Le procédé viennois consiste en principe à préparer un moût de grains à un état de concentration et de viscosité suffisants pour que l'acide carbonique, en se dégageant, entraîne la levure à la surface, où elle est recueillie. L'ensemencement du moût se fait par levains lactiques.

Préparation du moût. — *Matières premières.* — Les matières premières employées pour cette fabrication sont l'orge maltée à l'état de malt vert ou de malt sec, le seigle et le maïs, parfois le sarrasin, le riz, le lupin, les fèves et la vesce. Le travail du maltage doit être dirigé de manière à favoriser le plus possible la dissolution des matières azotées du grain, afin d'augmenter la richesse du moût en azote, mais la dégradation ne doit pas être trop

profonde, car les matières albuminoïdes solubles complexes jouent un rôle important dans l'état de viscosité du moût. On doit donc malter longtemps et à basse température. Quand on emploie le malt sec, la dessiccation doit se faire à température peu élevée pour altérer le moins possible ces matières azotées.

Le seigle est le grain le plus employé ; il doit être riche en azote et nous avons vu que les seigles à petits grains sont les meilleurs sous ce rapport.

Le maïs est souvent utilisé aussi ; il a l'avantage d'être riche en amidon et d'augmenter le rendement en alcool. En outre, ses drèches sont lourdes et ne remontent pas à la surface, ce qui permet de recueillir une levure plus pure. Mais il ne donne pas des rendements en levure aussi élevés que le seigle.

Le sarrasin fournit un moût relativement fluide et facilite la montée de la levure à la surface, mais il ne faut pas en employer de trop fortes proportions, car le moût monte trop dans les cuves. Aussi doit-on toujours utiliser le sarrasin en mélange avec d'autres grains.

Le riz ne peut être employé qu'en faible quantité à cause de sa pauvreté en matières azotées : il augmente le rendement en alcool par suite de sa richesse en amidon, mais il est peu favorable au rendement en levure.

Le moût est préparé avec ces diverses matières premières, mélangées dans des proportions convenables pour assurer à la fois la concentration voulue, l'état de viscosité, la montée de la levure et un rendement suffisant en alcool.

Un moût de seigle et de malt est épais et visqueux, l'addition de maïs le rend plus liquide ; aussi

emploie-t-on fréquemment un mélange de ces trois grains.

Le sarrasin, ajouté en petite proportion, diminue la viscosité et facilite la montée de la levure. On doit donc utiliser ces divers grains en proportions judicieuses, de manière à obtenir le résultat voulu dans les conditions de travail de l'usine et de matières premières dont on dispose.

Nettoyage du grain. — Les grains doivent d'abord être soigneusement nettoyés et triés, car, la stérilisation du moût étant impossible dans le travail de la levure pressée, il est nécessaire d'employer des matières premières aussi propres que possible. Ce nettoyage s'effectue dans les appareils que nous avons décrits dans notre ouvrage consacré à la brasserie (1).

Mouture. — Les grains sont ensuite moulus soit par des meules, soit par des moulins à cylindres. Dans le procédé viennois, il est nécessaire d'avoir une mouture fine. Pour le malt vert, on se sert des broyeurs de malt précédemment décrits. Pour le malt sec et les grains, on utilise souvent les meules et aussi les moulins à cylindres. Ces moulins se composent ordinairement d'une ou deux paires de cylindres maintenus à écartement constant, entre lesquels passe le grain à broyer. La surface des cylindres porte de fines cannelures en hélice, un aspirateur agit à l'intérieur de l'appareil pour enlever l'air chaud et humide et réduire ainsi l'échauffement.

Saccharification. — Les matières azotées présentes dans les grains jouent un rôle important dans le rendement en levure. Il importe donc de ne pas

(1) Voir E. BOULLANGER, *Brasserie* (ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE).

altérer, dans le travail de la préparation du moût, les matières albuminoïdes solubles très abondantes dans certains grains comme le seigle. Nous savons que l'action de ces matières azotées est variable avec leur nature : les amides favorisent surtout l'activité de la levure ; les matières albuminoïdes peu dégradées, les albumoses et les peptones interviennent dans la tenue de la mousse : elles diminuent la tension superficielle du liquide et se rassemblent à la surface des bulles pour leur donner de la solidité, comme l'a montré Ramsden. Ces colloïdes favorisent donc l'établissement d'un état de viscosité convenable et influent ainsi sur le rendement en levure. Ces phénomènes se traduisent aussi dans la pratique par les caractères que présentent les levures suivant les matières azotées qui leur sont offertes. Les levures d'amides sont poussiéreuses, se déposent lentement, et leur force fermentative est grande. Les levures de peptones sont floconneuses, se déposent vite et leur force fermentative est plus faible.

On évitera donc la cuisson à haute température pour les grains dont l'amidon peut être attaqué suffisamment par la diastase au-dessous de la température d'empesage. Tel est le cas du seigle, car nous savons, par les expériences de Lintner, que l'amidon de ce grain peut être dissous par le malt dans la proportion de 93,70 p. 100 à la température de 60°, bien que la température d'empesage ne soit atteinte qu'à 80°. Il en est de même pour l'amidon du malt vert ou touraillé, du blé, de l'avoine. Par contre, l'amidon du maïs et du riz ne peut être attaqué fortement qu'après transformation en empois, à la température de 70-75 degrés. Il est donc nécessaire de procéder à une cuisson de ces matières premières pour avoir un

rendement en alcool suffisant, mais ce rendement n'est atteint qu'aux dépens du rendement en levure. Dans tous les cas, il est préférable d'opérer la cuisson à une température aussi basse que possible, et de recourir par suite à un simple chauffage à la température d'empesage plutôt qu'à la cuisson sous pression.

La saccharification s'opère soit dans une cuve matière munie d'un vagueur, soit dans un macérateur à réfrigérant analogue à ceux que nous avons décrits pour la préparation des moûts de matières amylacées. On place d'abord dans l'appareil le malt broyé et l'eau nécessaire, puis on y fait arriver la farine de seigle hydratée à l'avance. Quand on emploie une certaine proportion de maïs ou de riz, on le transforme à part en empois à la température de 85-90 degrés et on se sert de cet empois au lieu d'eau chaude pour réchauffer la masse. On peut également cuire ces matières premières sous pression : cette méthode augmente le rendement en alcool, mais au détriment du rendement en levure. La saccharification doit avoir lieu environ à 50°, qui est la température la plus favorable à la dégradation des matières azotées à l'état d'amides, et on maintient cette température pendant une demi-heure ou une heure en brassant énergiquement la masse. On monte ensuite jusqu'à 60° pour favoriser la saccharification et l'attaque de l'amidon du seigle et du malt. Il est évident qu'avec un tel mode de travail, la transformation de l'amidon ne peut pas être complète, et en effet il reste toujours une certaine proportion d'amidon non saccharifié. Mais ce résidu non saccharifié se transforme en grande partie pendant la fermentation, le moût étant très riche en amylase.

Pour éviter la coagulation des matières albuminoïdes assimilables, qui ont une grande influence sur le rendement en levure, Sorel conseille de faire le travail des farines sous vide approprié, en maintenant la dilution convenable par retour des condensations.

Dans le même but, Nottin a proposé, à la suite d'études de laboratoire sur le travail du maïs, de faire macérer la farine de maïs cru, sans malt, au contact de l'eau à 60°. Les diastases protéolytiques solubilisent et dégradent, à cette température, les matières azotées utiles. La drèche est alors séparée du liquide par filtration; on la soumet à la cuisson, on remet sur l'empois le liquide précédemment filtré et on saccharifie alors par le malt. On peut utiliser ainsi la peptase et la tryptase du maïs pour la dégradation des matières azotées utiles et il en résulte une augmentation notable du rendement en levure pour 100 kilogrammes de grains. Mais la longueur et la complexité de ce mode de travail peuvent rendre très difficile son application dans la pratique industrielle.

Certaines fabriques de levures utilisent le maïs sous forme de malt de maïs, et réalisent ainsi un travail voisin de celui qui a été préconisé par Nottin. Le malt de maïs moulu est d'abord hydraté : la masse est décantée et la cuisson des drèches se fait ensuite. On arrive ainsi à une bonne utilisation de l'amidon en respectant autant que possible les diastases protéolytiques qui doivent dégrader les matières azotées utiles.

Préparation des levains. — L'ensemencement du moût se fait au moyen de levains lactiques préparés le plus souvent par acidification bacté-

rienne, mais les conditions de préparation de ces levains sont assez différentes de celles que nous avons exposées en distillerie de grains et de pommes de terre. Il importe surtout, en fabrique de levure, de préparer des levains susceptibles de donner ultérieurement une grande multiplication de levure, et les particularités principales de cette fabrication des levains sont la très forte concentration du moût et la température relativement élevée de la fermentation.

Les matières premières employées sont constituées par un mélange de malt et de seigle, généralement en parties égales. Dans les petites usines, on empâte à la main dans des cuiviers en bois, en agitant à l'aide de pelles en bois évidées en forme de grille pour bien briser les grumeaux. Dans les grandes usines, on emploie les macérateurs à levains précédemment décrits. Le mélange doit avoir finalement la température de 63 degrés et la durée de la saccharification est environ de deux heures.

