

seulement de 55 % du chiffre de Pasteur. Certaines pertes, dues à la formation d'acides et d'esters aromatiques, sont d'ailleurs inévitables. Floro, à la suite des observations qu'il a effectuées, répartit comme suit les différentes pertes :

Pertes pouvant être réduites

Alcool dans les sucres résiduaire du moût	7.65 %
» perdu par évaporation et entraînement	6.44
» dans les fonds de cuve et les débordements	1.78
» dans les vinasses	0.041
» dans les fuites, etc.	0.293

Pertes dues à la qualité

Alcool converti en acides, etc.	17.20 %
» perdu après la fin de la fermentation et avant la distillation.	9.33
» estérifié au cours de la distillation	1.80
Total	44.534

A la Martinique, le rendement en cuverie varie habituellement, dans le cas de rhumeries de mélasse, entre 65 et 80 % du chiffre de Pasteur. Il est plus élevé en distillerie de vesou, où il atteint 75 à 90 %, et même exceptionnellement 93 %. Les pertes à la distillation sont par ailleurs assez fortes. La proportion d'alcool dans les vinasses varie d'ordinaire entre 0.5 et 2 p. 1000, soit 1 à 4 % de la quantité produite (dans les appareils bien au point, la teneur en alcool de la vinasse peut cependant descendre au-dessous de 0.2 %). Il y a lieu d'ajouter les pertes dans les fonds de cuve, que l'on jette à la rivière. On admet que le rendement moyen est, en distillerie de vesou, de 100 l. de rhum à 55° par tonne de cannes manipulées.

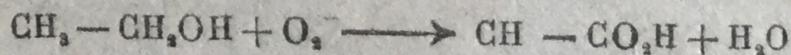
Dans les conditions très favorables toutefois, il serait possible de dépasser dans la pratique industrielle le rendement de Pasteur. C'est ainsi qu'à la distillerie de betterave de Russy Grimaud (1), en employant le procédé de récupération des levures, a obtenu par 100 Kgs. de saccharose mis en œuvre 63.83 l. d'alcool pur, chiffre à majorer de l'alcool perdu par évaporation et entraînement par le gaz carbonique (1 à 2 %) et qu'il aurait été possible de récupérer par fermentation en cuve fermée ou par lavage des gaz. Pérard (2), à la distillerie de Baleycourt, en opérant en cuves ouvertes par le même procédé de reprise des levures, a observé le rendement moyen, pour la campagne 1936-37, de 63.97 l. d'alcool pour 100 Kgs de saccharose mis en œuvre. En distillerie de mélasse de cannes, à Porto-Rico, on aurait pu, par l'application du procédé Arroyo à moûts épais, atteindre avec certaines cuves le rendement de Pasteur (Cf. Chap. V).

Fermentation acétique.

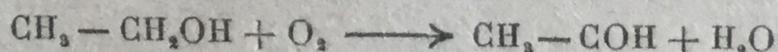
Kutzing, en 1837, attribua pour la première fois la production de l'acide acétique à l'action d'un microorganisme. Cette théorie, combattue par Liebig et Berzelius, fut définitivement établie par Pasteur en 1860. En 1906, Buchner isola des bactéries acétiques la diastase déterminant l'oxydation de l'alcool, l'oxydase.

Mécanisme de la fermentation.

La réaction qui donne naissance à l'acide acétique fut d'abord considérée comme correspondant à une simple oxydation, suivant la formule :



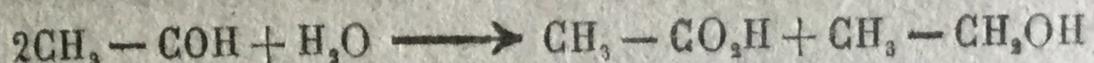
Le phénomène est en réalité plus complexe. On admet actuellement que le premier stade de l'oxydation de l'alcool éthylique serait l'aldéhyde acétique, qui a été isolée par Neuberg et Nord sous forme de combinaison sulfitique :



(1) Divers procédés de récupération de l'alcool perdu en cuverie : Procédé de récupération des levures. C. R. 8. Cong. Int. des Ind. Agr., 1935.

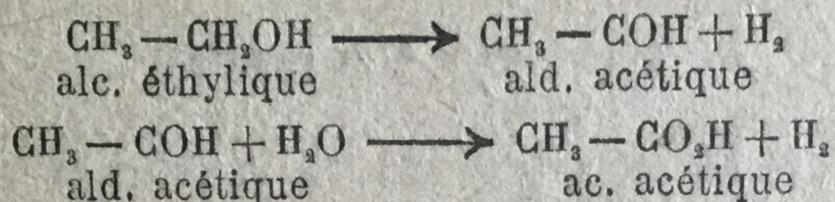
(2) Bull. Ass. Chim. LV, 212, 1933.

Il se produirait ensuite, selon Neuberg et Windisch, une sorte de réaction de Cannizzaro, donnant naissance à de l'acide acétique et à de l'alcool, lequel rentrerait dans le cycle pour être oxydé à nouveau :

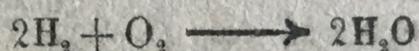


Kluyver et Donker, s'inspirant de la théorie de Wieland (1), considérant la fermentation acétique comme un phénomène d'oxydation-réduction.

