donnant naissance le 1° à de la dextrane et le 2° à de la lévulane, et d'une levure, le Saccharomyces cartilaginosus Lindner. Cette symbiose a été confirmée par Monoyer, qui a décrit la levure associée sous le nom de Torulopsis Cambresieri Mon. n. sp. Le Leuconostoc se trouve dans la partie centrale des particules gommeuses, le bacille dans la partie médiane, tandis que la levure forme une croûte externe, qui protège les bactéries contre l'action de l'oxygène dissous dans le liquide.

Diverses espèces de Coccacées analogues au Leuconostoc ont été étudiées par Schöne, Zettnow, Gonnermann. Elles se différencient par leurs dimensions, leur comportement sur les milieux solides ou liquides, la nature des produits formés, etc.

Autres producteurs de gomme.

Il a été décrit divers autres microorganismes qui produisent des gommes à nartir du sucre. Mentionnons les suivants :

- Bacterium gelatinosum beta Glaser, qui forme à la surface du jus de betterave un voile glaireux, ressemblant beaucoup à celui produit par le Leuconostoc. Il liquéfie la gélatine et intervertit le saccharose. Température optima : 40°.
 - Bacillus viscosus sacchari Kramer;
- Semiclostridium commune Maassen, qui forme de la lévulane aux dépens du saccharose, mais n'attaque pas le sucre inverti.
- Bacillus levaniformans Greig Smith. Trouvé par Greig Smith (1) en 1901, dans du jus de canne et des sucres bruts au Queensland, le microbe, comme le précédent, attaque seulement le saccharose, avec production de lévulane. Il en est de même du Bacterium gummosum Ritsert.

Le Semiclostridium commune forme des gaines comme le Leuconostoc, mais les autres n'en produisent pas.

Suivant Qwen (2), les bactéries du groupe mesentericus (bacilles de la pomme de terre) : Bacillus mesentericus, B. vulgatus. B. liodermos, acquièrent la propriété, si on les cultive pendant plusieurs générations en milieux saccharosés, de transformer le saccharose en lévulane. Ces microbes, qui se rencontrent normalement dans le sol, peuvent acquérir cette propriété au voisinage des sucreries. Introduits dans les jus par la paille et les particules de terre adhérant aux cannes, ils se retrouvent dans les tourteaux de presse et les mélasses finales, car ils sont susceptibles de résister, à l'état de spores, aux hautes températures de la fabrication du sucre. Les tourteaux de presse étant couramment utilisés comme engrais et les bactéries des mélasses retournant aussi au sol lorsque ces dernières sont utilisées pour l'alimentation des animaux, il en résulte un acclimatement progressif des ferments aux solutions sucrées et une dissémination de ces organismes dans les plantations de canne.

Owen considère que de nombreux microorganismes producteurs de gomme, décrits par les auteurs comme espèces distinctes, ne sont en réalité que des formes dérivées des bactéries du groupe mesentericus. Il en serait ainsi notamment du Bacillus levaniformans, qui deviendrait le B. mesentericus levaniformans.

Ces ferments produisent de la lévulane directement à partir du saccharose: l'inversion préalable de celui-ci par la sucrase diminue et ralentit la formation de gomme. Ils préfèrent les milieux alcalins, le pH optimum variant entre 6.7 et 7 (Owen).

Production de cellulose.

Browne a signalé qu'en Louisiane, il apparaît assez couramment une fermentation aérobie donnant naissance à de la cellulane. Il se forme dans le jus

⁽¹⁾ J. Chem. Ind. XXI, 1381, 1902.

⁽²⁾ J. Bacteriology VIII, 421, 1923.

de canne des masses gélatineuses, qui peuvent peser plusieurs livres et ont une apparence stratifiée.

Les membranes constituant les strates sont de nature cellulosique. Au microscope, elles apparaissent formées par des chaînes de bactéries, entremêlées de streptocoques enrobés dans une gaine cellulosique. Les bactéries sont généralement mélangées avec des cellules de levure.

L'organisme producteur de cellulane est très semblable, sinon identique, au Bacterium xylinum.

Fermentation par les mucédinées.

On a signalé la présence dans les mélasses de canne de nombreuses moisissucres. Church et Thom, par exemple, ont trouvé les espèces suivantes : Aspergillus niger Van Tieghem, A. flavus Link, A. nidulans Winter, Aspergillus sp. (bleu); Citromyces spp., Penicillium expansum, P. diverticatum, P. luteum, P. roseum, P. purpurogenum.