Le moût obtenu, très concentré, accuse 27 à 30 degrés Balling. On l'envoie dans des cuiviers à levains en bois, montés sur chariots : on préfère ordinairement les cuiviers de forme plate et basse, qui assurent une aération meilleure. L'acidification bactérienne se fait dans les conditions que nous avons exposées précédemment en étudiant les levains en distillerie de matières amylacées. La température la plus favorable est comprise entre 50 et 58 degrés, et il ne faut pas descendre au-dessous de 50 degrés. L'ensemencement par les ferments lactiques purs rend aussi, en fabrique de levure, le travail de l'acidification plus sûr et plus régulier. Il se forme à la surface des levains une croûte épaisse, sèche et ferme

qui protège la masse contre le refroidissement et l'infection. Cette croûte doit être unie; la présence de fissures par lesquelles on voit s'échapper des gaz et de la mousse indique une infection et un mauvais travail. Il en est de même quand la croûte reste molle et se recouvre de voiles gaufrés causés par des microbes nuisibles. En trente ou quarante heures, si le ferment lactique est actif, on obtient une forte acidité de 7 à 10 grammes par litre, évaluée en acide sulfurique. Cette grande acidité est nécessaire en fabrique de levure si on veut obtenir des levains de bonne qualité.

Pour protéger le levain dès le début contre les microbes nuisibles et pour permettre une peptonisation des matières azotées dès le début et en prolonger ainsi la durée, Sorel incorpore au levain, dès qu'il a subi un certain temps de saccharification, de la vinasse préalablement concentrée sous vide approprié en ne dépassant pas 65 degrés, de manière à amener l'ensemble du levain à la teneur requise en acidité. La peptonisation commence ainsi aussitôt et toute la durée accordée à ce stade est mise à profit. Les chiffres qui suivent montrent les résultats donnés par ce mode de travail.

Produits dosés.	Levain abandonné à la digestion normale de 60 heures en gr.	Levain acidifié après saccharifica- tion et 15 heures de digestion en gr.
Acide lactique	14,00	16,80
Sucres fermentescibles	155,00	190,00
Matières azotées dissoutes.	20,00	28,00
Extrait.	270,00	330,00
Non sucré	115,00	140,00

On voit que l'addition de vinasses a beaucoup augmenté la solubilisation.

L'acidification artificielle par l'acide lactique a été étudiée en Allemagne par Wehmer. En ajoutant au moût de levain, après saccharification, 1 à 2 p. 100 d'acide lactique, Wehmer a obtenu une quantité de levure plus grande qu'avec l'acidification bactérienne. La levure fabriquée était d'une qualité irréprochable. En France, l'emploi de l'acide lactique industriel ne s'est pas répandu, à cause du prix assez élevé de cet acide et des résultats inférieurs qu'il donne souvent au point de vue de la qualité des levains.

Après acidification bactérienne, le moût de levain est porté à 75 degrés pour détruire les ferments lactiques, puis refroidi rapidement à 17 degrés au moyen des serpentins agitateurs précédemment décrits. La mise en levain se fait le plus souvent en France avec la levure même de la fabrique : on obtient ainsi des rendements plus élevés qu'avec la levure mère et le travail est moins délicat. La fermentation part très rapidement. La température s'élève très vite à 32-33 degrés, et au bout de neuf à dix heures, le bourgeonnement de la levure s'arrête. Effront a montré que pour avoir de la levure très énergique, il faut qu'elle soit arrêtée rapidement dans sa multiplication à la fois par l'alcool formé qui atteint 6 à 7 p. 100, par la température élevée de 32-33 degrés et par la forte acidité du levain. Dans ces conditions, on ne produit qu'un petit nombre de cellules de levures, mais ces cellules sont extrêmement actives et susceptibles de se multiplier abondamment par la suite. A ce moment, on prélève, s'il y a lieu, la levure mère pour le levain suivant, on la met à part et on la refroidit à 10-12 degrés. Quelques heures plus tard, le levain est mûr et bon à être employé.

La qualité du levain a une influence considérable sur le rendement en levure. Si le levain manque d'acidité, la levure se développe peu et sa force fermentative est faible. Si la température ne s'est pas suffisamment élevée pendant la fermentation du levain, la montée de la levure est peu abondante et le rendement s'en ressent. Enfin, si la température a dépassé 34-35 degrés, la consistance de la mousse laisse à désirer.

Fermentation du moût principal. — Le moût principal, après saccharification, doit être refroidi et dilué. Ce refroidissement s'effectuait autrefois au contact de l'air dans les réfrigérants plats : ces appareils sont aujourd'hui abandonnés et la réfrigération s'opère, soit dans le macérateur lui-même, soit dans un des réfrigérants multitubulaires précédemment décrits. Quand le refroidissement se fait dans le macérateur, on abaisse la température du moût jusqu'à ce qu'elle soit égale à celle du levain d'ensemencement et on fait arriver ce levain. On ajoute alors une proportion de clairs de vinasses égale environ au tiers du volume du moût, et on achève le refroidissement à 22-25 degrés avant d'envoyer en cuve. Sorel conseille d'incorporer la vinasse vers 62 degrés et de laisser digérer deux à trois heures, de manière à augmenter la solubilisation des matières nutritives contenues dans les grains. Quand on emploie un réfrigérant tubulaire, il est bon de refroidir d'abord le moût à la température du levain, d'ajouter ce levain, puis d'achever le refroidissement au degré voulu. On le répartit alors dans les cuves où on l'additionne de la quantité de clairs de vinasse nécessaire pour obtenir la concentration choisie.

Les clairs de vinasses donnent au moût une certaine acidité qui le protège contre les ferments nuisibles et apportent, en outre, des matières nutritives pour la levure et des hydrates de carbone qui ont échappé à la fermentation précédente. L'addition de ces clairs de vinasse ne suffit pas pour donner au moût une acidité assez forte, et on ajoute dans les cuves la quantité d'acide sulfurique nécessaire pour protéger la levure contre les bactéries, sans nuire cependant à la marche de la diastase pour la fermentation complémentaire. Il y a là un point assez délicat à saisir, car il faut autant que possible favoriser par l'acide sulfurique le rendement en levure sans trop nuire au rendement en alcool et sans rendre mauvaises les chutes de fermentation. Dans certaines usines, on ajoute l'acide sulfurique au moment de la saccharification. Cette manière d'opérer est avantageuse, si la dose d'acide est bien rigoureusement déterminée pour agir favorablement sur la diastase saccharifiante et sur la diastase peptique du malt. Nous savons qu'il faut pour cela que cette quantité d'acide se borne à déplacer les acides organiques et à transformer les phosphates neutres en phosphates acides, sans qu'il reste une acidité minérale libre qui paralyserait les actions diastasiques. Il faut donc être très prudent quand on emploie ce mode de travail et déterminer très rigoureusement la quantité d'acide à adopter pour ne pas atteindre le point où cet acide devient nuisible.

Montée de la levure. — La cuve mise en fermentation est aérée pour favoriser la multiplication de la levure, puis abandonnée au repos : les drèches montent en partie à la surface et constituent un cha-

peau. Au bout de trois heures environ, ce chapeau se fendille sous l'action de l'acide carbonique et la mousse apparaît. Elle monte alors de plus en plus et au bout de douze à quinze heures, on constate que les bulles perdent leur transparence et deviennent laiteuses par suite de nombreuses cellules de levures qui sont ramenées à la surface par le dégagement gazeux. En même temps, la mousse commence à redescendre. C'est à ce point précis que la levure est mûre et doit être récoltée. Si on récolte trop tôt, on perd beaucoup de moût, la levure est peu active et se presse mal; si on récolte trop tard, une partie de la levure retombe au fond de la cuve et se trouve perdue. Examinée au microscope, la levure mûre se présente sous l'aspect de cellules isolées, bien développées et exemptes de bourgeonnement. L'appréciation de l'état de maturité se fait, en outre, au moyen des caractères extérieurs de l'écume; l'apparence laiteuse et le début de la chute de la mousse sont les deux meilleurs points de repère.

Ce phénomène de la montée de la levure est lié d'abord intimement à l'état de viscosité du moût et tous les efforts du fabricant doivent tendre à obtenir le moût à l'état voulu. Cette constitution particulière du liquide dépend de la nature du grain mis en œuvre, de la concentration du moût, de la saccharification, etc. Nous avons vu que le sarrasin diminue aussi la viscosité du liquide et facilite la montée. L'orge et le maïs diminuent aussi la viscosité, mais ils sont sans action sur la montée.

Si le moût est trop concentré, sa consistance pâteuse gêne le phénomène : la meilleure concentration paraît être de 10 à 12 degrés Balling. La

dextrine agit également sur l'état du moût. Quand la saccharification est mauvaise et quand il se forme beaucoup de dextrans, il arrive souvent que les cuves moussent fortement : dans ce cas, le rendement en levure est généralement bon, mais cette levure manque d'activité. La qualité du levain influe enfin beaucoup sur la mousse : si le levain est insuffisamment acide, les mousses sont très abondantes, sans consistance et débordent facilement ; le développement de la levure est incomplet et la force fermentative laisse à désirer. Les mêmes inconvénients se manifestent avec des levains dont la maturité est imparfaite.

Récolte de la levure. — La récolte de la levure se fait avec des palettes en fer blanc, munies d'un long manche. On écume le moût jusqu'à ce que la surface du liquide apparaisse, puis on laisse se former une nouvelle couche qu'on enlève à son tour. Quand on est arrivé au niveau du moût, on repousse, au moyen d'une planchette flexible, ce qui reste d'écume dans un coin de la cuve où on la récolte. Dans les cuves carrées, on rend souvent mobile le haut de la cuve sur un côté et on fait écouler les hautes mousses par ce déversoir.

On doit avoir soin d'enlever l'écume et de laisser le moût, car la présence du moût rend la levure très altérable et le pressurage difficile.

Traitement de la levure récoltée. — La levure recueillie doit être immédiatement lavée à l'eau froide. A cet effet, on la place dans une rigole où coule de l'eau et la levure se trouve ainsi entraînée dans une cuve de décantation. On lui fait subir d'abord un tamisage qui la débarrasse des drèches et des matières étrangères. Ce travail se fait méca-

niquement sur les tamiseurs à secousses qui donnent d'excellents résultats. Ces appareils comprennent ordinairement deux tamis. Le tamis supérieur est double : le dessus est formé de toile métallique et retient les grosses particules et les drèches; le dessous est en soie très serrée et ne laisse passer que la levure. Les drèches retenues sur le tamis supérieur sont délayées et passent ensuite sur un second tamis métallique. Les drèches sont de nouveau séparées et la levure qui traverse est renvoyée sur le tamis supérieur.