La première étape serait une déshydrogénation de l'alcool, donnant naissance à de l'aldéhyde acétique, laquelle après hydratation, subirait à son tour la déshydrogénation :



L'oxygène, nécessaire à l'action du ferment acétique, interviendrait uniquement comme récepteur d'hydrogène :



On a pu effectivement obtenir la transformation de l'alcool éthylique en acide acétique par voie anaérobie, en remplaçant les bactéries acétiques par un récepteur d'hydrogène (noir de platine, palladium, bleu de méthylène).

La théorie de Kluyver et Donker permet d'expliquer la marche rapide de la fermentation. La réaction indiquée par Neuberg et Windisch demeure cependant possible, mais ne constituerait qu'une réaction annexe.

En outre de l'aldéhyde et de l'acide acétique, il se forme au cours de la fermentation acétique, des produits secondaires encore mal connus, notamment des acides fixes (lactique, succinique) ou volatils (caproïque, valérianique, etc.), et des esters (acétate d'éthyle, etc.). D'autre part, certaines bactéries oxydent complètement l'alcool, en donnant du gaz carbonique et de l'eau.

Les ferments acétiques peuvent aussi attaquer les alcools autres que l'alcool éthylique, ainsi que les sucres. Le pouvoir oxydant varie beaucoup suivant les espèces. Les alcools propylique et butylique sont transformés en acides propionique et butyrique, la glycérine en acide glycérique ou dioxyacétone. Chez les sucres, la fonction aldéhydique est transformée en fonction acide : le glucose par exemple donne de l'acide gluconique et, avec certaines bactéries, de l'acide oxalique. Le saccharose, le lévulose, et d'une façon générale les cétones ne sont pas attaqués (Bertrand et Watermann).

Ferments acétiques.

Les bactéries acétiques sont constituées par des cellules en forme de bâtonnets, fréquemment réunies en chaînes et généralement immobiles. Elles se développent d'habitude à la surface des liquides alcooliques en aérobiose obligatoire, formant des voiles d'abord minces, puis plus ou moins épais, transparents ou opaques, gras ou secs, plus ou moins plissés. A l'état jeune, le voile se laisse difficilement mouiller ; une fois vieux, il se brise facilement et peut s'immerger dans le liquide, constituant une masse mucilagineuse (*mère du vinaigre*). Elles ne forment pas d'endospores et ne liquéfient pas la gélatine.

Il existe de nombreuses espèces de bactéries acétiques, se différenciant par les dimensions et la forme des cellules, la nature du voile formé, l'aspect des

(1) D'après Wieland, l'oxydation des composés chimiques organiques (sucres, protides, graisses, etc.) dans la cellule vivante consiste dans une déshydrogénation de la molécule, sous l'action de catalyseurs biologiques (diastases) que l'on a appelés *déshydrases*. En vie aérobie, l'hydrogène libéré réagirait sur l'oxygène pour donner de l'eau, tandis qu'en vie anaérobie il serait fixé par une substance facilement réductible.

Pour Warburg, au contraire, le phénomène fondamental de l'oxydation serait l'activation de l'oxygène par des diastases spéciales (*oxydases* proprement dites).

Les deux mécanismes semblent intervenir l'un et l'autre suivant les cas, et parfois même simultanément, dans les oxydations organiques (Keilin).

colonies sur milieux solides, les propriétés physiologiques (résistance à l'acide et à l'alcool, température optima, pouvoir oxydant, etc...).

Les espèces que l'on rencontre dans les moûts de distillerie sont en général des producteurs peu puissants d'acides ; elles supportent mal l'alcool, mais sont par contre capables d'oxyder de nombreux sucres. Elles donnent le plus souvent des voiles épais.

Les jus de canne à sucre renferment plusieurs espèces de bactéries acétiques. Tanaka, à Formose, a pu isoler les suivantes, représentées chacune par plusieurs variétés : *Acetobacter (Bacterium) xylinum* Brown, *A. acetosum* Henneberg, *A. Lindneri* Henneberg ; *Bacterium aceti* Brown, *B. curvum* Henneberg ; *Gluconoacetobacter liquefaciens*, *G. Asai*.

Ashby a rencontré dans les distilleries de la Jamaïque deux espèces bien distinctes :

a) Une bactérie qui apparaît rapidement dans les moûts fermentés à acidité faible ou élevée. Elle forme un délicat voile bleu, qui devient blanc par la suite, mais en restant toujours fragile. Dans un récipient de verre, le voile monte le long des parois, au-dessus de la surface du liquide. La bactérie se présente sous l'aspect de bâtonnets assez épais, courts, réunis en chaînes de faible longueur et se colorant en jaune ou brun jaunâtre par l'iode. Elle ressemble au *Bacterium Kutzingianum* Hansen, sauf qu'elle ne se colore pas en bleu par l'iode.

b) Une bactérie qui produit à la surface des liquides un voile de consistance cartilagineuse, très résistant. Elle se présente sous la forme de bâtonnets longs et étroits, se colorant en bleu par l'iode et l'acide sulfurique et paraît pouvoir être dentifiée avec le *Bacterium xylinum*, Brown.

Le premier de ces ferments se multiplie vigoureusement lorsque le taux d'alcool est compris entre 7 et 9 %. Il donne environ 4 % d'acide acétique, au bout d'une quinzaine de jours (7.5 % au maximum). Le *B. xylinum* au contraire ne peut se développer lorsque la richesse alcoolique atteint 7° ; il produit environ 3 % d'acide acétique dans les liquides renfermant 4.5 % d'alcool. Aussi le rencontre-t-on surtout dans les jus de canne fermentés, tandis que l'espèce précédente se retrouve dans les moûts de mélasse dosant 6 % d'alcool ou plus.