Les moisissures se développent, d'autre part, en parasites sur les sucres, parfois même sur les cuves et les murs des distilleries mal tenues.

Ces organismes attaquent les aliments les plus divers. Ils peuvent notamment brûler les sucres, en donnant du gaz carbonique et de l'eau. Entre ce terme final et les composés ternaires, on trouve divers corps intermédiaires, correspondant à des oxydations incomplètes : acides gluconique saccharique, oxalique, citrique, etc. Ces acides n'apparaissent d'ordinaire que d'une façon fugace et sont bientôt brûlés à leur tour. Mais dans certaines conditions, ils peuvent demeurer dans le liquide et contribuer à la formation du bouquet.

Parmi les produits les plus intéressants de cette fermentation par les moisissements sont : l'acide oxalique, qui apparaît surtout dans les milieux riches en azote et en sucre (15-20 %), et l'acide citrique, que l'on produit maintenant industriellement par fermentation des mélasses (procédé Cahn).

Certaines moisissures, appartenant principalement à la famille des Mucoracées, peuvent saccharifier les matières amylacées et même, dans certaines conditions, donner de l'alcool. Elles sont à la base des processus de fermentation pratiqués en Extrême-Orient. Elles jouent, dans cette partie du monde, le même rôle que le malt en Europe.

- Il y a lieu de signaler particulièrement les espèces suivantes:
- Mucor (Amylomyces) Rouxii Wehmer, ferment du levain annamite (mên), utilisé dans la préparation de l'alcool de riz annamite ou Ru'o'on (vulgairement choum-choum). On le trouve aussi dans le levain employé en Chine
- Aspergillus (Eurotium) oryzae Cohn, ferment du levain japonais (koji). employé dans la fermentation d'une bière de riz (saké).
- Mucor Prainii Chodat et Nechitch, rencontré dans les levains de l'Inde (ranu, murcha).
- Mucor oryzae Went, Mucor javanicus Wehmer et Rhizopus oryzae Went et Prinsen-Geerligs, microorganismes du ragi, levain utilisé aux Indes Néerlandaises, dans la préparation de l'arak de Batavia.

Ces moisissures, vivant en aérobiose, transforment l'amidon des grains de riz en glucose. Certaines d'entre elles (M. Rouxii, M. javanicus, etc.), quand elles sont cultivées en anaérobiose, peuvent aussi produire de l'alcool, mais en faibles quantités (5 à 7 % d'alcool au maximum) et très lentement. La transformation du sucre en alcool est surtout l'œuvre des levures, qui existent toujours en abondance dans les levains d'Extrême-Orient.

On a aussi utilisé en Europe les propriétés des Mucors en distillerie de matières amylacées, et plus particulièrement dans la fabrication de l'alcool de grains (procédé Amylo, mis au point par Collette et Boidin). On la d'aborti employé l'Amylomyces Rouxii, puis divers autres Mucors plus actifs ou plus résistants (Mucors B, Boulard, Delemar, etc.).

Fermentation nitreuse.

La fermentation nitreuse est assez fréquente en distillerie de jus et de mélasse de betteraves. Elle résulte du développment de bactéries réductrices, qui décomposent les nitrates du moût, en donnant surtout de l'azote gazeux et des nitrites. Ces derniers sont eux-mêmes décomposés par les acides avec production de bioxyde d'azote, lequel se transforme au contact de l'air en vapeurs rutilantes de peroxyde d'azote : la cuve se couvre de bulles jaunâtres. Les ferments butyriques peuvent également provoquer, grâce à l'hydrogène qu'ils dégagent, la réduction des nitrites en nitrates et la formation de peroxyde d'azote.

La fermentation nitreuse n'a pas été signalée en distillerie de cannes, Bassières (1) a cependant noté à la Martinique un cas de « fermentation nitriforme », où les cuves se couvraient de grosses bulles d'un jaune rouille et d'une sorte de crasse de même couleur. Il n'a pu mettre en évidence la présence de nitrites.

⁽¹⁾ in Kervégant - L'industrie rhumière à la Martinique, Bull. Agr. Martinique 11, 29, 1933.

CHAPITRE IV

LES LEVURES (1)

On groupe vulgairement sous le nom de levures tous les microorganismes qui, placés dans une solution sucrée, donnent naissance à de l'alcool et à du gaz carbonique, c'est-à-dire déterminent la fermentation alcoolique.