La levure réunie dans la cuve de décantation doit alors être lavée. On utilise pour cette opération des bacs dans lesquels on place la levure et de l'eau très froide. La température la plus favorable paraît être de 9 à 12 degrés; quand elle est plus basse, la décantation se fait difficilement; quand elle est plus élevée, l'activité de la levure se réveille. La levure ne doit pas être en trop grande quantité, afin que le dépôt puisse se faire rapidement. Au bout de quelques heures de dépôt dans ces cuves, on décante la couche surnageante et on élimine ainsi les particules restées en suspension, composées surtout de fins débris de drèches, de cellules mal développées, etc. On désigne ces matières sous le nom de *levure grise*. Cette couche est décantée avec soin et envoyée à la distillation pour extraire l'alcool qu'elle contient. On procède alors à un deuxième lavage de la levure restée dans le bac, et après dépôt, on décante, on enlève la partie supérieure qui constitue la levure grise, et on recueille la couche inférieure de bonne levure pour la soumettre au pressurage.

Le pressurage s'effectuait autrefois dans les petites usines en enfermant la levure dans des sacs qu'on

pressait au moyen de presses à vis. Le travail se fait aujourd'hui au filtre-presse. On utilise en fabrique de levure le filtre-presse sans cadres. Cet appareil se compose en principe de plateaux serrés les uns contre les autres, et reposant par des oreilles latérales sur deux montants parallèles sur lesquels ils glissent. Ils sont placés entre deux sommiers, l'un fixe et l'autre mobile. Le serrage se fait par une vis centrale ou par deux vis placées sur chacun des tirants. Chaque plateau est placé contre son voisin de manière que deux plateaux forment avec leurs bords une cloison étanche. La partie intérieure de chaque plateau est moins large que les bords, et il se forme ainsi entre deux plateaux juxtaposés une poche dans laquelle s'accumule la matière à filtrer. La surface interne des plateaux est cannelée et chacun porte, à cheval sur lui, une toile qui vient s'appliquer contre ses parois. La levure est envoyée entre les plateaux au moyen d'une pompe qui peut comprimer la masse jusqu'à 6 ou 7 atmosphères : le liquide filtre à travers les toiles et s'écoule par le robinet de chaque plateau, tandis que la levure s'accumule entre les toiles en formant un gâteau. Quand le filtre est plein, on desserre, on fait tomber les tourteaux de levure et on recommence une nouvelle opération.

Cette filtration au filtre-presse est parfois très difficile. Pour la rendre plus aisée, on ajoute souvent à la levure une certaine proportion de fécule ou d'amidon après l'écoulement de la dernière eau de lavage. L'amidon absorbe énergiquement l'eau de la levure et le pressurage devient beaucoup plus facile.

Les tourteaux de la levure sortant du filtre-presse sont tassés très fortement dans des cuvelles et mis

ensuite en sacs ou en pains. Quand on place la levure en sacs, on la tasse fortement dans des sacs en toile et on passe les sacs à la presse. Pour la débiter en paquets, on se sert de machines à briquettes spéciales qui font sortir la levure sous forme de pains qu'on coupe à la longueur voulue. On les emballe dans un premier papier assez perméable pour permettre la dessiccation superficielle de la levure, puis dans un second papier plus résistant.

Traitement des vinasses. — La drèche qui sort de la colonne à distiller est ordinairement traitée de la façon suivante, quand on doit faire rentrer dans le travail les clairs de vinasses. On l'envoie dans des cuves de décantation, après lui avoir parfois fait subir une cuisson sous pression de vingt minutes pour la stériliser et faciliter le dépôt. Quand la clarification s'est produite, on décante les parties claires dans d'autres cuves où le dépôt s'achève, et les clairs de vinasses ainsi obtenus sont refroidis pour rentrer dans le travail. Il est très important, pour avoir une bonne montée de levure, et un produit bien blanc, d'avoir des clairs parfaitement décantés et cette partie du travail doit être spécialement surveillée dans le procédé viennois.

Procédés de fabrication de la levure en moûts clairs.

Procédé hollandais. — Le moût est préparé par une des méthodes ordinaires et ensemencé avec une quantité donnée de levure. On décante alors le liquide clair qui recouvre la drèche et on

fait fermenter séparément le liquide et le dépôt. La levure de surface fournie par la fermentation du liquide clair est seule récoltée; quand cette récolte est faite, on réunit le liquide avec les dépôts précédemment séparés et on poursuit le travail pour la production de l'alcool.

Procédé aéro-levure. — Pasteur nous a montré, dans son expérience classique sur la culture de la levure en large surface dans une cuvette et en profondeur dans un ballon rempli complètement, que l'aération augmente considérablement la production de levure en diminuant le rendement en alcool. On peut donc prévoir qu'en préparant un moût clair et en aérant abondamment ce moût, il doit être possible de faire de la levure le produit principal de cette fabrication, l'alcool n'étant plus qu'un sous-produit. Si donc les considérations fiscales engagent le fabricant de levure à réduire au minimum la quantité d'alcool formé et à porter au maximum la production de levure, la méthode viennoise doit être considérée comme tout à fait défec- tueuse. En outre, cette méthode présente, comme nous l'avons vu, de gros inconvénients et de grandes difficultés pratiques; aussi a-t-on recherché pour cette fabrication des méthodes plus rationnelles, permettant d'augmenter beaucoup le rendement en levure.

Le procédé d'aéro-levure, adopté aujourd'hui dans un grand nombre de fabriques de levure d'Allemagne et dans presque toutes les usines belges, consiste en principe à préparer un moût clair et acide, à y produire une levure de dépôt très abondante par aération intense et à séparer la levure produite au moyen du filtre-pressé. On obtient ainsi la totalité de la

levure formée sans avoir recours à la montée et à l'écumage,

Préparation du moût. — Les matières premières utilisées sont les mêmes que pour la méthode viennoise, mais il est nécessaire d'employer une proportion de malt plus forte pour pouvoir filtrer plus facilement le moût. On utilise notamment l'orge à l'état de malt vert, le seigle, le maïs, les vesces, etc. Ces matières premières sont souvent additionnées de matières nutritives, notamment de radicales de malt ou touraillons, pour enrichir le moût en matières azotées.

Le seigle est d'abord trempé pour faciliter le broyage au degré voulu. On emploie à cet effet de l'eau à 15° ou 16° dans laquelle on laisse séjourner le grain pendant environ vingt heures. On l'étale ensuite en couches pendant une journée et une nuit environ, afin de provoquer un commencement de germination. Le malt vert et le seigle ainsi trempé sont alors broyés dans des broyeurs à cylindres. Il importe de ne pas faire une mouture trop fine qui rendrait la filtration difficile et de ne pas abîmer les pailles qui font l'office de matière filtrante, surtout quand la séparation du moût clair doit avoir lieu sur le faux-fond d'une cuve.

L'empâtage se fait à 40 degrés dans le macérateur, puis on monte lentement à 52-53 degrés. On maintient cette température pendant une demi-heure pour favoriser la solubilisation des matières azotées, puis on fait arriver le maïs empesé à part à 90 degrés ou cuit sous pression et on élève ainsi la température à 62 degrés, où la saccharification s'achève. On ajoute parfois avant la saccharification une petite dose d'acide sulfurique. L'action de cette

acidification est encore mal connue; il est probable que la dose faible employée favorise l'action de l'amylase et des diastases peptiques : la saccharification est ainsi meilleure et la dissolution des matières azotées plus parfaite. Le développement des organismes nuisibles peut être aussi retardé.

Acidification. — On fait alors subir à toute la masse une acidification lactique par voie bactérienne. On abaisse la température à 52-56 degrés et on laisse acidifier jusqu'au point voulu. On a souvent recours en même temps à l'acidification artificielle en ajoutant au liquide, après saccharification et avant acidification bactérienne, une faible quantité d'acide lactique ou d'acide sulfurique dans le but de favoriser la dissolution des matières azotées. Mais le rôle de cette acidification n'est pas encore bien établi. En effet, les recherches de M. Lecocq ont montré que dans l'acidification bactérienne, il se produit bien une solubilisation des matières azotées, mais les acides ajoutés avant acidification ne semblent pas avoir une influence favorable sur cette solubilisation. Bien au contraire, les matières azotées semblent insolubilisées par cette addition d'acide. En outre, la marche de l'acidification bactérienne est toujours retardée par l'addition des acides lactique et sulfurique. M. Lecocq a constaté, d'autre part, que l'addition de ces acides avant acidification bactérienne a une influence très marquée sur la solubilisation de la potasse et de l'acide phosphorique. Ces matières minérales favorables à la levure sont dissoutes en beaucoup plus grandes proportions et peut-être est-ce là une des causes de l'action bienfaisante des acides lactique et sulfurique.

Filtration du moût. — Après acidification, on réchauffe à 68 degrés pour produire une stérilisation partielle et on filtre à clair.

La filtration peut se faire soit sur faux-fond dans une cuve à filtrer, soit par filtre-presse. La filtration sur faux-fond se fait soit dans la cuve matière elle-même disposée spécialement à cet effet, soit dans une cuve à filtrer spéciale. A la partie supérieure de la cuve se trouve la croix écossaise qui sert au lavage des drèches. Le soutirage s'effectue comme en brasserie, au moyen des robinets de mise en perce et des tuyaux qui aboutissent sous le faux-fond. Les premières portions qui passent troubles sont renvoyées dans la cuve, puis on recueille le liquide clair. L'épuisement des drèches se fait par lavages à la croix écossaise, suivis de soutirage.