D'après Watts et Tempany, l'acidification qui affecte le jus de canne fraîchement exprimé, avant que la fermentation alcoolique ne se soit développée (*surissement du jus*), serait due à l'action d'un ferment anaérobie, attaquant directement le sucre. L'acidité formée provient pour les 2/3 environ d'acides fixes et pour 1/3 d'acides volatils, parmi lesquels l'acide acétique prédomine.

Importance en distillerie.

L'acétification est une affection fréquente des moûts de distillerie. Autrefois, lorsque les conditions de son développement étaient mal connues, elle occasionnait des pertes considérables, en abaissant le rendement alcoolique et en gâtant la qualité du produit obtenu (teneur excessive de l'eau-de-vie en acide acétique).

Les principaux facteurs qui favorisent la fermentation acétique sont :

a) les températures élevées de fermentation, qui réduisent la vigueur des levures alcooliques et sont au contraire favorables aux bactéries acétiques. Les températures optima de multiplication varient en général pour ces dernières entre 30° (*Bacterium xylinum*) et 36° (*B. aceti*) ;

b) l'acidité initiale insuffisante (cas des moûts de vesou particulièrement), défavorable à l'activité de la levure ;

c) la faible teneur des moûts fermentés en alcool ;

d) l'emploi d'un levain contaminé ou le manque de propreté de la cuverie.

Les ferments acétiques, quand ils n'exercent pas une action trop prédominante, peuvent intervenir utilement dans la production du bouquet des spiritueux, surtout de ceux à arôme développé. Certaines pratiques usitées en rhummerie ont pour but de favoriser leur développement. Il en est ainsi no-

tamment du traitement préliminaire que l'on fait subir aux écumes de défécation et aux jus de canne en présence de bagasse, dans la fabrication des rhums grand arôme à la Jamaïque. Signalons aussi qu'autrefois les producteurs de rhum agricole, à la Martinique, abandonnaient parfois pendant plusieurs jours les cannes après la coupe avant de les manipuler, afin d'obtenir une eau-de-vie plus corsée.

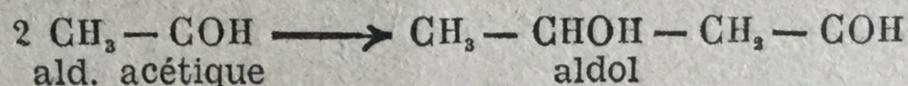
Fermentation butyrique et acétono-butylique.

Les premières observations sur la fermentation butyrique ont été faites par Pasteur (1861). La production d'alcool butylique par fermentation, signalée par Fitz dès 1876, a été étudiée par Grimbert (1893) et Beijerinck. Duclaux montra que les fermentations butyrique et butylique étaient provoquées par les mêmes organismes : lorsqu'on maintient le milieu artificiellement neutre par addition de craie, il y a production d'acide butyrique, tandis que si on laisse la culture s'acidifier librement, il se forme de l'alcool butylique normal. Enfin, en 1912, Fernbach et Schoen constatèrent qu'à côté de l'alcool butylique, il apparaît, en proportion bien déterminée, de l'acétone.

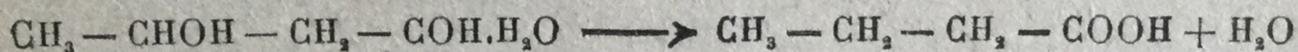
Mécanisme de la fermentation.

Le mécanisme de la fermentation butyrique est très complexe et encore mal connu.

On admet généralement que la dégradation de la molécule de sucre suit la même marche que dans la fermentation alcoolique, jusqu'au stade aldéhyde acétique. Ensuite, l'hydrogène, au lieu de se fixer sur l'aldéhyde formé, se stabilise à l'état moléculaire et se dégage du milieu en même temps que le gaz carbonique. L'aldéhyde acétique subit une condensation qui la transforme en aldol, ou aldéhyde β -oxybutyrique :

