



M. L. PASTEUR,

Membre de l'Institut.

Faits nouveaux pour servir à la théorie de la fermentation.

Depuis longtemps je considère les fermentations proprement dites comme étant des phénomènes chimiques corrélatifs d'actions physiologiques d'une nature particulière. Non seulement j'ai démontré que leurs ferments ne sont point des matières albuminoïdes mortes, mais bien des êtres vivants; j'ai en outre provoqué la fermentation du sucre, de l'acide lactique, de l'acide tartrique, de la glycérine, etc., et plus généralement de toutes les matières fermentescibles, dans des milieux exclusivement minéraux, preuve incontestable que la décomposition de la matière fermentescible est corrélative de la vie du ferment, qu'elle est un de ses aliments essentiels; par exemple, dans les conditions que je rappelle, il est impossible que dans la constitution des ferments qui prennent naissance, il y ait un seul atome de carbone qui ne soit enlevé à la matière fermentescible.

Quoiqu'ils nous éclairent sur la nature des ferments dont je parle, ces faits nouveaux sont loin de rendre compte du caractère propre des fermentations. Ce qui sépare ces phénomènes d'une foule d'autres et particulièrement des actes chimiques de la vie commune, c'est le fait de la décomposition d'un poids de matière fermentescible bien supérieur au poids du ferment en action.

Tant que ce caractère n'aura pas reçu une explication plausible, les phénomènes de fermentation seront enveloppés de mystère. Je soupçonne depuis longtemps que ce caractère particulier doit être lié à celui de la nutrition en dehors du contact de l'oxygène libre. Les ferments sont des êtres vivants, mais d'une nature à part, en ce sens qu'ils jouissent de la propriété d'accomplir tous les actes de leur vie, y compris celui de leur multiplication sans mettre en œuvre d'une manière nécessaire l'oxygène de l'air atmosphérique.

Souvenez-vous de ces singuliers infusoires qui provoquent la fermentation butyrique, ou la fermentation tartrique, ou certaines putréfactions, et qui, non seulement, peuvent vivre et se multiplier à l'abri du contact du gaz oxygène, mais qui périssent et cessent de provoquer la fermentation si l'on vient à faire dissoudre ce gaz dans le milieu où ils se nourrissent. Ce n'est pas tout; par des expériences précises, faites avec la levûre de bière, j'ai montré que si la vie de ce ferment avait lieu partiellement par l'influence du gaz oxygène libre, cette petite plante cellulaire perdait, en proportion de l'intensité de cette influence, une partie de son caractère ferment, c'est-à-dire que le poids de levûre qui prend naissance, dans ces conditions, pendant la décomposition du sucre, s'élève progressivement et se rapproche du poids du sucre décomposé, au fur et à mesure que la nutrition met en œuvre des quantités croissantes de gaz oxygène libre. Guidé par tous ces faits, j'ai été conduit peu à peu à envisager les fermentations comme une conséquence obligée de la manifestation de la vie, quand la vie s'accomplit en dehors des combustions directes dues au gaz oxygène libre.

La vie des organismes microscopiques, la formation de leurs tissus, en dehors de l'influence de la lumière solaire, ne peut avoir lieu sans production et consommation ultérieure de chaleur. Dans les conditions ordinaires, l'oxydation directe des matériaux d'alimentation de ces organismes fournit cette chaleur. Mais dans tous les cas de fermentation hors du contact de l'air atmosphérique, cette chaleur doit provenir de la décomposition de la matière fermentescible.

Que la matière fermentescible produise cette chaleur au profit de la vie des ferments, seule ou concurremment avec les combustions dues au gaz oxygène, le rapport du poids de cette matière fermentescible décomposée au poids du ferment formé sera plus ou moins élevé, suivant le degré d'action du gaz oxygène extérieur. Le maximum, qui sera aussi le maximum du caractère ferment, correspondra au cas de vie sans aucune participation du gaz oxygène libre. C'est, en effet, ce que l'expérience démontre. On peut entrevoir, comme conséquence de cette théorie, que tout être, tout organe, toute cellule qui vit ou qui continue de vivre sans mettre en œuvre l'oxygène de l'air atmosphérique, ou qui le met en œuvre d'une manière insuffisante pour l'ensemble des phénomènes de sa propre nutrition, doit posséder le caractère ferment pour la matière qui lui sert de source de chaleur totale ou complémentaire. Cette matière paraît devoir être forcément oxygénée et carbonée, puisque, comme je le rappelais tout à l'heure, elle sert d'aliment au ferment. Toutes les

matières fermentescibles comptent, en effet, ces deux corps simples au nombre de leurs principes élémentaires.