Au sens botanique du mot, on désigne ainsi des champignons unicellulaires, présentant des formes ovales ou rondes, se multipliant par bourgeonnement ou par scissiparité et produisant des ascopores (Guilliermond). Les levures constituent la famille des Saccharomycetacées, laquelle forme avec celle des Endomycétacées, le groupe des Protoascées, ou Ascomycetes inférieurs.

A côté de ces levures bien caractérisées, il en est d'autres qui ne donnent jamais d'asques. Il est difficile de préciser si ce sont des levures vraies ayant perdu leur pouvoir de produire des spores, ou si elles représentent des formes dérivées de champignons plus élevées et fixées à l'état de levures. Aussi les classe-t-on dans un groupe provisoire, désigné sous le nom de Non-Saccharomycétacées.

Enfin, il existe des champignons myceliens qui peuvent donner naissance par bourgeonnement à des cellules ayant la forme de levures, susceptibles de se multiplier à leur tour pendant plusieurs générations par bourgeonnement. Chez d'autres champignons, le mycelium se désarticule en cellules rectangulaires (arthrospores), capables de continuer à se diviser par cloisonnement transversal comme les Schizosaccharomyces. On désigne habituellement ces organismes sous le nom de champignons à forme levure.

Les levures sont très répandues dans la nature : on les trouve dans l'air, le sol, à la surface des végétaux (fruits, feuilles, etc.), surtout lorsque ceux-ci renferment du sucre. Dans les régions froides et tempérées, elles hivernent dans le sol, mais sous les tropiques elles persistent à longueur d'année sur les plantes. On les rencontre notamment à la surface des tiges de canne, représentées par de nombreuses espèces (Saccharomyces, Torula, etc.) et accompagnées de moisissures (Aspergillus, etc.) et de bactéries (acétiques, butyriques, lactiques).

Morphologie, développement et composition.

Les levures se présentent sous la forme de cellules généralement isolées, très polymorphes (rondes, ovales, elliptiques, en forme de citron, de poire, de bâtonnet, etc.) mesurant de 1 à 9 mus de long sur 1 à 5 mus de large. Forme et dimensions varient avec l'âge de la levure et le milieu de culture : l'acidité par exemple détermine l'allongement des cellules, tandis que l'oxygène les fait devenir ovales ou globuleuses. Aussi n'est-il pas possible de se baser uniquement sur les caractères morphologiques pour identifier les espèces. Il y a cependant souvent dans une culture une forme prédominante, parfois caractéristique (levures apiculées, torulas, etc.).

La reproduction des levures s'opère le plus souvent par bourgeonnement, mais elle peut aussi se faire par scissiparité ou par sporulation.

Dans la multiplication par bourgeonnement, il se forme, à la surface des

⁽¹⁾ Guilliermond (A) et Tanner (F. J.) - The Yeasts, New-York, 1919.

globules de levure, un petit bourgeon, qui grossit peu à peu et prend bientôt les dimensions de la cellule mère. Le noyau se divise par amitose. Les jeunes cellules se détachent avant d'avoir atteint leur complet développement, ou restent encore quelque temps adhérentes; puis chaque cellule se met à proliférer à son tour. Lorsque les globules demeurent unis en paquets rameux ou chapelets pouvant avoir 15-20 cellules, on a une levure haute, qui monte à la surface des moûts, soulevée par le gaz carbonique, et y forme une sorte de chapeau. Quand, au contraire, les globules sont isolés ou réunis deux par deux, ils constituent une levure basse, qui demeure au fond des cuves de fermentation.

Les levures du genre Shizosaccharomyces sont caractérisées par leur multiplication par scissiparité: la cellule s'allonge et, après avoir atteint une certaine taille, forme une cloison médiane, diversement dirigée, qui la divise en deux cellules filles. Celles-ci peuvent se séparer immédiatement ou rester unies pendant quelque temps, constituant des excroissances en forme d'outres très allongées. Dans certaines conditions (insuffisance d'air notamment), elles ont une tendance marquée à rester adhérentes et à constituer des chaînes ramifiées

La fermentation terminée et le liquide étant devenu immobile, les globules de levure peuvent continuer à se développer en aérobiose : ils viennent former à la surface du liquide un voile, une couronne ou un anneau sur la ligne de contact de cette surface avec le récipient. Les conditions de formation du voile (rapidité, températures limites, etc.), ainsi que l'aspect de celui-ci, constituent des caractères permettant de différencier les espèces. Dans certains cas, le voile apparaît dès le début de la fermentation (Willia, Mycoderma, etc.); dans d'autres, il ne se forme pas du tout.