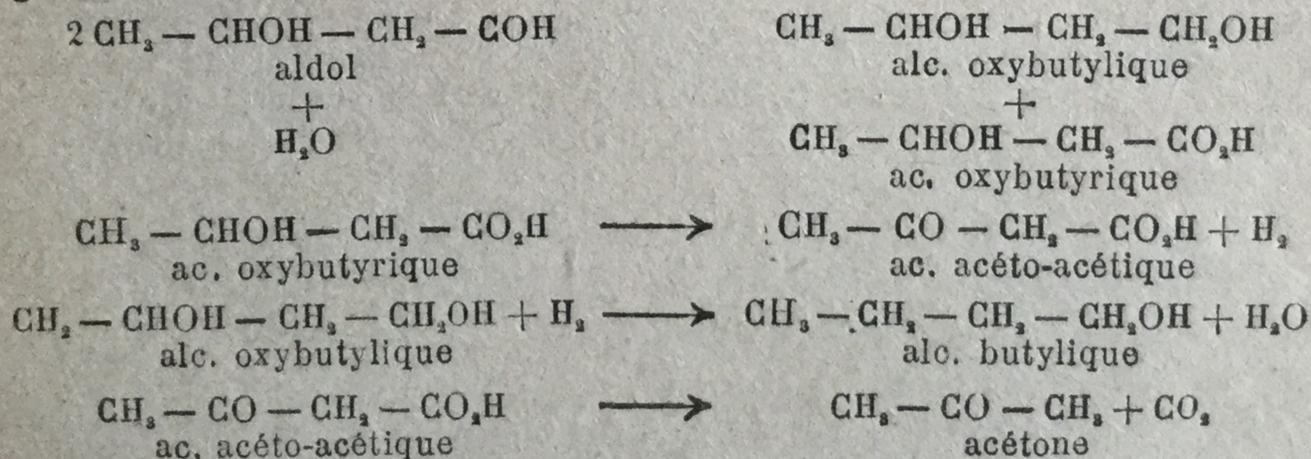


En milieu neutre, l'aldol hydraté subit une oxydo-réduction intramoléculaire, qui aboutit à l'acide butyrique :



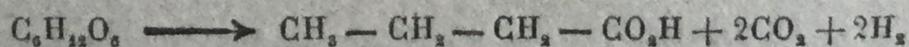
En milieu acide, il y aurait, suivant Schoen, oxydo-réduction de 2 molécules d'aldol, pour donner de l'alcool β -oxybutylique et de l'acide β -oxybutyrique, par la réaction de Cannizaro.

L'acide oxybutyrique serait transformé, par oxydation, en acide acéto-acétique, et l'alcool oxybutylique, par réduction concomitante, en alcool butylique. Enfin, par décarboxylation, l'acide acéto-acétique donnerait de l'acétone et du gaz carbonique :

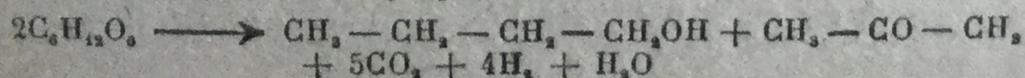


Les formules générales des réactions seraient les suivantes :

a) fermentation butyrique :



b) fermentation acétono-butylique :



En fait, ces formules ne sont pas exclusives. Il se produit, à côté du phénomène principal, des déviations de la fermentation, qui donnent naissance à des produits secondaires variés : alcools éthylique et isopropylique, acides acétique, formique, propionique, etc.. Les substances formées varient en nature et en quantité suivant le ferment considéré, la matière fermentescible, la réaction du milieu, le stade de la fermentation (au début de la fermentation acétono-butylique, il se produit toujours un peu d'acide butyrique).

A titre d'exemple, on peut donner la composition suivante des produits obtenus par Buchner et Mesenheimer (1), en faisant fermenter, par le *Bacillus butylicus* Fitz, 100 grammes de glucose en présence de craie et de sels :

Acide butyrique	26. gr
» lactique	10.0 —
» acétique	7.5 —
» formique	3.4 —
Hydrogène	1.6 —
Alcool éthylique	2.8 —
» butylique	0.7 —

Ferments butyriques.

Les ferments butyriques se présentent sous la forme de gros bâtonnets, souvent polymorphes (on trouve des formes en massue, en fuseau, etc.), mobiles. Ils sporulent aisément et se conservent longtemps et facilement à l'état de spores (même à des températures de 100-105°). Ces ferments sont généralement anaérobies, mais à côté des anaérobies obligatoires on a trouvé des anaérobies facultatifs (genre *Aero-bacillus*). Ils préfèrent les milieux neutres ou alcalins et les températures élevées (35°-40°).

Les ferments butyriques vrais utilisent comme source d'azote des composés ammoniacaux, ce qui les différencie des bactéries putréfiantes, qui s'attaquent aux matières protéiques. Il existe cependant entre ces deux groupes des formes de transition.

Les bactéries butyriques peuvent attaquer la plupart des glucides, y compris l'amidon. La cellulose toutefois n'est pas modifiée, sauf par des espèces tout à fait particulières. Les sucres sont dégradés soit par oxydation, soit beaucoup plus fréquemment par fermentation.

Les ferments butyriques sont très répandus dans la nature. On les rencontre dans le lait, les fumiers, le sol, les jus de betterave et de canne, les mélasses de sucrerie, etc. Il en existe de nombreuses espèces, se différenciant par leur action sur les divers sucres et sur les matières protéiques, par la nature, et la quantité de sous-produits qu'ils forment, etc. On peut signaler, parmi celles qui ont été le mieux étudiées, les espèces suivantes :

— *Bacillus butyricus* Pasteur. — Il détermine la fermentation du lactate de chaux, du lait ayant subi au préalable l'action du ferment lactique, de la glycérine, de certains sucres, en donnant naissance, comme produits principaux, à de l'acide butyrique, de l'hydrogène et du gaz carbonique en proportions variables.

— *Clostridium butyricum* Prazmowski. — Anaérobie et donnant surtout de l'acide butyrique ; c'est l'espèce que l'on rencontre le plus couramment dans les moûts de distillerie.

— *Bacillus butylicus* Fitz. — Il fait fermenter le saccharose, le glucose, la mannite et la glycérine, en donnant de l'hydrogène, du gaz carbonique, des acides lactique, succinique, butyrique, de l'alcool butylique et un peu d'alcool éthylique.

— *Bacillus orthobutylicus* Grimbert, qui fait fermenter les sucres, l'inuline, la dextrine et l'amidon, en donnant de l'hydrogène, du gaz carbonique, des acides butyrique et acétique et de l'alcool butylique normal.