Cette méthode a l'inconvénient d'être longue, et elle a été remplacée dans beaucoup d'usines par la filtration au filtre-presse. Le moût saccharifié et acidifié est alors envoyé par des pompes dans le filtre-presse; les gâteaux de drèches ainsi obtenus sont lavés et on obtient ainsi un moût clair. Ce moût est ordinairement additionné de sulfate d'ammoniaque ou de phosphate d'ammoniaque. Le rôle de cette addition est encore mal élucidé : on admet généralement qu'elle favorise l'activité de la levure. Les expériences de M. Lecocq ont montré que ces sels diminuent le rendement en levure; le phosphate d'ammoniaque employé seul ou en présence d'acide sulfurique augmente l'activité et la diminue en présence d'acide lactique; le sulfate d'ammoniaque seul est sans action; il augmente l'activité de la levure en présence d'acide lactique et la diminue en présence d'acide sulfurique. Cette addition de sels

nutritifs peut donc être parfois utile, parfois nuisible suivant les conditions de fabrication.

Fermentation du moût. — Le moût refroidi à 28-29° estensemencé avec 3 kilogrammes de levure pressée par 100 kilogrammes de grains, et on commence à injecter l'air aussitôt. Les cuves de fermentation ne doivent être remplies qu'à moitié à cause de la mousse énorme qui se produit. L'injection d'air comprimé se fait par un tuyau perforé, et cet air passe au préalable à travers un filtre à coton qui le débarrasse de ses germes.

Sous l'influence de cette aération intense, la levure se multiplie rapidement. La température s'élève, mais on la maintient à 30 degrés pendant toute la durée de la fermentation au moyen d'un serpentin réfrigérant placé dans la cuve.

Récolte de la levure. — Au bout de douze à quatorze heures, la fermentation est généralement assez avancée pour qu'on puisse récolter la levure. On refroidit rapidement le liquide à 12 ou 15 degrés, et on l'envoie dans des bacs plats de dépôt, où la levure se précipite. La levure déposée est séparée par décantation : le liquide fermenté qui surnage est envoyé à la distillation, et le dépôt de levure est soumis aux lavages comme dans la méthode viennoise, puis au pressurage au filtre-pressé.

Autres méthodes de fabrication d'aéro-levure. — Effront a mis au point un nouveau procédé de fabrication d'aéro-levure basée sur une saccharification des grains en milieu acide et sur la peptonisation de certains produits azotés spéciaux qui assurent à la levure de grandes quantités d'azote assimilable. On opère en moûts clairs, sous aération intense. Ce procédé, qui permet d'obtenir 35 à

40 kilogrammes de levure par 100 kilogrammes de grains, est appliqué dans plusieurs usines françaises, où il donne d'excellents résultats.

Dans ces dernières années, on a préparé de la levure pressée aux dépens des mélasses. Il existe plusieurs procédés brevetés pour l'utilisation de cette matière première en vue de la production de la levure. Le procédé Vasseux est le plus répandu dans les usines françaises; il consiste en principe à préparer un moût de mélasses désodorisé, purifié et enrichi par la tourbe et par l'emploi de certaines matières riches en azote et à cultiver la levure, sous aération intense, dans ce moût filtré à clair. Le rendement très élevé en levure, avec réduction correspondante de la production d'alcool, rend ce procédé particulièrement intéressant à l'heure actuelle, vu les bas prix d'achat de l'alcool par l'Etat français.

Résultats fournis par les divers modes de fabrication de la levure pressée. — Les procédés aéro-levure ont l'avantage de fournir des rendements en levure beaucoup plus considérables que la méthode viennoise. Avec cette dernière méthode, on obtient en moyenne en levure 10 à 12 p. 100 du poids du grain mis en œuvre et 27 à 30 p. 100 d'alcool. Certains perfectionnements permettent cependant d'élever ces chiffres à 24 p. 100 de levure et 36 p. 100 d'alcool. Dans les procédés aéro-levure, nous avons vu qu'on peut obtenir de 30 à 40 p. 100 de levure et de 25 à 14 p. 100 d'alcool. La proportion de levure obtenue est donc beaucoup plus forte mais le rendement en alcool s'abaisse, car nous savons que les deux phénomènes de la multiplication de la levure et de la formation de l'alcool sont solidaires et qu'il n'est pas possible, avec une même

quantité de matière première, de favoriser le rendement en levure sans diminuer le rendement en alcool, ou inversement. Les procédés aéro-levure ont en outre l'avantage d'être plus simples, moins empiriques et plus faciles à conduire que le procédé viennois. Ils conviennent enfin beaucoup mieux aux conditions économiques actuelles du marché de l'alcool, qui conduisent à pousser au maximum la production de levure et à réduire au minimum la production de l'alcool.

Conservation de la levure.

La levure pressée se conserve très difficilement à l'état humide. Quand on veut l'expédier à de grandes distances et la conserver longtemps, il est nécessaire de la dessécher. Beaucoup de méthodes ont été préconisées dans ce but. Le procédé Kieselwalter consiste à mettre la levure en contact avec de l'alcool pendant quelques heures, puis à presser cette levure et à la dessécher dans un courant d'air. La poudre obtenue est conservée dans des bouteilles bien fermées. Dans le procédé Reinke, on enveloppe la levure dans du papier buvard stérile, et on passe la masse au rouleau entre des feuilles d'amiante desséchées et stérilisées. L'humidité est ainsi absorbée ; on complète la dessiccation sur des plaques de plâtre et on enferme la levure dans des boîtes en fer-blanc.

On a également tenté de dessécher la levure pressée en la mélangeant avec des substances qui absorbent l'humidité et en desséchant ensuite la masse à basse température. Balling mélange la levure avec de la farine et du noir animal ; on peut également employer le plâtre (Pasteur), le houblon,

le charbon de bois pulvérisé, etc. MM. Boidin et Collette ont préconisé l'emploi de la fécule anhydre. La levure est réduite en petites boules, mélangée d'abord de fécule ordinaire et placée ensuite dans des sacs en coton qu'on soumet à la dessiccation par la fécule anhydre dans des tambours rotatifs. On obtient ainsi une levure tout à fait sèche, qui se conserve parfaitement et garde pendant très longtemps son pouvoir fermentescible.

VII. — FERMENTATION DES MOÛTS DE CANNES A SUCRE, DE FRUITS, DE MIELS ET DE MATIÈRES DIVERSES.

Fermentation des moûts de cannes à sucre. — La canne à sucre porte à sa surface un grand nombre de levures et de ferments étrangers. Le jus de cannes abandonné à lui-même entre donc en fermentation spontanée. Aussi, très fréquemment, les moûts de cannes, préparés comme nous l'avons exposé plus haut, ne sont pas ensemencés par les producteurs de rhum de vesou. Parfois la fermentation débute franchement; les ferments de maladie ne peuvent se multiplier que faiblement par suite de la vigueur de la fermentation alcoolique, et on obtient un bon rendement en alcool. Mais il arrive souvent que les microbes nuisibles prennent possession du moût avant que la levure se soit développée, le liquide s'acidifie et le rendement diminue souvent de moitié en même temps que la qualité du produit s'abaisse.

Quand la fermentation est bonne, elle dure de trois à quatre jours. Le départ a généralement lieu

à la température de 28 degrés, mais par suite de l'activité de la fermentation, cette température s'élève rapidement à 38-40 degrés, ce qui présente de gros inconvénients au point de vue du rendement. On ne peut pas songer à refroidir les cuves artificiellement à cause du manque d'eau froide : le meilleur moyen de lutter contre l'élévation de température consiste à employer des cuves de petites dimensions, contenant, par exemple, seulement 20 à 30 hectolitres.

Quand la fermentation est mauvaise, elle dure six ou huit jours, l'acidité augmente et le rendement en alcool est d'autant plus faible que la fermentation a été plus longue.

Les deux exemples suivants, empruntés à M. Pairault, indiquent les caractères du moût en bonne et en mauvaise fermentation.

Bonne fermentation.

	CHAR- GEMENT	APRÈS			
		12 heures	24 heures	48 heures	60 heures
Densité	1,047	1,043	1,038	1,000	0,995
Acidité en SO^4H^2 p. 100.	0,22	0,25	0,26	0,42	0,44
Alcool en v. p. 100.	0	1,65	2,2	6,6	7,1
Sucre total p. 100..	13,1	10,5	10,0	1,08	0,25
Extrait sec p. 100. .	14,2	11,4	11,2	3,01	2,1
Température. . . .	29°	32°	34°	38°	39°
Rendement théorique : 8 l. 200 d'alcool pur par hl. de moût.					
— obtenu : 7 l. 700					
Perte à la fermentation : 1 l. 100					

Ces chiffres montrent l'importance de la bonne marche de la fermentation au point de vue du rendement.

Mauvaise fermentation.