Les spores sent les organes de résistance des levures vis-à-vis des agents extérieurs. On admet, avec Hansen, qu'elles ne se forment qu'à partir de cellules jeunes et vigoureuses, placées dans des conditions alimentaires défavorables, en présence d'oxygène et entre certaines limites de température, variables d'ailleurs avec les races de levure. On trouve des spores dans les voiles, et on peut les obtenir facilement en plaçant de la levure jeune bien nourrie, en masse pâteuse sur certains milieux solides. Le nombre de spores par cellule, ou asque, varie entre 1 et 12; il est souvent caractéristique d'une race ou d'une espèce de levure. Leurs dimensions vont de 1.5 à 5 mus. Les ascopores sont d'ordinaire sphériques ou ovales, mais elles présentent parfois des formes caractéristiques: hémisphériques, triangulaires, limoniformes, etc. Le mode de germination des spores est aussi quelquefois caractéristique de l'espèce.

Chez certaines levures, l'asque résulte de la copulation de deux cellules, de dimensions égales (isogamie) ou inégales (hétérogamie). Dans le premier cas, deux cellules semblables s'unissent l'une à l'autre par un mince canal; les spores se forment dans les deux renflements de l'asque, qui présente l'aspect d'une haltère. Dans le deuxième cas, une petite cellule s'unit par un canal à une grande cellule; le contenu de la première émigre dans la seconde, où naissent les ascopores.

La conjugaison isogamique s'oberve dans les genres Shizosaccharomyces et Zygosaccharomyces; la conjugaison hétérogamique dans les genres Debaryomyces, Nadsonia et quelques Zygosaccharomyces. On trouve d'ailleurs des cas intermédiaires entre l'iso et l'hétérogamie. Certaines levures (Schwanniomyces, Torulaspora) présentent seulement des vestiges de sexualité : les cellules peuvent faire plusieurs tentatives pour s'unir, sans y parvenir, et donnent naissance à plusieurs filaments, qui s'irradient autour d'elles. Enfin, dans quelques espèces (S. Ludwigii par exemple), il se produit, lorsque la conjugaison n'a pu avoir lieu au moment de la formation des asques, une copulation entre ascopores (parthénogamie).

La composition chimique des levures est fort variable selon les conditions de culture et la race étudiée. Pour une levure donnée, elle se modifie aussi, du moins quantitativement, au fur et à mesure de la fermentation.

La teneur en eau est toujours élevée et voisine de 70-75 %. La composition de la matière sèche varie entre les limites suivantes :

 Les glucides les plus importants sont le glycogène, matière de réserve dont la quantité peut atteindre 38 % en fin de fermentation, et une mannane que l'on trouve dans la membrane cellulaire.

La teneur en matières grasses atteint généralement 2 à 5 % de la matière sèche. Elle peut cependant s'élever à 20 % dans les vieilles cultures dégénérées et même, pour certaines races, jusqu'à 50 %. Les graisses de la levure sont constituées principalement par les esters des acides palmitique, laurique, linolique et arachidique. On y trouve aussi en petite quantité des lécithines et des phytostérols (ergosterol).

Les matières azotées, ou protides. sont formées, dans la proportion de 90 %, par des protéïnes vraies (cerevisine, zymocaseine) et des nucléines. Les matières azotées non protéïques comprennent des peptones, des amino-acides (leucine, valine, lysine, etc.), et des amides (xanthine, hypoxanthine, guanine) Meisenheimer (1), qui a étudié les matières azotées de la levure par hydrolyse en présence de toluène, a trouvé, parmi les produite de dégradation des protéïnes, tous les amico-acides communs, y compris la glucosamine, dont on n'avait pu jusqu'alors déceler la présence. D'après cet auteur, l'azote de la levure se répartirait comme suit :

N ammoniacal	11 9	70
N des bases nucléiniques	7 -	
N de l'arginine-histidine	22 -	
N de la lysine-choline	4 -	-
N des acides monoaminés	56 -	-

Quant aux matières minérales, elles cont constituées principalement par de l'acide phosphorique (45 à 60 % des cendres), de la potasse (30 à 40 %) et de la magnésie (4 à 8 %). On y trouve aussi, mais en petites quantités, de la chaux, de la soude, de la silice, du fer, du soufre et du chlore. La proportion des diverses matières ci-dessus varie d'ailleurs dans de larges limites, suivant la composition chimique du milieu dans lequel s'est développée la levure. Cette observation s'applique surtout à la chaux et à la magnésie, qui peuvent être très abondantes ou en quantités très faibles.