(1) Ber, Deut. Chem. Ges. XLI, 1410, 1910.

— *Bacillus tetryl* Arroyo. — Découvert par Arroyo sur les racines de la canne *Kassoer* à Porto-Rico. Il a été utilisé industriellement pour la fabrication d'acétone et de butanol à partir des mélasses de canne.

Clostridium saccharolyticum Bergery, dont la présence a été signalée par Hall, James et Nelson dans les sirops de canne de la Barbade.

Clostridium saccharo-butyricum Arroyo. — Trouvé à Porto-Rico sur des graines de rocou et employé pour la production d'acide butyrique à partir des mélasses de canne. Il donne, d'après Arroyo, en plus de l'hydrogène et du gaz carbonique, environ 93 % d'acide butyrique normal, 4,1 % d'acide acétique, 1,9 % d'acide propionique et 1 % d'acides gras supérieurs (ac. caproïque, heptoïque, etc.). Il ne produit pas de quantités appréciables d'alcools, d'aldéhydes, ni de cétones. L'activité de la bactérie est arrêtée, lorsque la concentration en sucres du milieu dépasse 6 gr par 100 cc. ou lorsque le taux d'alcool atteint 8 % en volume. Il en est de même quand le pH descend aux environs de 4.0.

Importance en distillerie.

Les matières premières de distillerie renferment normalement des ferments butyriques, à l'état de bactéries ou, plus souvent, de spores (mélasses). L'activité de ces micro-organismes est annihilée, lorsque la fermentation est effectuée avec des levains purs ou en présence d'antiseptiques. Par contre, ils peuvent jouer un rôle important dans les fermentations spontanées, surtout quand celles-ci ont une longue durée. Leur intervention se traduit par une diminution de rendement alcoolique, et aussi par la production d'alcools supérieurs (alcools butylique normal, propylique, etc...) et d'acides volatils (acides butylique, propionique, formique, etc.), qui contribuent à la formation du bouquet des eaux-de-vie.

Allan a pu isoler dans les rhummeries de la Jamaïque et plus particulièrement des liquides provenant du « muck hole », différentes bactéries butyriques. Il a constaté que si celles-ci s'accommodent mal du jus de canne seul, elles se développent par contre vigoureusement dans les solutions de sucre additionnées de matières albuminoïdes, ainsi que dans la vinasse additionnée d'extrait de levure. Ce dernier milieu correspond sensiblement, au point de vue composition, au moût obtenu en mélangeant du vesou ou de la mélasse à de la vinasse. Les bactéries se développent bien à partir de 26°C, mais ont comme température optima 35°. Les quantités d'acides formés restent cependant assez faibles (0.3 - 0.4 %), si on ne neutralise pas le moût, au moyen de craie par exemple.

Suivant le même auteur, les bactéries prédominent dans les cuves vers la fin de la fermentation de longue durée pratiquée dans les distilleries fabriquant du rhum grand arôme, au point de faire disparaître complètement les levures du liquide fermenté. L'intervention des bactéries butyriques explique que le *fusel-oil* du rhum Jamaïque soit formé essentiellement par de l'alcool butylique normal.

Enfin, récemment, Arroyo à Porto-Rico, en faisant fermenter des moûts de mélasse de canne par la levure Pombé en symbiose avec le *Clostridium saccharobutyricum*, a pu obtenir un rhum ayant toutes les caractéristiques des rhums Jamaïque, en ce qui concerne le bouquet et la composition chimique. Cet auteur a observé qu'en cultivant la bactérie en symbiose avec la levure, la multiplication de celle-ci et la formation de l'alcool étaient considérablement accélérées. La durée de la fermentation du moût, de 70-96 heures dans le cas de la levure seule, était ramenée à 28-48 heures. L'auteur attribue ce fait à l'action de radiations émises par la bactérie et comparables aux rayons mitogénétiques de Gurwitsch (1).

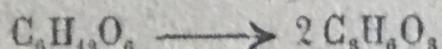
(1) Les radiations mitogénétiques, découvertes par Gurwitsch (*Arch. Mikrosk Anat. und Entz. Mech.* C, 11, 1923), sont émises par certains organismes vivants, à certains stades de développement. Elles traversent le quartz, mais non le verre et, quand elles rencontrent d'autres tissus en voie de croissance, elles peuvent agir sur eux en accélérant leur développement ou leur reproduction. Arroyo a constaté que diverses bactéries pouvaient émettre des rayons semblables, agissant sur la rapidité de multiplication et le pouvoir zymogène des levures, même lorsque la bactérie se trouve séparée de la levure par une paroi de quartz.

Fermentation lactique.

C'est Pasteur qui isola, en 1857, les premiers ferments lactiques. On distingue aujourd'hui les ferments lactiques vrais, qui produisent de l'acide lactique à peu près seul, et les pseudo-ferments lactiques, qui donnent en même temps des quantités importantes de sous-produits divers (acide acétique, alcool éthylique, CO₂, H₂, etc.).