	JOURS							
	1 ^{er}	2 ^e	3 ^e	4 ^e	5 ^e	6 ^e	7 ^e	8 ^e
Densité . . .	1,050	1,035	1,015	1,009	1,007	1,005	1,005	1,005
Acidité en SO ⁴ H ² p. 100..	0,25	0,58	0,70	0,74	0,78	0,79	0,81	0,83
Alcool en vo- lumesp. 100	traces.	2,0	4,1	4,8	5,4	4,9	4,9	4,7
Sucre total p. 100. . .	11,6	6,70	2,63	0,99	0,71	0,32	0,25	traces.
Extrait sec p. 100. . .	13,6	10,4	6,1	5,02	4,67	3,50	3,60	"
Rendement théorique : 7 l. 077 d'alcool pur par hl. de moût.								
— obtenu : 4 l. 700								
Perte à la fermentation : 2 l. 307								

L'ensemencement des moûts de cannes au moyen de levures sélectionnées bien appropriées peut rendre, sous ce rapport, de très grands services. Mais il est indispensable d'employer des levures de cannes qui seules peuvent donner l'arome qui fait la valeur du produit. Il est facile de sélectionner ces levures en isolant, par les méthodes bactériologiques usuelles, les ferments alcooliques d'une cuve de vesou dont la fermentation a été très bonne. Les laboratoires scientifiques peuvent d'ailleurs fournir des semences de levures excellentes sous ce rapport. Voici comment M. Pairault conseille d'opérer. La multiplication de la levure envoyée en petite quantité par le laboratoire se fait d'abord dans une dame-jeanne en verre remplie de moût de cannes stérilisé par ébullition, et refroidi dans la bouteille. Au bout de vingt-quatre heures, ce premier levain est à point, et on l'utilise pour ensemen- cer une petite cuve en bois, d'un volume dix fois plus grand, et

remplie de moût stérilisé. Vingt-quatre heures après, ce deuxième levain est prêt et sert à ensemer la cuve-mère. Cette cuve est en bois; elle est munie d'un couvercle métallique, et elle est placée au-dessous d'une autre cuve semblable dite cuve à stériliser portant un tuyau pour l'injection de la vapeur et un serpentín réfrigérant. On prépare dans cette cuve du moût stérilisé, on le refroidit au point voulu; puis on fait arriver le levain dans la cuve-mère, et on fait couler peu à peu le moût stérilisé sur le levain. Au bout de vingt-quatre heures, le liquide de la cuve-mère est en pleine fermentation et on le distribue dans les cuves à raison de 10 litres par hectolitre de moût. La capacité de la cuve-mère doit donc être légèrement supérieure au dixième de la capacité totale de l'atelier, afin qu'il reste après usage, dans cette cuve, un pied de cuve d'environ 200 litres sur lequel on fait arriver de nouveau du moût stérilisé. La cuve-mère fournit ainsi une série de levains. Tous les huit ou quinze jours, on la liquide et on recommence une opération en partant d'une nouvelle semence de levure pure.

Cette méthode est applicable aux petites distilleries agricoles qui ne peuvent pas faire l'achat d'un appareil coûteux pour la production des levains. Dans les grandes rhumeries, l'emploi des appareils de Barbet ou de Fernbach, précédemment décrits, serait évidemment préférable, mais l'importance des rhumeries de vesou est ordinairement trop faible pour permettre ce mode de travail.

Fermentation des mouts de fruits. — La fermentation des cerises peut se faire différemment suivant le mode de préparation du moût. Parfois les fruits entiers, simplement malaxés, sont abandonnés

à la fermentation spontanée. Les levûres qui se trouvent à la surface des fruits se développent, et la fermentation alcoolique est terminée au bout d'une quinzaine de jours. Quand on foule les fruits au moyen de cylindres en bois, on arrose la pulpe avec un peu d'eau tiède, et on l'abandonne à la fermentation spontanée à 20-25 degrés, soit dans des cuves ouvertes, soit dans des cuves fermées. Au bout de quinze à vingt jours, on soutire le jus, on presse le marc, et on procède à la distillation du liquide alcoolique. Fréquemment, pour améliorer le produit, on conserve le liquide fermenté pendant un certain temps : le goût de noyau devient plus accentué, et le kirsch obtenu est plus aromatique.

La fermentation des prunes se fait de la même manière que celle des cerises. La masse est abandonnée à la fermentation spontanée dans des cuves ou dans des fûts. Il arrive fréquemment qu'on conserve le moût en tonneaux fermés pendant plusieurs mois avant de le distiller. Certains fabricants attendent même deux ou trois ans, et prétendent qu'on obtient, par cette méthode, des eaux-de-vie beaucoup plus claires et plus fines. Mais dans ce cas, il est important de laisser les tonneaux hermétiquement clos, pour éviter l'altération des moûts fermentés.

Les mûres, les myrtilles, les framboises, les groseilles, les figues, etc., fermentent comme les cerises et les prunes.

Dans le mode de travail décrit plus haut, on utilise la fermentation spontanée produite par les levûres qui se trouvent à la surface des fruits mûrs. Ces levûres sont souvent peu actives; la fermentation est par suite paresseuse, et les mauvais ferments s'y préparent facilement du moût. Il reste tou-

jours une proportion plus ou moins grande de sucre non fermenté, et le rendement en eau-de-vie reste faible. Aussi est-il très utile d'employer, dans cette fabrication des eaux-de-vie de fruits, les levures sélectionnées. Les levures de vin sont particulièrement recommandables, ou les levures de fruits isolées de fermentations actives de moûts de fruits. Si on ne fabrique qu'une très faible quantité d'eau-de-vie, il suffit de mélanger la levure pure fournie par un laboratoire avec les premiers fruits écrasés, et, dès que la fermentation est bien établie, on ajoute le reste des fruits. Si on doit fabriquer beaucoup d'eau-de-vie, on doit procéder à la préparation d'un levain. Pour 10 hectolitres de moût de fruits, on prépare un moût de levain composé de 10 litres d'eau, 1 kilogramme de sucre, 20 grammes d'acide tartrique et 20 centimètres cubes de maltopeptone. La maltopeptone peut être remplacée par une des formules nutritives que nous avons indiquées dans notre ouvrage consacré à la brasserie et aux hydromels (1). On fait bouillir pendant quelques minutes dans un récipient muni d'un couvercle, puis on laisse refroidir à 25 degrés, et on ensemence avec le flacon de levure pure sélectionnée. Au bout de trois ou quatre jours, le liquide est en pleine fermentation, on le déverse alors dans la cuve, et on l'incorpore aux fruits ou au jus de fruits à faire fermenter. On obtient ainsi une fermentation plus rapide et plus régulière, un rendement plus élevé en eau-de-vie, et une meilleure qualité de produit.

Fermentation des moûts de miel. — Le miel renferme très peu de levure; le pollen en ren-

(1) Voy. E. BOULLANGER, *Brasserie*, Tome II (ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE). IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

ferme davantage, mais ces levures manquent souvent d'activité. Aussi si on abandonne le moût de miel à la fermentation spontanée, le départ de la fermentation est lent et la transformation du sucre reste le plus souvent incomplète. En outre les microbes nuisibles se développent, augmentent l'acidité et diminuent la qualité du produit. Il est donc indispensable d'introduire dans le moût de miel une levure active et vigoureuse. Les levures qui conviennent le mieux sont les levures sélectionnées de vin, ou les bonnes levures de pollen, préalablement isolées et étudiées au laboratoire. On opère, pour la préparation du levain, comme pour les moûts de fruits, en utilisant un moût de levain contenant 250 grammes de miel par litre d'eau et additionné d'une formule nutritive convenable (1). Après stérilisation par ébullition et refroidissement à 20-25°, on ensemece ce moût avec la levure sélectionnée; au bout de trois jours, la fermentation est généralement très active, et on déverse ce levain dans le moût principal, préparé comme nous l'avons vu précédemment. Il est bon d'employer une proportion de levain assez forte et d'utiliser par exemple 5 litres de levain par hectolitre de moût. La fermentation est ainsi plus active, et l'invasion du moût par les microbes nuisibles est moins à craindre.

Dans ces conditions, la fermentation dure environ une huitaine de jours. Le liquide est alors soumis à la distillation.

Dans les pays où on possède quelques vignes, on peut préparer le levain au moyen du jus de raisins. On écrase une certaine quantité de raisins frais, et

(1) Voy. E. BOULLANGER, *Brasserie* Tome II (ENCYCLOPÉDIE AGRICOLE)

quand la fermentation est en pleine activité, on se sert de ce liquide pour ensemercer le moût de miel. La même méthode peut être employée avec les pommes. Il suffit de préparer du moût de pommes à raison de 10 p. 100 du moût de miel, de laisser la fermentation partir dans le moût de pommes et de le mélanger ensuite au moût de miel.

Fermentation des moûts de matières alcoolisables diverses. — Les moûts de dattes doivent êtreensemencés, car les levures sont peu abondantes sur ces fruits; on peut utiliser la levure de bière, mais il est préférable de multiplier au préalable, sous forme de levain, une levure sélectionnée, en suivant la méthode indiquée ci-dessus pour les moûts de fruits et de miels. La fermentation n'est pas très active et dure une dizaine de jours; on peut l'abréger en additionnant le moût de dattes de matières nutritives azotées (maltopeptone, sulfate d'ammoniaque, etc.).

Les moûts de caroubes fermentent avec difficulté à cause de la présence de l'acide butyrique. Il est nécessaire d'ensemencer le moût par levains préparés avec du jus stérilisé. Le travail des tiges de sorgho, des tiges vertes de maïs ne présente pas de particularités : l'emploi de levains de levures sélectionnées est ici particulièrement recommandable.

La fermentation des moûts de patates douces est analogue à celle des moûts de pommes de terre.

VIII. — EXAMEN DES LEVAINS ET DES LEVURES. ANALYSE DES JUS FERMENTÉS.

Examen des levains et des levures.

Les levains préparés soit avec la levure pure pour la distillerie de betteraves ou de mélasses, soit par la méthode d'Effront à l'acide fluorhydrique, doivent être examinés au point de vue microbiologique et au point de vue chimique. L'examen microscopique est indispensable pour se rendre compte de la pureté de la levure. Il se fait en examinant une gouttelette du liquide soit avec l'objectif 8, soit avec l'objectif à immersion. Si une faute a été commise lors de la préparation du levain et si une infection s'est produite, le microscope la révèle et le levain ne doit pas être utilisé. En outre, l'aspect de la levure renseigne sur son état physiologique : les cellules doivent être bien développées, régulières et homogènes. L'examen chimique porte surtout sur l'acidité et sur la densité. L'acidité se dose sur 20 centimètres cubes de moût, au moyen d'une solution de soude normale : elle ne doit pas sensiblement augmenter pendant la préparation du levain. La densité se prend au densimètre : elle doit être descendue au point voulu, et, en général, elle doit avoir au moins diminué de moitié, en distillerie de betteraves et de mélasses, pour que le levain soit mûr. Ordinairement, on se contente de ces caractères et on ne procède pas à une analyse chimique complète du moût de levain fermenté. Le dosage de l'alcool peut cependant dans certains cas rendre des services : il

s'effectue par une des méthodes que nous indiquons plus loin.