Nutrition des levures.

Comme tous les êtres vivants, la levure a besoin, pour son entretien et son développement, de matières azotées, hydrocarbonées et minérales. Il importe d'ailleurs de distinguer l'action de ces substances sur la multiplication de la cellule d'une part, et sur la fonction zymasique, c'est-à-dire sur la fermentation, d'autre part. Il y a fréquemment antagonisme entre la fonction végétale et la fonction ferment.

Matières minérales.

Le rôle que jouent les matières minérales vis-à-vis de la multiplication des levures a d'abord été étudié par Mayer (2). Cet auteur a constaté que le milieu nutritif le plus favorable avait la composition ci-après, qui correspond à peu près, en ce qui concerne l'équilibre des divers éléments minéraux, à celle des cendres de la levure :

Phosphate	monopotassic	lue	 	 	 	 	 	5.0	gr.
A SECURE OF THE PROPERTY OF TH	magnésie								
hosphate									-
Nitrate d'a								to make	-
			 	 		 	 	15.0	
	e		SE LANGE			22 7.00	The state of the s	4 000	cq.

Les phosphates et la potasse ont une importance capitale dans la nutrition de la levure. Le soufre est également indispensable.

La chaux et la magnésie, qui ne peuvent se remplacer l'une par l'autre,

⁽¹⁾ Woch. Brauerei XXXII, 325, 1915.

⁽²⁾ Lehrbuch der Gärungschemie. 5° éd. 1902.

ne paraissent pas absolument nécessaires, mais jouent cependant dans le chimisme interne de la cellule un rôle qui les rend extrêmement utiles. Seifert a, en effet, constaté que la levure dégénère rapidement dans les milieux privés de chaux. Hayduck et Kenneberg ont aussi observé que, placées dans une solution de sucre pur, les levures de bière meurent très vite, mais que si l'on ajoute au milieu une petite quantité de sels de chaux, leur vitalité est beaucoup plus grande. Il est probable que la mort des cellules est déterminée par la formation à l'intérieur de celles-ci d'acides, qui se trouvent neutralisés en présence de la chaux ou des autres alcalis.

Mayer considérait les sels de fer comme inutiles. Cependant d'autres auteurs (Molich, Wehmer) estiment qu'ils exercent une action favorable sur la multiplication de la levure.

Les phosphates et le soufre ont également une influence considérable sur la fonction zymasique. Elion a pu constater que le phosphate monopotassique et le phosphate neutre d'ammoniaque produisaient une augmentation du dégagement d'acide carbonique, qui varie, pour un temps donné, entre 23 et 63 % suivant les levures. Harden et Young ont montré que les phosphates solubles, jouent un rôle essentiel dans l'action de la zymase alcoolique.

Stern a observé que, dans un milieu nutritif complètement privé de soufre, on ne peut obtenir la fermentation complète du sucre. Mais si l'on ajoute du sulfate de Ca et du sulfate du Mg, la transformation du sucre est intégrale.

Quand ils dépassent une certaine proportion dans le milieu de culture, les éléments minéraux n'interviennent plus utilement dans la nutrition de la levure, ni dans la fermentation. Stern a observé qu'au delà de 250 mgr. par litre de solution sucrée (additionnée de 250 mgr. d'azote sous la forme d'asparagine), il n'y a plus accroissement de la quantité d'azote assimilé, du poids de levure ni du sucre consommé.

Indépendamment des éléments ci-dessus, reconnus indispensables au développement et à la fonction zymasique de la levure, il est d'autres sels minéraux qui, à doses modérées, exercent une action favorable. On a ainsi reconnu que le pouvoir ferment étant augmenté par de petites doses de sels de manganèse (Kayser et Marchand), de protochlorure d'étain et de sous-nitrate de bismuth (Gimel), de sulfate de cuivre et de cyanure de sodium (Hildebrandt et Boyce), etc... Les sels d'aluminium ont aussi une légère action stimulante sur la fermentation et la multiplication cellulaire (Sikes), tandis que ceux de lithium sont nuisibles.

Matières azotées.

Les protéines proprement dites (albumines, caséine, fibrine), non diffusibles à travers les membranes cellulaires, constituent de mauvais aliments azotés. Suivant Pasteur et Mayer, les levures ne peuvent assimiler l'albumine du blanc d'œuf ni la fibrine du sang. Dans certaines conditions toutefois, les matières azotées complexes pourraient être utilisées. Ainsi, Boullanger a constaté que le lait, ensemencé avec certaines levures, se coagule peu à peu et qu'au bout de quelques mois le coagulum se liquéfie, avec formation de sels ammoniacaux, de tyrosine et de leucine : il y a donc eu dissolution et digestion de la caséine.