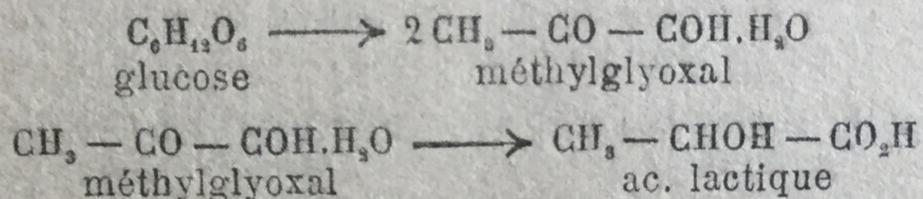
Mécanisme de la fermentation.

On pensait autrefois que la production d'acide lactique à partir des hexoses se faisait par simple dédoublement, suivant la formule :

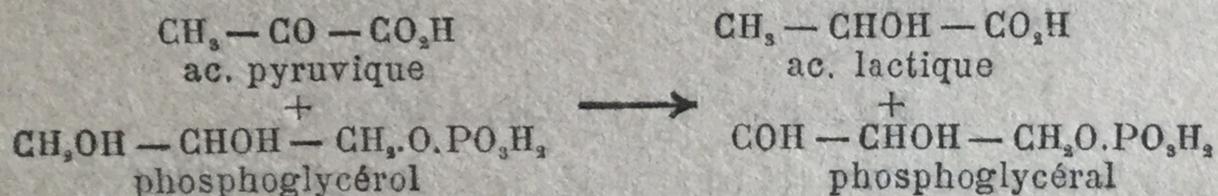


Mais, comme on a retrouvé, au cours de la fermentation lactique, plusieurs des corps isolés dans la fermentation alcoolique (hexose-phosphate, aldéhyde acétique, méthylglyoxal), on considère aujourd'hui que le mécanisme de ces deux fermentations est analogue.

Selon Neuberg, le sucre donnerait naissance, en passant par les hexose-phosphates, au méthylglyoxal hydraté. Celui-ci serait ensuite transformé en acide lactique, par oxydo-réduction intramoléculaire (provoquée par la *glyoxalase*) :



D'après Meyerhoff, la fermentation lactique pourrait être comparée à la production d'acide lactique dans le muscle, sous l'action de la *zymase lactique* (isolée du muscle en 1927). L'évolution des sucres serait la même que dans la fermentation alcoolique, jusqu'au stade acide pyruvique. Celui-ci subirait alors une oxydo-réduction, en présence de phosphoglycérol, pour donner de l'acide lactique et du phosphoglycéral :



Le phosphoglycéral ainsi formé réagirait sur une seconde molécule d'acide pyruvique, pour donner encore de l'acide lactique et de l'acide phosphorique, lequel rentrerait dans la réaction pour régénérer l'acide pyruvique.

Ce mécanisme est celui de la fermentation lactique vraie. Les transformations sont beaucoup plus complexes et très mal connues, dans le cas des pseudo-ferments lactiques, qui produisent aux dépens des sucres de grandes quantités de gaz (CO₂ et H₂) et donnent naissance à divers autres acides (acétique, succinique, formique) et à de l'alcool éthylique.

Ferments lactiques.

Ces ferments, très nombreux, se présentent sous la forme de bâtonnets de taille variable ou de cocci, isolés, réunis deux par deux (diplobacilles, diplocoques), ou disposés en chaînes plus ou moins longues (streptobacilles, streptocoques); ils sont immobiles et ne forment pas de spores.

Certaines espèces sont anaérobies, d'autres facultativement aérobies ou anaérobies, d'autres enfin indifférentes vis-à-vis de l'oxygène. Ils sont sensibles

à l'acidité ; ils ne produisent que 2 % d'acide lactique au maximum et généralement beaucoup moins. Ils préfèrent les milieux neutres. Ne sporulant pas, ils sont généralement détruits par un chauffage à 65-70° pendant 5 minutes. La température optima de croissance peut être relativement élevée pour certaines espèces (40-50° pour les bactéries du genre *Thermobacterium*), plus faibles pour d'autres (30°). Les ferments lactiques vrais exigent pour leur nutrition azotée des peptones ; les pseudo-ferments lactiques se contentent d'acides-amino ou de sels ammoniacaux. Très répandus dans la nature, ils se rencontrent dans le lait, les moûts de distillerie, le fumier, etc.

Les ferments lactiques que l'on trouve en distillerie appartiennent surtout au groupe des lactobacilles, bactéries anaérobies en forme de bâtonnets, souvent réunis par 2 ou en chaîne, capables de supporter de fortes doses d'acidité lactique et ne donnant que des traces de produits autres que l'acide lactique.

Le *Lactobacillus Delbrückii* Leichman et le *L. Lindneri* ont été isolés de mélasses de canne.

Le premier de ces organismes se présente sous la forme de bâtonnets de 2.7 μ à 8 μ de long sur 0.4-0.7 μ de large, soit isolé, soit réunis 2 par 2 ou en chaînes parfois très longues. Il ne pousse pas dans le lait et se développe surtout bien dans le moût de bière non houblonné et les moûts de distillerie. Température optima 45°. La quantité d'acide formé atteint 1,6 % au maximum. L'acidification est ralentie par 4% et arrêtée par 10 % d'alcool.

Les bactéries lactiques se rencontrent assez fréquemment dans les moûts de rhumerie (Ficker et Szügs). Elles prédomineraient dans la fermentation des écumes de défécation (Ashby). Un représentant du groupe des pseudo-ferments lactiques, le *Leuconostoc mesenteroides*, se développe facilement dans les moûts de vesou ou de mélasse à réaction neutre ou alcaline.