L'examen des levains lactiques doit se faire après acidification et après fermentation. Après acidification, on détermine le degré de concentration du moût, l'acidité totale et volatile et le degré de saccharification : on doit y joindre un examen microscopique.

La concentration se détermine au moyen du saccharomètre Balling, comme nous l'avons vu pour les moûts sucrés. L'acidité se dose sur 20 centimètres cubes de moût, au moyen d'une solution de soude normale, en employant la méthode indiquée précédemment pour les moûts de betteraves. On désigne sous le nom de degré d'acidité le nombre de centimètres cubes de soude normale nécessaires pour saturer 20 centimètres cubes de moût. On peut également évaluer l'acidité en acide sulfurique, sachant que 1 centimètre cube de soude normale correspond à 49 milligrammes d'acide sulfurique.

Le dosage des acides volatils se fait pratiquement sur 100 centimètres cubes de moût filtré, qu'on évapore dans une capsule de porcelaine jusqu'à 20 centimètres cubes. On ramène à 100 centimètres cubes et on dose l'acidité sur 20 centimètres cubes en employant la solution de soude normale. On obtient ainsi l'acidité fixe, et cette acidité, retranchée de l'acidité totale, donne l'acidité volatile. Cette méthode n'est évidemment qu'approchée, car il reste des acides volatils dans le résidu et en outre une partie de l'acide lactique disparaît par ébullition, mais elle fournit des renseignements suffisants pour la pratique. Il n'est pas recommandable de procéder ici à plusieurs évaporations successives pour éliminer complètement les acides volatils, car l'entraîne-

ment de l'acide lactique cause une erreur encore plus grande.

Le degré de saccharification s'observe au moyen de la solution d'iode qu'on fait agir séparément sur les pailles et sur le liquide filtré, comme nous l'avons vu pour les moûts saccharifiés. On ne fait pas ordinairement le dosage de l'amidon restant, du maltose et de la dextrine, mais s'il y a lieu de le faire, on emploie les méthodes que nous avons exposées à l'analyse des moûts.

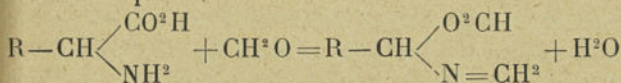
L'examen microscopique permet enfin de se rendre compte du développement du ferment lactique et de la pureté de ce ferment.

Après fermentation alcoolique, le levain doit être examiné sous le rapport de la concentration, de l'acidité, de la teneur en maltose, en dextrines et en alcool. On y joint souvent le dosage de l'azote soluble, et les déterminations de la force fermentative et de l'activité de poussée de la levure. Enfin on fait l'examen microscopique.

Le degré d'atténuation se prend au moyen du saccharomètre qu'on plonge dans le moût filtré. L'acidité se dose, comme nous l'avons vu plus haut, sur 20 centimètres cubes de moût, avec la solution de soude normale. Le maltose et les dextrines se déterminent par les méthodes indiquées à l'analyse des moûts sucrés, et l'alcool se dose par un des procédés que nous indiquerons plus loin. L'azote soluble est dosé sur le moût filtré par la méthode de Kjeldahl précédemment décrite.

Il est intéressant, surtout en fabrique de levure, d'avoir une idée de la nature des matières azotées solubles que la levure a à sa disposition dans le moût. En particulier la détermination des acides aminés

peut fournir un renseignement utile. La meilleure méthode à employer dans ce but est celle de Sørensen, dont le principe est le suivant : quand un acide aminé se trouve en contact avec l'aldéhyde formique, il y a réaction et le groupement aminé se trouve bloqué.



Le dérivé méthylénique ainsi obtenu se comporte comme un acide énergique et peut être titré par un dosage acidimétrique en présence de phtaléine. Schweitzer conseille d'opérer de la façon suivante : On fait tomber 6 gouttes de solution au centième de phénolphtaléine dans 10 centimètres cubes de moût et on amène au rose avec de la soude décime. D'autre part, on fait la même opération avec 5 centimètres cubes environ d'une solution commerciale de formol, après avoir ajouté également quelques gouttes de phtaléine. Ces deux liquides roses sont versés ensemble. S'il y a des acides aminés, la coloration rose disparaît immédiatement par l'acidification qui se produit par le blocage du groupe aminé. On verse alors avec une burette la quantité de soude décime nécessaire pour ramener la liqueur au rose. Le nombre de centimètres cubes de soude décime ainsi versés peut être pris comme mesure de l'azote aminé.

L'examen de la levure pressée commerciale comprend d'abord un examen physique : la levure doit présenter une certaine résistance au toucher, une couleur variant du blanc au crème ; l'odeur doit être agréable, la saveur aigrelette, mais non piquante.

La détermination de la floconnosité se fait en

délayant de la levure dans vingt fois son poids d'eau. Une bonne levure doit se déposer assez lentement et en poussière. Chez la levure de peptones, chez certaines aérolevures et chez toutes les levures dégénérées, ce dépôt se fait très rapidement et en flocons. Ces levures floconneuses ont généralement une faible énergie fermentative, mais elles sont surtout à redouter en distillerie et en fabrique de levure, car elles sont l'indice d'un levain épuisé et d'un mauvais travail.

L'épreuve au choc est une opération de pratique ancienne dans l'industrie de la levure. Elle consiste à observer la façon dont se comporte après le choc un pâton de levure projeté avec force sur le sol. Si le pâton reste compact et sec, on dit que la levure résiste au choc; si elle se répand en une masse humide on dit qu'elle ne résiste pas. Une variante plus pratique de ce procédé consiste à battre deux ou trois fois sur une table la levure enveloppée dans un linge et à noter le changement d'aspect que détermine cette manœuvre.

D'après Henneberg, les levures qui ne résistent pas au choc montrent au microscope des cellules contractées, à protoplasma très condensé et réfringent et cependant vivantes. Le protoplasma s'est retracté en expulsant le liquide vacuolaire. Pour avoir une levure résistante au choc, il faut ne faire que desensemencements assez abondants, éviter une récolte prématurée, aérer les cultures, ne pas maintenir la température trop basse, n'employer que des moûts moyennement concentrés et se garder de l'infection par les levures mycodermiques.

L'examen chimique de la levure pressée comprend d'abord la détermination de l'eau. On ne doit pas

opérer à 100 degrés, où la levure se liquéfie. On dessèche quelques heures à 40 degrés, puis on monte à 60 degrés et on s'y maintient jusqu'à poids constant. Les cendres se font sur 2 grammes de levure desséchée : on incinère en présence de 2 grammes de pierre ponce fine et fraîchement calcinée. L'azote se dose sur 2 grammes de levure humide, par le procédé Kjeldahl. Pour l'acidité, on pèse 10 grammes de levure, on les délaie dans 50 centimètres cubes d'eau, puis on verse 15 centimètres cubes de potasse caustique décinormale. Le milieu devient alcalin. On agite pendant cinq minutes, on laisse déposer le même temps et on titre avec de l'acide sulfurique décinormal. L'acidité est évaluée en acide lactique.

On fait enfin un examen microscopique de la levure pressée. Les cellules doivent présenter très peu de bourgeons; ceux-ci indiquent une levure récoltée avant maturité. On recherche les mycodermes, les torulas, qui sont à éviter, et les ferments lactiques qui se trouvent en petite quantité dans les levures pressées. Les cellules mortes se recherchent avec du bleu de méthylène au millième : ces cellules se colorent en bleu.

Les déterminations de la force fermentative et de la force de poussée se font ordinairement sur la levure pressée, mais on peut également les effectuer sur les levains à maturité.

On détermine la force fermentative de la levure ou du levain en délayant 5 grammes de levure pressée ou 50 grammes de levain dans une capsule de porcelaine avec quelques centimètres cubes d'une solution de saccharose à 10 p. 100 dans l'eau distillée. On introduit la masse dans un flacon, en lavant avec la solution sucrée, de manière à utiliser

en tout 400 centimètres cubes de cette solution. Le flacon est bouché par un bouchon de caoutchouc à un trou, portant un tube de dégagement muni d'un barboteur à acide sulfurique pour dessécher l'acide carbonique qui se dégage. On pèse l'appareil, on le place dans une étuve à 30 degrés, et on pèse de nouveau après vingt-quatre heures. La perte de poids donne l'acide carbonique dégagé, qui sert de mesure pour la force fermentative de la levure.

La force de poussée de la levure, désignée sous le nom d'activité, correspond à l'activité de départ de la fermentation mesurée par le dégagement d'acide carbonique dans un temps relativement court. Cette détermination se fait au moyen des appareils d'Hayduck ou de Kusserow. Dans l'appareil d'Hayduck, on place dans un flacon 10 grammes de levure avec 400 centimètres cubes d'une solution de saccharose à 10 p. 100. Le flacon est mis au bain-marie à 30 degrés. Au bout d'une heure, on ferme le flacon avec un bouchon qui communique par l'intermédiaire d'un tuyau de caoutchouc avec un tube gradué dans lequel on peut faire arriver de l'eau jusqu'au trait supérieur marqué zéro, au moyen d'un réservoir formant vase communicant avec ce tube. L'acide carbonique, qui se dégage, refoule peu à peu l'eau dans le tube gradué ; on évite l'augmentation de pression en abaissant peu à peu le réservoir de manière à maintenir toujours le liquide au même niveau dans le tube et dans le réservoir avec lequel il communique. Au bout d'une demi-heure, on arrête l'expérience, et on mesure l'acide carbonique dégagé.