Les albumines et les peptones constituent, par contre, de bons aliments pour la levure. Duclaux (1) a montré que les matières azotées contenues dans l'eau de levure, et qui sont constituées surtout par des peptones, auraient même sur la multiplication des cellules une action plus favorable que les sels ammoniacaux. Hayduck, expérimentant avec l'asparagine et la peptone, a constaté que cette dernière favorisait beaucoup plus la multiplication de la levure que l'asparagine.

Les produits de dégradation plus avancée des albuminoïdes (amides, acides aminés, etc.) sont assimilés plus facilement que les albumines, L'assimilabilité varie toutefois avec la nature de ces substances. Certains amino-acides, comme la leucine, l'isoleucine, l'adénine, l'acide aspartique, sont aisément absorbés,

⁽¹⁾ Traité de Microbiologie : t. III. La fermentation alcoolique. Paris, 1905.

tandis que d'autres (histidine, choline, thymine, hypoxanthine) le sont difficilement. Parnu les amides, l'allantoine, l'asparagine et l'urée sont assimilés, mais non la créatine, la créatinine, ni l'acide succinamique.

Suivant Lindner (1), les composés dont les groupements hydrocarbonés sont en longues chaînes ouvertes (leucine, adénine, lysine) sont plus facilement absorbés que ceux à chaîne fermée (histidine, thymine, choline). La race de levure a également une grande importance : les levures les plus aérobies utilisent plus aisément les composés azotés difficilement assimilables.

Le carbone des acides aminés et des amides ne peut servir à la levure pour sa nutrition. Ehrlich a montré que l'azote était absorbé, probablement à l'état d'ammoniaque, et transformé en matière protéïque, tandis que le reste de la molécule était rejeté dans le milieu, sous forme d'alcools supérieurs. Effront a aussi signalé l'existence d'une amidase, qui agit sur les amides, en donnant naissance à de l'ammoniaque et à des acides volatils.

Les sels ammoniacaux sont très bien absorbés par les levures, ainsi que l'ont constaté de nombreux expérimentateurs (Pasteur, Duclaux, Mayer, etc.)

En présence d'un mélange d'azote ammoniacal et d'azote organique, les levures s'attaquent d'abord et de préférence aux sels ammoniacaux. Mais ceux-ci ont, ainsi que l'a montré Ducluaux, une action beaucoup plus favorable sur le fonctionnement de la zymase que sur la multiplication cellulaire. Ci-après les accroissements en levure sèche obtenue avec diverses matières azotées (Bokorny) (2):

Sels ammoniacaux	+	saccharose	=	71.8 %
		glucose		
Asparagine	+	saccharose	=	103.7 —
Acide aspartique	+		=	61.3 —
Leucine	+		=	90.3 —
Tyrosine	+		=	61.3 —
Glycine	+		=	25.8 —
Peptone	+		=	177.0 —

Contrairement à ce qui se produit dans le cas des plantes supérieures, les nitrates sont mal utilisés par la levure. Suivant Laurent, ils ne pourraient être assimilés et, en se transformant en nitrites, ils exerceraient une action toxique sur les levures. Toutefois les expériences de Kayser (3) et celles de Ferebach et Lanzerberg (4) ont montré qui si les nitrates gènent la multiplication cellulaire, ils activent l'action de la zymase et favorisent la fermentation. D'après Nicoleau (5), l'azote nitrique manifeste son action accélératrice sur la levure ferment à partir d'une concentration en nitrate d'environ 5 %, avec un optimum variable suivant le milieu, la quantité initiale de semence, la vigueur de la levure, etc.

Il résulte en définitive des études qui ont été faites sur le sujet, que les aliments de choix pour le développement et la multiplication de la leveure sont les matières azotées complexes sous forme de peptones, tandis que pour l'exercice des fonctions de fermentation, ce sont les matières azotées profondément dégralées et aussi voisines que possible de la forme d'ammoniaque.

Au-delà d'une certaine proportion, les matières azotées exercent une action défavorable sur la fermentation, Suivant Pringsheim, la quantité d'azote donnant les meilleurs résultats au point de vue du rendement alcoolique varierait, suivant les races de levure et les conditions du milieu, entre 0.004 et 0.008 %

Matières hydrocarbonées ou glucides.