Les bactéries lactiques doivent être généralement considérées comme des ferments de maladie, dont le développement est favorisé par les températures de fermentation élevées, une acidification insuffisante des moûts, le manque de propreté. Cependant, les produits secondaires (acides acétique, formique, etc.) auxquels diverses espèces donnent naissance peuvent jouer un rôle utile dans la production de l'arôme.

En distillerie de matière amylacées, on a utilisé les bactéries lactiques pour obtenir l'acidification des moûts. Ceux-ci sont abandonnés à la fermentation lactique spontanée, à haute température (50-55°), ou parfoisensemencés avec un culture pure de *Lactobacillus Delbrückii*.

Fermentation mycodermique

Dans cette fermentation, qui se produit facilement si on abandonne à elles-mêmes les cuves après la fin de la fermentation alcoolique, l'alcool est oxydé complètement, avec production d'eau et de gaz carbonique.

Les agents de cette fermentation sont des levures asporogènes, du genre *Mycoderma*. Celles-ci se présentent le plus souvent sous la forme de cellules allongées, cylindriques, à protoplasme transparent et vacuolisé, montrant une tendance à rester unies en minces chaînettes. Elles sont aérobies et forment à la surface des liquides, dès le début de la fermentation, un voile plissé, rempli de bulles d'air (levures à voile).

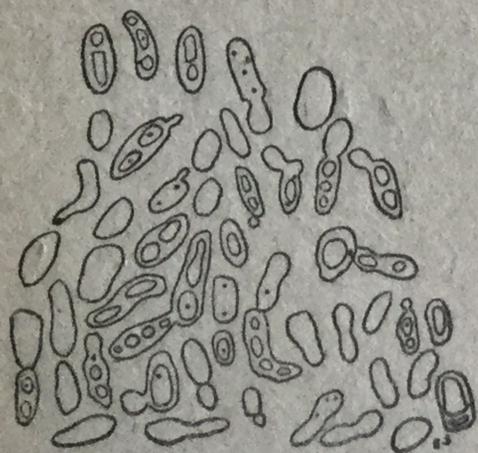


FIG. 7. — *Mycoderma cerevisiae*.
d'après Holm.

Les mycodermes sont très répandus dans l'air et vivent surtout dans les liquides renfermant de l'alcool. On en a décrit de nombreuses espèces. A signaler notamment le *Mycoderma cerevisiae* Desm. qui se rencontre dans les brasseries et altère la bière, et le *Mycoderma vini* Desm. qui provoque la fleur du vin.

Si certaines espèces ne tolèrent pas plus de 1%, d'autres supportent encore 15 % d'alcool. Les mycodermes préfèrent les milieux riches en matières organiques. Ils supportent mal l'acidité, leur multiplication étant généralement arrêtée par 2 % d'acide acétique. Ils peuvent cependant attaquer les acides organiques (acide acétique, malique, tartrique, etc.), si la concentration de ceux-ci est faible. Rarement, ils font fermenter certains sucres, en donnant un peu d'alcool.

Les principaux produits de la fermentation sont l'eau et le gaz carbonique. Comme produits secondaires, on trouve de petites quantités d'acides organiques (formique, succinique, maline, acétique, etc) et d'esters (acétate d'éthyle).

Les mycodermes, s'ils jouent un rôle nuisible en brûlant l'alcool formé, peuvent dans certains cas intervenir heureusement, en produisant des principes aromatiques. C'est à ces ferments qu'est due la saveur de certains vins de Xérès, qui vieillissent plusieurs années en fûts non remplis et couverts de *Mycoderma vini*. Signalons aussi qu'en rhumerie, pour obtenir une eau-de-vie plus « bouquetée », on laisse parfois les cuves « blanchir », c'est-à-dire se recouvrir d'un voile mycodermique, avant de procéder à leur distillation. Dans la fabrication de certains rhums à grand arôme notamment, il est de règle d'abandonner pendant 3 ou 4 jours les cuves après la fin de la fermentation alcoolique.

Fermentation putride.

Les ferments putréfiants se distinguent des ferments précédemment étudiés par ce fait qu'ils provoquent une alcalinisation du milieu : les matières azotées sont décomposées d'abord en amino-acides, puis en divers acides volatils (carbonique, sulfhydrique, acétique, propionique, butyrique, valérique etc), qui se combinent avec l'ammoniaque produit. Il y a aussi libération de produits aromatiques ou hétérocycliques. Les bactéries aérobies poussent beaucoup plus loin la dégradation que les espèces anaérobies. La nature de l'acide attaqué, les conditions de la fermentation interviennent, en même temps que l'espèce microbienne, pour modifier la nature des produits formés.

Beaucoup de ferments putrides attaquent également les sucres et certains d'entre eux, qui sont des espèces de transition avec les ferments lactiques et butyriques, donnent naissance à des acides gras libres. L'action de ces organismes sur les sucres est cependant très limitée.

On divise généralement les ferments de la putréfaction en bactéries anaérobies, qui se développent en profondeur, et en bactéries aérobies qui forment des voiles à la surface des liquides. Les premières se rapprochent des pseudo-ferments butyriques, dont elles se distinguent par leur propriété d'attaquer les matières albuminoïdes. Les secondes sont représentées principalement par les groupes du *Bacillus fluorescens*, du *B. proteus* et du *B. subtilis*.