Je viens apporter à cette théorie nouvelle que j'ai déjà proposée à diverses reprises, quoique toujours timidement, depuis l'année 1861, l'appui de faits nouveaux qui la rendront cette fois, je l'espère, plausible pour tout le monde.

Considérons un liquide sucré, propre à la nourriture des ferments, contenu dans un vase disposé de telle sorte qu'on puisse ensemercer ce liquide avec une production organisée spéciale, sans craindre que d'autres organismes puissent venir s'y associer ultérieurement à l'insu de l'expérimentateur, par voie d'ensemencement spontané, c'est-à-dire par les germes en suspension dans l'air atmosphérique.

A la surface de ce *terrain* ainsi préparé, déposons une trace de *mycoderma vini* pur. Les jours suivants la moisissure recouvrira peu à peu tout le liquide sous forme d'un voile continu. Ceci posé, il est facile de constater que le développement du mycoderme, dans ces conditions, donne lieu à une absorption de gaz oxygène atmosphérique qui est remplacé par un volume à peu près égal de gaz acide carbonique, et d'autre part qu'il ne se forme pas du tout d'alcool (1).

Répétons cette expérience exactement dans les mêmes conditions, avec cette seule différence que, quand le voile sera continu, nous agiterons le vase pour disloquer ce voile et le submerger, autant que cela est possible, car les matières grasses dont il est accompagné, empêchent qu'il ne soit mouillé en totalité. Le lendemain, souvent même après quelques heures déjà, lorsqu'on opère à la température de 25 à 30°, on voit s'élever sans cesse du fond du vase de petites bulles de gaz, qui annoncent que la fermentation du liquide sucré a commencé. Elle continue les jours suivants, quoique toujours faible, et il est facile de constater dans le liquide la présence de quantités sensibles d'alcool. Une observation attentive, faite au microscope, des cellules ou articles du mycoderme submergé, montre que ces articles ne se reproduisent pas, mais qu'ils se gonflent pour la plupart, et que la structure intérieure de leur plasma se modifie profondément.

(1) J'ai annoncé que le *mycoderma vini* avait deux manières de vivre, qu'il était moisissure ou ferment, suivant les circonstances, et que la levûre de bière, dite *levûre basse*, n'était autre que le ferment dans lequel ce mycoderme se transformait quand il était privé du contact de l'oxygène de l'air. Ces assertions ne sont pas de tout point conformes à la vérité, ou mieux, les phénomènes qu'elles caractérisent ont une complication qui m'avait échappé. Je serai bientôt en mesure de les faire connaître dans toutes leurs particularités.

Cette observation est ici nécessaire puisque je parle du *mycoderma vini* dans des termes qui
 IRIS - Le Centre National de la Recherche Scientifique

Si la fermentation s'arrête, on peut la faire reprendre en disloquant de nouveau le voile qui s'est reformé.

L'interprétation de ces faits ne paraît pas douteuse. Dans ces deux expériences comparatives, nous avons sous les yeux des cellules qui prennent ou perdent, au gré de l'opérateur, le caractère ferment.

Or, quelle est, dans les deux circonstances, la différence des conditions d'existence pour les cellules du *mycoderma vini*? Il n'y en a qu'une qui est irrécusable. Dans le premier cas, la vie de la plante a lieu au niveau du liquide, en présence de l'air atmosphérique, ou mieux du gaz oxygène, tandis que, dans le second, elle s'accomplit hors de son influence, ou du moins au contact de quantités d'oxygène extrêmement faibles, parce que celui qui tend à se dissoudre dans le liquide est retenu par la vie des cellules restées à la surface. La vie n'est pas éteinte dans les cellules submergées, le microscope le démontre; mais cette vie se fait, ou mieux se poursuit avec privation d'air, et alors ces cellules provoquent la fermentation.

Je ne parle pas des cas où les spores semées donnent de la vraie levûre de bière; j'y reviendrai ailleurs.

Nous voyons, en un mot, dans cette double expérience: d'un côté, la vie ou la multiplication de cellules, avec absorption et mise en œuvre de gaz oxygène libre et formation d'un volume correspondant de gaz carbonique; d'un autre côté, la continuation de la vie d'une partie de ces mêmes cellules submergées, sans intervention de gaz oxygène, mais avec apparition corrélative des caractères de la fermentation alcoolique, à savoir, un dégagement continu de bulles de gaz acide carbonique et une production d'alcool.