Le méabolisme hydrocarboné des levures est différent, selon que celles-ci vivent en aérobiose (fonction végétale) ou en anaérobiose (fonction fermentaire ou zymasique).

⁽¹⁾ Chem. Ztg XXXIV, 1144, 1910.

⁽²⁾ Chem. Ztg. XL, 366, 1916.

⁽³⁾ C. R. CXLIV, 574 1907, CLI. 816, 1910.

⁽⁴⁾ C. R. CLI. 726, 1910.

⁽⁵⁾ Les nitrates dans la vie de la levure. Paris 1924.

En vie aérobie, la levure peut utiliser, comme aliments d'entretien, de nombreux composés organiques. D'après les recherches de Laurent (1), elle est capable d'assimiler le carbone des sels organiques (acétates, lactates, citrates, tartrates, malates, succinates), des acides organiques (citrique, tartrique, succinique lactique), de l'alcool éthylique et des polyalcools (glycérine, mannite), des sucres en C, et en C, et des corps susceptibles de donner des sucres, des glucosides ou des dextrines. Par contre, les esters, les acides gras (à l'état d'accides), les amides, le glycocolle, l'hydroquinone, la cellulose, etc. ne pourraient nourrir la levure.

Bokorny est arrivé à des conclusions à peu près semblables. Il semble, cependant, que dans certaines conditions et pour certaines espèces, les levures puissent utiliser l'alcool éthylique (Trillat, Kayser, Lindner).

Le maltose paraît être le sucre le plus facilement assimilé par la levure en aérobiose; le saccharose, le glucose, le lévulose, le raffinose le sont moins facilement, tandis que le lactose et les dextrines ne sont utilisés que dans certains cas particuliers. Il n'existe d'ailleurs pas de relation entre la fermentescibilité d'un sucre et son assimilabilité en aérobiose : le Sch. Pombe, par exemple, qui fait fermenter activement le saccharose, le glucose et le lévulose, est incapable d'assimiler ces derniers (Linjder et Saito) (2).

En vie anaérobie, ou fermentaire, la levure n'attaque plus que certains sucres et les polysaccharides donnant naissance à ces derniers par hydrolyse.

Suivant Fischer et Thierfelder (3), seuls sont fermentescibles les sucres renfermant dans leur molécule 3 atomes de carbone (ou un multiple de 3). Il semble y avoir cependant des exceptions à cette règle : les pentoses (arabinose, xylose), par exemple, peuvent être attaqués par certaines levures (Lindner). D'autre part, les trioses paraissent être transformés en hexoses avant toute fermentation. Pratiquement il n'y a guère que les 3 hexoses suivants : d-glucose, d-fructose (lévulose) et d-mannose, qui soient directement et facilement attaquables. La fermentation du d-galactose n'est obtenue qu'avec des levures acclimatées à ce sucre.

La levure manifeste une préférence marquée pour l'un ou l'autre des hexoses fermentescibles (phénomène de la fermentation élective). Dans un mélange de glucose et de lévulose, par exemple, on constate que le glucose disparaît d'ordinaire plus rapidement que le lévulose au début de la fermentation. Par la suite, le phénomène se renverse, de sorte que finalement, il reste dans le liquide un excédent de glucose. Certaines races cependant font exception : ainsi des levures de Sauternes, décrites par Dubourg, font disparaître le lévulose plus rapidement que le glucose du début à la fin de la fermentation. La propriété élective dépend aussi de la constitution du milieu de culture et de la température. Ainsi, en présence de sels de manganèse, le lévulose disparaît plus vite que le glucose (Kayser)

Les disaccharides (saccharose, maltose, lactose, tréhalose) et les trisaccharides (raffinose) ne sont attaqués que si la levure possède les diastases nécessaires pour effectuer leur hydrolyse en hexoses fermentescibles La plupart des espèces font fermenter la saccharose, beaucoup le maltose, mais peu attaquent le raffinose et le tréhalose

Quant aux polysaccharides (amidon, dextrines, inuline, etc.), ils peuvent subir la fermentation alcoolique sous l'action de certains champignons (Mucors), mais ils ne sont attaqués que tout à fait exceptionnellement par les levures. A signaler cependant que les Sch. Pombe et Sch. mellacei, par exemple, font fermenter la dextrine et l'inuline.

Pouvoir ferment et activité des levures.