Les bactéries fluorescentes, très communes dans l'eau, l'air et les couches supérieures du sol, sont mobiles, non sporulées, généralement gram-négatives, productrices d'indol.

Celles du groupe *proteus* sont généralement mobiles, très polymorphes et ne sporulent pas. Elles attaquent énergiquement les matières protéiques et font fermenter les sucres, avec production d'hydrogène, de gaz carbonique, d'acides acétique et succinique. La présence des ferments de ce groupe a été signalée dans la fabrication du rhum Jamaïque, et notamment dans le liquide du « muck hole » (Allan).

Le *Bacillus subtilis* Ehrenberg est un bâtonnet mobile, assez souvent polymorphe, gram-positif ; il produit des spores très résistantes à la chaleur et a comme température optima de développement 40° environ. On a trouvé dans les mélasses finales de Cuba, à côté du *B. subtilis* proprement dit, le *Bacillus vulgatus* Migula, le *B. mensentericus* Trevisan, le *B. mensentericus fuscus* Flugge, le *B. liodermos* Flugge et le *B. leviformans* Greig Smith.

Les bactéries putrides n'ont habituellement en distillerie qu'une importance très secondaire. Si on les rencontre communément dans certaines matières premières (mélasses), leur action sur les sucres et les matières albuminoïdes reste cependant très limitée, en raison de leur sensibilité aux acides ; il est rare de voir des bactéries putréfiantes résister à un pH inférieur à 4.

Dans quelques cas cependant, elles peuvent intervenir en détruisant une certaine quantité de sucre et en donnant naissance à des produits aromatiques agissant sur le bouquet de l'eau-de-vie, favorablement (production de certains acides gras volatils), ou défavorablement (production de H₂S, indol, etc). Elles joueraient un certain rôle dans la fabrication du rhum Jamaïque à grand arôme (Allan, Cousins).

Fermentation gommeuse.

Dans cette fermentation, les jus sucrés sont transformés en une masse gélatineuse et visqueuse, sous l'action de divers microorganismes qui produisent, à partir des sucres, des substances gommeuses connues sous les noms de dextrane et de lévulane. On a attribué à ces substances la même formule brute qu'à la cellulose, (C₆H₁₀O₅)_n, mais elles correspondraient, suivant certains auteurs, à des produits hydratés de composition variable.

La dextrane est une gomme incolore, qui se gonfle dans l'eau et se dissout dans les liqueurs alcalines. Elle est dextrogyre ($\alpha_D = +200^\circ$ d'après Scheibler) et donne par hydrolyse du glucose.

La lévulane présente l'aspect d'une gomme qui devient friable par la dessiccation. Elle fond vers 250°, se dissout dans l'eau chaude et donne par refroidissement une masse gélatineuse. Son pouvoir rotatoire est égal à 221°. Elle fournit par hydrolyse du lévulose. Elle ne réduit pas, non plus que la dextrane, la liqueur de Fehling.

Frai de grenouille.

Le plus connu des microorganismes producteurs de gomme est le *Leuconostoc mesenteroides* Van Tieghem, qui détermine l'affection depuis longtemps connue sous le nom de *gomme de sucrerie*, ou *frai de grenouille*. Cette maladie, signalée dès 1822 par Vauquelin dans des bouteilles de jus de canne expédiées de la Martinique en France, apparaît aussi bien en sucrerie de betterave (principalement lorsque les betteraves ne sont pas suffisamment mûres) qu'en sucrerie de canne (Java, Hawaï, Cuba, Louisiane, etc.). En Louisiane, les cannes endommagées par la gelée subissent fréquemment, à l'arrivée du temps chaud, la fermentation gommeuse.

Les jus sucrés atteints se transforment en masses gélatineuses compactes composées de grumeaux insolubles, incolores ou rosés, empâtés dans une liqueur visqueuse. Ces masses, de consistance ferme et élastique, ressemblent à du frai de grenouille.

Le *Leuconostoc mesenteroides* est un streptocoque, se présentant sous la forme de grains sphériques entourés d'une gaine glaireuse (dextrane). A l'état jeune, il affecte l'aspect d'un chapelet de petits grains entourés de gélatine, puis de longs boudins réfringents, qui se recourbent de façon irrégulière tout en conservant dans leur axe les chapelets de grains qui leur ont donné naissance. Les différents tubes, en se pelotonnant sur eux-mêmes, forment des corps muqueux, grossissant constamment, et dont la surface contournée ressemble à celle du cerveau, puis des masses mamelonnées de plus en plus volumineuses. La fermentation terminée, la gangue se ramollit et les chapelets se disloquent.

Le *Leuconostoc*, qui a été trouvé dans l'eau et dans la terre par Berijerinck, préfère les milieux alcalins ; son développement est lent dans les jus neutres ou acides. L'optimum de température est vers 36° ; toutefois, il se développe surtout activement aux températures relativement basses (inférieures à 20°), défavorables à l'action des levures (Owen).

Le *Leuconostoc* attaque le saccharose et le glucose, avec production de dextrane, de mannite et d'acides gras (lactique, etc.) ; avec le lactose et le maltose, il donne naissance à de l'acide lactique, mais sans former de gaine. Il sécrète de la sucrase, qui intervertit le saccharose.

Suivant Sacchetti, la « gomme de sucrerie » serait due à la symbiose de deux microbes, le *Leuconostoc mesenteroides* et le *Bacillus vulgatus* Migula,