Chose curieuse et assurément remarquable, ces mêmes expériences réussissent avec les moisissures proprement dites. Le *penicillium glaucum*, par exemple, qui vit en présence du gaz oxygène libre et qui dispose de ce gaz autant qu'il en peut consommer pour accomplir tous les actes de sa nutrition et de son développement rapide, ne produit pas du tout d'alcool; mais si, lorsqu'il est en pleine vie, on lui refuse ce gaz, si on le submerge, ou si, vivant à la surface de son substratum, on gêne l'arrivée de l'air atmosphérique, aussitôt la vie de la moisissure, les changements qui s'effectuent dans le plasma de ses spores en germination, de son mycelium, s'accompagnent de la formation de quantités d'alcool et de bulles de gaz acide carbonique, en rapport avec la durée des actes de nutrition de la moisissure dans les nouvelles conditions dont je parle.

La levûre de bière, ce type des ferments, et les autres ferments organisés que j'ai découverts nous apparaissent dès lors comme des plantes ou animaux qui ne diffèrent des organismes inférieurs

qu'en ce qu'ils ont la faculté de vivre et de se multiplier, à l'abri du contact de l'air, d'une manière plus ou moins régulière et prolongée.

Ne vous semble-t-il pas que le mystère de la fermentation se trouve dévoilé par ces résultats inattendus? Ce que nous appelons ferments organisés sont des organismes qui peuvent continuer pour un temps leur vie et même se régénérer, sans que l'oxygène libre doive nécessairement intervenir pour brûler et mettre en œuvre les matériaux de leur nutrition; des organismes, en d'autres termes, qui peuvent s'assimiler directement des matières oxygénées, le sucre, par exemple, capable de fournir de la chaleur par leur décomposition. Envisagée sous ce point de vue, la fermentation nous apparaît comme un cas particulier d'un phénomène extrêmement général, et on pourrait dire que tous les êtres sont des ferments dans certaines conditions de leur vie, car il n'en est pas chez lesquels on ne puisse momentanément suspendre l'action du gaz oxygène libre. Que l'on frappe de mort par asphyxie, par section de nerfs, etc., un être quelconque, ou un organe dans cet être, ou dans cet organe un ensemble de cellules, la vie physique et chimique ne pouvant être instantanément suspendue se poursuivra, et, si cela a lieu sous la condition de la privation du gaz oxygène libre (intérieur ou extérieur), alors l'être, l'organe, les cellules prendront forcément la chaleur dont ils ont besoin pour les nouveaux actes de nutrition, ou mieux de mutations dans leurs tissus, aux matériaux qui les entourent; dès lors ils les décomposeront, et on verra apparaître le caractère propre des fermentations, si la quantité de chaleur développée correspond à la décomposition d'un poids de la matière fermentescible sensiblement supérieur au poids des matériaux mis en œuvre corrélativement par l'être, par l'organe ou par la cellule.

Les faits suivants vous sembleront, comme à moi, la déduction logique de ces principes.

Vous connaissez le Mémoire si remarquable de M. Bérard, sur la maturation des fruits, chef-d'œuvre de sagacité et vrai modèle de la méthode expérimentale pour l'époque à laquelle il a paru. — Placez un fruit, d'après M. Bérard, dans l'air ou dans le gaz oxygène, il disparaîtra un certain volume de ce gaz, en même temps qu'il y aura formation d'un volume à peu près égal de gaz acide carbonique. Placez-le, toujours d'après M. Bérard, dans le gaz acide carbonique ou dans un autre gaz inerte, il y aura encore formation de gaz acide carbonique en quantité notable comme par une sorte de fermentation, hypothèse admise plus tard par divers chimistes, notamment par MM. Cahours et Frémy.

Voici, à mon sens, la véritable interprétation de ces faits.