On désigne sous le nom de pouvoir ferment, le rapport de la quantité de sucre consommé à la quantité de levure produite, c'est-à-dire la quantité de

⁽¹⁾ Ann. Inst. Pasteur III, 1889.

⁽²⁾ Woch. Braurei XXVII, No 41, 1910.

⁽³⁾ Ber. Deut. Chem. Ges. XXVII, 2114, 1894.

sucre que l'unité de poids de cette levure est capable de faire disparaître. Ce pouvoir varie suivant la race de levure et les conditions du milieu de culture. Certaines racés, notamment celles utilisées dans la fabrication d'alcool industriel, peuvent pousser à fond la fermentation des moûts très riches en sucre, tandis que d'autres s'arrêtent avant d'avoir transformé tout le sucre.

Le pouvoir ferment représente, ainsi que le fait remarquer Lindet (1), la somme du pouvoir végétal et du pouvoir zymase, c'est-à-dire des quantités de sucre utilisé par la levure pour son entretien et son développement d'une part; pour la fermentation de l'alcool sous l'action de la zymase d'autre part. Ces deux pouvoirs sont complémentaires, de telle sorte que le poids d'alcool formé diminue lorsque la quantité de sucre utilisé pour le fonctionnement de la vie végétale s'accroît. Lindet a montré que la part de la fonction végétale est d'au tant plus importante et celle de la fonction zymasique d'autant plus faible, que la fermentation est plus lente. Plus est faible la quantité de levure ense mencée, plus la fermentation se prolonge et plus s'abaisse le rendement en alcool. Cependant, quand on dépasse une certaine limite (1 p. 1000 de levure supposée sèche), on obtient bien une fermentation très rapide, mais alors, l'entretien et la respiration d'un nombre excessif de cellules déterminent une consommation exagérée de sucre au titre végétal.

On appelle activité d'une levure, la quantité de sucre que l'unité de poids de celle-ci fait disparaître dans l'unité de temps. Cette activité varie également avec les races de levure et avec les conditions du milieu.

Enfin une levure est dite à faible ou à forte atténuation limite, suivant que la quantité de sucres fermentescibles restant dans le moût à la fin de la fermentation est plus ou moins importante. Si on compare leur action dans les liquides sucrés de compositions diverses, les races de levure se classent toujours dans le même ordre. Ceci a permis de les grouper industriellement en levures à faible atténuation (type Saaz), à atténuation moyenne (type Frohberg) et à forte atténuation (type Logos, levure Pombe).

Le pouvoir d'atténuation d'une levure n'est pas dû uniquement à la faculté que possède celle-ci de faire fermenter les hydrates de carbone, mais encore à sa résistance aux conditions de plus en plus défavorables du milieu au fur et à mesure que la fermentation avance (augmentation d'acidité, appauvrissement du moût, etc). « En somme l'atténuation limite d'un moût ne correspond pas à la disparition de toute matière fermentescible ; l'arrêt (au moins apparent) de la fermentation est dû à un ensemble de facteurs qui freinent le phénomène de plus en plus énergiquemnt » (Van Laer).

Dans les distilleries d'alcool industriel, on donne la préférence aux levures dont le pouvoir ferment et l'activité sont élevés, c'est-à-dire qui donnent en peu de temps une forte production d'alcool. On cherche également à réaliser les conditions qui portent le pouvoir ferment et l'activité à leur maximum. Il n'en est pas toujours ainsi dans la fabrication des eaux-de-vie, où, pour obtenir des produits aromatiques, il y a souvent intérêt à ralentir la fermentation. Parfois même, dans l'industrie des boissons fermentées, il convient de s'adresser aux levures à faible atténuation, laissant dans le liquide une certaine quantité de sucre non transformé (fabrication du cidre doux, par exemple).

Diastases.

Les réactions chimiques dont est le siège la cellule vivante (hydrolyses, oxydations et réductions, condensations diverses) se font par l'intermédiaire de « catalyseurs biochimiques », appelés diastases ou enzymes.

On divise celles-ci en deux grands groupes : les diastases de digestion ou hydrolases, qui hydrolysent les aliments, et les diastases de respiration ou de fermentation, les desmolases, qui effectuent le phénomène d'oxydation et de réduction, ainsi que les ruptures de mo écules organiques.

Dans le premier groupe, on distingue les esterases, qui provoquent les phénomènes d'estérification et de saponification, les glucidases, qui hydrolysent les glucides et les nitrogénases, qui hydrolysent les protides. La plus connue des desmolases est la zymase alcoolique.