Dans l'appareil de Kusserow, le flacon où on place la levure et la solution sucrée est relié à la partie

supérieure avec une boule de verre remplie partiellement avec de l'eau distillée. La pression de l'acide carbonique vient agir sur la surface de cette eau qui s'écoule, par un tube recourbé en siphon, dans une éprouvette graduée. Il s'échappe ainsi autant de centimètres cubes d'eau qu'il s'est dégagé de centimètres cubes d'acide carbonique : le volume d'eau écoulé dans la troisième demi-heure mesure l'activité de la levure.

Les bonnes levures dégagent dans ces conditions 250 à 300 centimètres cubes d'acide carbonique : les levures de qualité et de force supérieures dégagent 350 à 450 centimètres cubes.

D'après Nagel, cette méthode ne permet pas de classer les levures pressées au point de vue de leur emploi en panification. Nagel conseille de dissoudre, dans les 400 centimètres cubes de solution de sucre à 10 p. 100, 2 grammes de phosphate acide de potasse, 1 gramme de phosphate d'ammoniaque, 0 gr. 25 de sulfate de magnésie et 0 gr. 2 de sulfate de chaux. Avec cette modification on peut classer les levures pressées, sous le rapport de leur emploi en panification, en bonnes levures dont l'activité est supérieure à 1000 centimètres cubes d'acide carbonique dégagé en 2 heures, en levures moyennes, d'une activité de 1000 à 800 centimètres cubes et en levures mauvaises, dont l'activité est inférieure à 800 centimètres cubes.

Enfin l'examen microscopique du levain permet de se rendre compte de la pureté de la levure, de son état de développement et du nombre de cellules formées. Cette dernière détermination se fait dans un porte-objet à cavité sur lequel on a collé un couvre-objet très mince, dans le milieu duquel on a

pratiqué une ouverture. Le couvre-objet est divisé en carrés de 50μ de côté et représentant une surface de $0 \text{ mmq. } 0025$. La hauteur de la chambre étant de $0 \text{ mm. } 2$, chaque carré est la base d'un prisme de $0 \text{ mmc. } 0005$ de volume.

Pour effectuer l'opération, on prélève 50 centimètres cubes du liquide à examiner, bien agité, on le dilue au dixième; on mélange intimement, on prend une goutte du liquide qu'on introduit dans la petite chambre du porte-objet. On compte le nombre de globules contenus dans douze carrés, et on répète cette opération quatre ou cinq fois. On prend la moyenne des résultats ainsi obtenus, et on ramène le chiffre à un litre de moût en tenant compte du volume du prisme et de la dilution.

Analyse des jus fermentés.

Analyse des vins de betteraves. — Les principales analyses à effectuer sur les vins de betteraves sont la prise de densité, le sucre restant, l'acidité totale, l'acidité volatile et l'alcool. On doit y joindre l'examen microscopique du liquide fermenté.

La densité se prend au densimètre ou au saccharomètre. Mais il faut remarquer qu'ici le saccharomètre ne donne pas la proportion exacte d'extrait resté dans le vin. Celui-ci contient en effet de l'alcool, qui vient abaisser la densité du liquide. On n'obtient donc qu'un degré apparent, faussé par la présence de l'alcool. Le degré saccharométrique réel s'obtient en chassant l'alcool par distillation et en ramenant le liquide au volume primitif avant d'y

plonger le saccharomètre. Avec le densimètre, on obtient ainsi la densité réelle.

Le dosage du sucre restant est particulièrement important. Il se fait au moyen de la liqueur cupropotassique, après inversion, par une des méthodes que nous avons précédemment indiquées à propos de l'analyse des jus de betteraves. L'acidité totale se dose par le même procédé que celui que nous avons exposé à l'analyse des moûts. L'acidité volatile se détermine en titrant l'acidité après plusieurs ébullitions successives et concentrations au quart. On obtient ainsi l'acidité fixe, qui, retranchée de l'acidité totale, donne l'acidité volatile. Quand on veut connaître non seulement la quantité d'acides volatils présents dans le vin, mais aussi leur nature, il faut recourir à la méthode de distillation fractionnée de Duclaux (1).

Dosage de l'alcool dans les liquides fermentés. — Le dosage de l'alcool peut se faire soit par distillation, soit par l'ébullioscope, soit par la comparaison de la densité du vin avant et après départ de l'alcool. Les méthodes du vaporimètre et du compte-gouttes ne sont pas recommandables pour le dosage de l'alcool dans les vins; elles sont au contraire excellentes pour le contrôle des vinasses et nous les étudierons plus loin.

Pour doser l'alcool par distillation, on mesure 250 centimètres cubes de jus fermenté, on les place dans un ballon qu'on relie à un réfrigérant de Liebig, et on distille environ 150 centimètres cubes de liquide. On ramène exactement à 250 centimètres cubes le liquide distillé, à la température de 15 de-

(1) Voy. E. DUCLAUX, *Traité de Microbiologie*, t. III, p. 384.
IRIS - LILLIAD - Université Lille 1

grés; on le place dans une éprouvette en verre de 30 centimètres de hauteur et de 36 millimètres de diamètre et on prend le titre alcoolique à 15 degrés au moyen de l'alcoomètre divisé en 1/5 de degré. On peut également déterminer la densité du liquide distillé, par la méthode du flacon, et en déduire le titre alcoolique au moyen de tables qui donnent le degré alcoolique correspondant à la densité.

Le dosage à l'ébullioscope est basé sur ce fait que plus un liquide est riche en alcool, plus le point d'ébullition de ce liquide s'abaisse au-dessous de 100 degrés pour se rapprocher de 78°5, point d'ébullition de l'alcool pur. L'appareil se compose d'un vase en laiton portant un couvercle muni de deux ouvertures, l'une pour le thermomètre et l'autre pour le réfrigérant destiné à condenser les vapeurs alcooliques. Le thermomètre est coudé et la plaque qui le maintient porte une réglette mobile sur laquelle sont gravés les titres alcooliques de 0 degré à 25 degrés. Pour faire le dosage de l'alcool avec cet appareil, on prend d'abord le point d'ébullition de l'eau pure, correspondant à la pression barométrique au moment de l'expérience. Pour cela, on verse un peu d'eau dans la chaudière de manière que le thermomètre ne plonge pas dans l'eau et on porte à l'ébullition, sans utiliser le réfrigérant. Le thermomètre monte et se fixe bientôt à un point déterminé qui correspond à la température d'ébullition de l'eau pure. On amène le zéro de la réglette mobile en coïncidence avec ce point marqué par l'extrémité de la colonne de mercure. On vide alors la chaudière, on remplace l'eau par une certaine quantité de jus fermenté, on porte à l'ébullition en utilisant le réfrigérant et en faisant plonger le thermomètre

dans le liquide. Le niveau auquel se fixe la colonne mercurielle donne immédiatement sur la réglette le degré alcoolique du liquide essayé.

Cette méthode est très rapide, mais les résultats sont variables avec la teneur en extrait du jus fermenté, de sorte qu'ils ne sont pas rigoureusement exacts et comparables.

On peut enfin doser l'alcool en comparant la densité du jus avant et après départ de l'alcool. La densité est en effet d'autant plus faible que le liquide est plus alcoolique. Soit D la densité du jus fermenté. Après ébullition et concentration à moitié, on ramène au volume primitif et on prend la densité D' . En prenant 1 pour la densité de l'eau on a :

$$\frac{D'}{D} = \frac{1}{x} \quad \text{d'où} \quad x = \frac{D}{D'}$$

x étant la densité du liquide distillé. Il suffit de se reporter aux tables signalées plus haut, pour avoir aussitôt l'alcool correspondant.

La méthode n'est pas très exacte, à cause de la présence de l'acide carbonique qu'il est difficile d'éliminer complètement, et de la coagulation de certaines substances pendant l'ébullition et la concentration.

Examen microscopique du liquide fermenté. — Cet examen se fait sur une goutte du liquide qu'on place sur un porte-objet, qu'on recouvre d'un couvre-objet et qu'on examine au microscope, soit avec l'objectif 8, soit avec l'objectif à immersion. On contrôle ainsi la fermentation et l'aspect des levures. Les cellules de levures doivent être régulières et homogènes, bien développées, et présenter à l'intérieur un protoplasma peu granu-

leux. Les bactéries doivent être aussi peu nombreuses que possible. Si le microscope révèle une infection, il est nécessaire de désinfecter la cuverie et de rechercher quelles sont, dans le travail, les causes de l'infection afin d'y porter aussitôt remède.

Analyse des vins de mélasses et de topinambours. — L'analyse des vins de mélasses comprend les mêmes déterminations que celles des vins de betteraves et s'effectue par les mêmes méthodes.

Il en est de même de l'analyse des vins de topinambours. Toutefois, par suite de la nature des hydrates de carbone de cette matière première, le dosage du sucre doit être légèrement modifié et l'inversion doit être faite à l'ébullition pendant trois heures au bain-marie avec 5 grammes d'acide sulfurique par litre. On dose ensuite les sucres réducteurs au moyen de la liqueur cupropotassique par une des méthodes précédemment indiquées. Le dosage n'est jamais bien exact, à cause de la destruction partielle du lévulose pendant l'inversion.

Analyse des vins de matières amylacées. — Cette analyse comprend les mêmes déterminations que l'analyse des moûts de matières amylacées et s'effectue par les mêmes méthodes. On doit notamment procéder à l'examen du degré saccharométrique, à l'essai à l'iode, à la recherche de la force diastasique, au dosage du maltose, de la dextrine, de l'amidon non désagrégé et de l'acidité. On y joint le dosage de l'alcool et l'examen microscopique du liquide, qui s'effectuent comme nous l'avons vu plus haut pour les vins de betteraves.

Le saccharomètre ne donne, ici encore, qu'un degré apparent, faussé par la présence de l'alcool.