Lorsqu'un fruit, et en général un organe quelconque, est séparé de la plante ou de l'animal dont il faisait partie, la vie n'est pas éteinte dans les cellules qui le composent. La maturation des fruits, en dehors de l'arbre qui les portait, en est une preuve palpable. Si l'air est présent, l'oxygène intervient et prend part aux changements qui s'accomplissent dans l'intérieur du fruit. La chaleur est fournie par la combustion qui en résulte, combustion à laquelle le sucre prend sans doute une large part, mais alors la nutrition est de l'ordre de la nutrition du fruit sur l'arbre, de la nutrition ordinaire, de celle qui s'accomplit chez les êtres vivants et qui est caractérisée par cette circonstance, que le poids des matériaux transformés ou mis en œuvre est comparable à celui des matériaux qui servent à l'alimentation. Dans ces conditions, pas plus que dans la vie du *mycoderma vini*, au libre contact de l'air, l'alcool et l'acide carbonique correspondant ne sauraient apparaître que d'une manière accidentelle. C'est alors que, pour un volume d'acide carbonique produit, un volume à peu près égal d'oxygène est consommé. C'est la combustion respiratoire ordinaire.

Que le fruit, au contraire, soit placé dans une atmosphère d'acide carbonique, la vie se poursuit aussitôt, en empruntant à la décomposition du sucre la chaleur dont elle a besoin pour se manifester ; les cellules sont alors dans la condition des cellules des ferments qui vivent en dehors du gaz oxygène libre. C'est le cas des cellules du *mycoderma vini* qu'on vient de submerger. En effet, à peine le fruit est-il placé dans le gaz carbonique, qu'avec la rapidité de l'éclair, si l'on peut dire ainsi, du gaz carbonique se produit ainsi que de l'alcool, en faible quantité assurément, mais assez grande cependant pour que, dans une de mes expériences, 24 prunes de monsieur, détachées de l'arbre et placées dans le gaz carbonique, m'aient fourni, après quelques jours, 6 grammes d'alcool absolu, en restant fermes, dures, de l'apparence la plus saine, si même quelques-uns de ces caractères ne paraissaient pas sensiblement accrus. Une quantité correspondante de sucre s'était détruite, tandis que 24 prunes pareilles, laissées au contact de l'air, étaient devenues molles, aqueuses, très sucrées.

Les raisins et tous les fruits acides, comme les melons, etc., se comportent de la même manière. J'étendrai cette étude à beaucoup de plantes. Croiriez-vous, par exemple, qu'une feuille de rhubarbe placée dans une atmosphère de gaz carbonique répand, au bout de quarante-huit heures, une odeur un peu vineuse, sans altération
IRIS apparente et que elle donne de l'alcool à la distillation !

Je me suis assuré que, dans tous ces phénomènes, la levûre de bière, quand on opère convenablement, ni aucun ferment ne prennent naissance.

Les raisins offrent dans ces expériences une particularité très digne d'attention et qui intéressera vivement les viticulteurs de la Gironde. Tout le monde a remarqué que la vendange, c'est-à-dire le jus des grains écrasés, et ces grains eux-mêmes, pris dans la cuve, ont une saveur et une odeur entièrement différentes de celles du raisin mangé sur pied ou en grappes non écrasées. Eh bien! les grains de raisin qui sortent du gaz carbonique ont exactement le goût et l'odeur de vendange. C'est que, dans la vendange, les grains sont presque soudainement enveloppés d'une atmosphère de gaz acide carbonique. Je ne doute pas que l'étude des phénomènes dont je parle, envisagés dans leurs rapports avec les pratiques de la cueillette du raisin, ne devienne utile à l'art de faire le vin, et je ne serais pas surpris que, par la conservation des raisins en grappes dans une atmosphère d'acide carbonique, pendant un certain nombre de jours, on ne parvienne peut-être à créer des vins et des eaux-de-vie qui offriraient des propriétés spéciales et peut-être avantageuses, commercialement parlant.

Je n'ai pas encore suivi ces idées nouvelles chez les organes des animaux. Il est probable que les phénomènes différeront de ceux que présentent les cellules végétales. Vraisemblablement aussi, les équations de toutes ces fermentations d'une nouvelle espèce différeront, non seulement avec chaque genre de cellules, soit animales, soit végétales, mais, pour les unes et les autres, avec leur nature propre.

Les quelques essais que j'ai tentés sur des organes du règne animal sont trop incomplets pour être mentionnés; mais je pressens déjà qu'une voie nouvelle est ouverte à la physiologie et à la pathologie médicales.

J'espère qu'une vive lumière sera jetée sur les phénomènes de putréfaction et de gangrène.

La production de gaz, en dehors de l'action des ferments, recevra sans doute une explication aussi naturelle que la formation de l'alcool et de l'acide carbonique en dehors de la présence des cellules de levûre alcoolique.