Le degré réel s'obtient en plongeant le saccharomètre dans le liquide débarrassé d'alcool par ébullition et concentration et ramené ensuite à son volume primitif. On peut également le déterminer de la façon suivante : Soit D le degré saccharométrique réel du vin supposé privé d'alcool et d la densité correspondante, D' le degré saccharométrique apparent du vin et d' la densité correspondante, donnée par les tables de Balling, enfin d_1 la densité d'un mélange d'alcool et d'eau de la même richesse que le liquide fermenté. On a :

$$d = d' + (1 - d_1).$$

La valeur d' est donnée par les tables de Balling, la valeur d_1 se déduit de la richesse alcoolique du liquide distillé et des tables qui donnent la densité correspondante du liquide. On obtient ainsi d , et les tables de Balling font connaître le degré saccharométrique réel D correspondant.

Des tables spéciales ont été ainsi dressées et donnent le degré saccharométrique réel connaissant le degré apparent et la richesse en alcool. En retranchant ce chiffre du degré saccharométrique du moût après ensemencement par le levain, on obtient la quantité de sucre qui a disparu par fermentation.

Le dosage de l'amidon restant dans les drèches peut se faire par la méthode de Kreuzer. Un échantillon moyen de drèche séchée (lavée ou non) est finement broyé au moulin. On en pèse 2 gr. 5 qu'on met en suspension dans 10 centimètres cubes d'eau et on ajoute en agitant 20 centimètres cubes d'acide sulfurique à 1,70 de densité. Au bout de quinze minutes, on amène à 100 centimètres cubes avec de l'acide sulfurique à 1,3 de densité et on

ajoute 5 centimètres cubes d'acide phosphotungstique à 8 p. 100. On agite, on filtre à clair, on prélève 50 centimètres cubes de la liqueur filtrée qu'on introduit dans un flacon bouché de 200 centimètres cubes. On refroidit dans l'eau glacée jusqu'à 1 degré, car c'est à cette température que la réaction à l'iode est la plus sensible. On ajoute alors 5 centimètres cubes d'iode centinormal, on agite, et on verse 100 centimètres cubes de benzine refroidie à 1 degré pour dissoudre l'excès d'iode non fixé par l'amidon. On agite fortement pendant une minute, on replace le flacon dans l'eau glacée, et on prélève avec une pipette 50 centimètres cubes de la solution benzénique qu'on introduit dans un flacon de 75 centimètres cubes environ. On titre avec du thiosulfate de sodium centinormal. Vers la fin du titrage, on ajoute environ 5 centimètres cubes d'une solution d'amidon et on titre jusqu'à ce que la liqueur soit incolore. Le nombre de centimètres cubes de thiosulfate employés, multiplié par 2 et retranché de 5 donne en centimètres cubes l'iode fixé par l'amidon. Chaque centimètre cube d'iode correspond à 0 gr. 025 d'amidon, et le chiffre d'iode, en centimètres cubes, donne la quantité d'amidon contenu dans 1 gr. 25 de drèche (puisqu'on a employé 50 centimètres cubes de filtrat).

Deprax a montré que le titrage de l'iode en solution benzénique se fait mal. Aussi conseille-t-il le titrage direct de la solution sulfurique d'amidon séparée de l'excès d'iode par la benzine. Dans ce cas, on suit la marche indiquée par Kreuzer (sauf le refroidissement) jusqu'à la titration à l'iode. Celle-ci se fait sur la solution sulfurique d'iodure d'amidon des 55 centimètres cubes qui forment la couche inférieure. On en prélève 25 centimètres cubes et on procède au

titrage de la solution acide colorée en bleu par l'amidon de la drèche. On fait en même temps un dosage comparatif sur de l'amidon pur. Par exemple, la drèche analysée a donné pour le titrage de 25 centimètres cubes de la solution sulfurique d'iodure d'amidon 1 cmc. 25 de solution centinormale de thiosulfate de sodium, ce qui, rapporté aux 110 centimètres cubes de la solution entière de 2 gr. 5 de drèche, correspond à 5 cmc. 5 de liqueur centinormale de thiosulfate et pour 100 grammes de drèche à 220 centimètres cubes de cette même liqueur. D'autre part, on a fait marcher un dosage identique avec 0 gr. 10 d'amidon pur. Le titrage sur 25 centimètres cubes de la solution sulfurique d'iodure d'amidon donne 0 cmc. 593 (moyenne de quatre dosages) de liqueur centinormale de thiosulfate de sodium. Pour 110 centimètres cubes, ce volume serait de 2 cmc. 61, correspondant à 0 gr. 1 d'amidon.

On a donc la proportion $\frac{2,61}{0,1} = \frac{220}{x}$, d'où $x = 8,42$ d'amidon p. 100 de drèche sèche.

Delbrück a recommandé avec juste raison l'essai de fermentation de l'extrait restant dans le jus fermenté, car ce liquide peut encore réduire la liqueur cupropotassique par suite de la présence de pentoses ou d'autres substances, sans contenir cependant de sucre fermentescible. Pour effectuer cet essai, on mesure 300 centimètres cubes de jus, on les neutralise de manière à laisser une acidité sulfurique d'environ 0 gr. 75 par litre, on chasse l'alcool par ébullition et concentration à moitié, puis on refroidit et on ramène à 300 centimètres cubes.

On prend 100 centimètres cubes de ce liquide,

on les fait fermenter pendant vingt-quatre heures avec 2 grammes de levure et on dose l'alcool formé. Cent autres centimètres cubes sont additionnés de 10 centimètres cubes d'extrait de malt et traités de la même manière. On doit enfin faire un troisième dosage sur 100 centimètres cubes d'extrait de malt afin de faire la correction des matières alcoolisables apportées par les 10 centimètres cubes d'extrait de malt dans le deuxième essai. On obtient ainsi, par le premier dosage, l'alcool provenant du sucre fermentescible, et par le second dosage, l'alcool provenant de ce sucre et des hydrates de carbone saccharifiables par la diastase. Si le premier chiffre est beaucoup plus faible que le second, on doit en conclure que la saccharification complémentaire est mauvaise et qu'il reste des dextrines non transformées.

FIN DU PREMIER VOLUME



TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE DE LA TROISIÈME ÉDITION	5
I. — Notions générales	9
II. — L'alcool. Alcoométrie.	40
<i>Alcoométrie.</i>	58
III. — Matières premières de la distillerie	65
I. — <i>Betterave.</i>	65
II. — <i>Mélasses de betteraves</i>	81
III. — <i>Mélasses de cannes.</i>	83
IV. — <i>Fruits, miels et matières sucrées diverses</i> . .	85
V. — <i>Topinambours.</i>	87
VI. — <i>Matières amylacées.</i>	88
VII. — <i>Analyse des principales matières premières.</i>	95
Analyse de la betterave, 95; — des mélasses de betteraves et de cannes, 107; — des matières amylacées	112
IV. — Préparation des moûts.	124
I. — <i>Préparation des moûts de betteraves</i>	124
Travaux préparatoires, 124. — Extraction du jus de betteraves, 132. — Principes théo- riques de la diffusion, 134. — Méthodes de traitement des betteraves à l'état de cos- settes, 137. — Méthodes de traitement des betteraves à l'état de pulpe rapée, 172. — Comparaison des divers modes d'extraction du jus de betteraves.	185
II. — <i>Préparation des moûts de mélasses de bette- raves et de cannes</i>	189
Moûts de mélasses de betteraves, 189. — Moûts de mélasses de cannes	198
III. — <i>Préparation des moûts de topinambours.</i> . .	201
Travaux préparatoires, 201. — Extraction du jus	203
IV. — <i>Préparation des moûts de cannes à sucre, de fruits, de miels et de matières sucrées diverses</i>	206

	Moûts de cannes à sucre, 206. — Moûts de fruits, 208. — Moûts de pommes, 210. — Moûts de miel, 211. — Moûts de matières sucrées diverses.	212
V. —	<i>Préparation des moûts de matières amylacées.</i>	214
	Mallage, 215. — Préparation des moûts de matières amylacées, 231. — Principes théoriques de la cuisson et de la saccharification en distillerie, 231. — Matériel employé pour la cuisson et la saccharification, 242. — Travail du maïs, 254. — Travail du seigle, de l'orge et du blé, 270. — Travail des pommes de terre, 276. — Travail des autres matières amylacées, 280. — Travail simultané des diverses matières amylacées.	281
VI. —	<i>Epulpage et refroidissement des moûts</i> . . .	282
VII. —	<i>Analyse des moûts et des pulpes</i>	293
V. —	Fermentation des moûts.	303
I. —	<i>Généralités</i>	303
	Conditions à réaliser dans la pratique de la fermentation en distillerie	316
II. —	<i>Matériel et salle de fermentation.</i>	326
III. —	<i>Fermentation des moûts de betteraves</i> . . .	334
IV. —	<i>Fermentation des moûts de topinambours.</i> .	356
V. —	<i>Fermentation des moûts de mélasses de betteraves et de cannes</i>	357
	Moûts de mélasses de betteraves, 357. — Moûts de mélasses de cannes.	367
VI. —	<i>Fermentation des moûts de matières amylacées.</i>	371
	Mise en fermentation et préparation des levains, 372. — Pratique de la fermentation des moûts de matières amylacées.	388
	<i>Saccharification et fermentation par les mucédinées</i> . .	394
	<i>Fabrication spéciale de la levure pressée.</i>	410
	Procédé viennois à moûts troubles, 411. — Procédés de fabrication de la levure en moûts clairs, 426. — Conservation de la levure.	433
VII. —	<i>Fermentation des moûts de cannes à sucre, de fruits, de miels et de matières diverses</i> .	434
VIII. —	<i>Examen des levains et des levures. Analyse des jus fermentés</i>	442
	Examen des levains et des levures, 442. — Analyse des jus fermentés.	450