

On a quelquefois comparé la terre à un grand organisme vivant. Cette comparaison, un peu superficielle, peut cependant nous servir à nous représenter la distribution des germes dans un être vivant par analogie avec ce que nous venons de constater dans le sol. A la surface, sur la peau, en contact permanent avec l'air et avec l'eau, il y en aura évidemment un grand nombre. Il y en aura encore bien plus dans le canal intestinal, si largement ouvert, si fréquemment parcouru par de la matière organique. Mais ni le sang, ni l'urine, ni les liquides vraiment intérieurs de l'économie ne sont en communication avec l'extérieur qu'au travers de membranes, muqueuses ou autres, auxquelles est dévolu, dans l'organisme, le rôle purificateur que jouent les couches profondes du sol. Si ces membranes sont intactes, si elles ne présentent point de lésion, l'urine, le sang et les tissus qu'il baigne devront être privés de germes. C'est ce que M. Pasteur a vérifié. Il ne faudrait pas en conclure qu'il doit toujours en être ainsi chez un homme *en bonne santé*. Cette expression n'a qu'un sens relatif. Il y a des cas, comme je le montrerai, où une bonne santé apparente peut coexister avec la présence temporaire dans le sang de germes inoffensifs ou de germes de maladies bénignes. Mais c'est là l'exception, et le corps des animaux et de l'homme est d'ordinaire fermé aux germes des êtres microscopiques. C'est là la conclusion théorique dont je parlais tout à l'heure et que nous aurons plus tard à utiliser.

CHAPITRE III

ALIMENTATION GAZEUSE DES FERMENTS. AÉROBIES ET ANAÉROBIES

SOMMAIRE : Vie de la levure à l'abri de l'air. — Elle est alors *ferment*, décompose le sucre en alcool et acide carbonique. — Vie au contact de l'air. — Elle brûle le sucre en proliférant beaucoup, à la façon des grands végétaux. — Les grands végétaux peuvent aussi vivre sans air, et sont *ferments*. — Relations entre ces deux modes d'existence. Le sucre en fermentation doit fournir à la levure de la matière alimentaire et de la chaleur. — Théorie de la fermentation alcoolique.

Le plan de ce livre ne nous permet pas de faire l'étude individuelle des diverses fermentations, pas même des plus importantes. Mais nous allons essayer de rattacher aux faits les mieux connus de la plus connue d'entre elles, la fermentation alcoolique, un certain nombre de notions générales dont l'ensemble constituera un résumé assez complet de ce que nous savons sur le monde des infiniment petits. Ce sera une étude faite de haut, où les menus détails nous échapperont, mais où, je l'espère, n'en apparaîtront que mieux les grandes lignes.

En nous mettant à ce point de vue, nous pouvons réduire cette histoire des microbes à l'étude de leurs besoins nutritifs et des moyens qu'ils emploient pour les satisfaire. C'est en cela que git leur grande diffé-

rence avec les animaux supérieurs. Ceux-ci sont aussi formés de cellules individuellement presque aussi petites que celles des ferments; mais ces cellules, douées de propriétés diverses, agrégées en tissus variés, ont entre elles des connexions mutuelles, subissent les unes de la part des autres, par l'intermédiaire du sang, des nerfs, des muscles, des répercussions profondes et complexes dont la physiologie apprend peu à peu à débrouiller le chaos. L'étude des microbes est exempte de ces complications. Ici, les cellules sont libres et maîtresses d'elles-mêmes; leur nutrition est leur principale, on pourrait dire leur unique affaire; elle n'est commandée que par des circonstances de matière alimentaire, de température, d'humidité, dont on est maître. Le problème est donc relativement facile. Étudions-le avec soin. Nous en serons récompensés par cette découverte que sa solution, une fois trouvée, sera tout à fait générale et nous donnera la clef de la nutrition des animaux supérieurs.

Cette nutrition exige un certain nombre d'éléments divers qu'on peut distribuer en quatre groupes principaux. Toute cellule renferme de la matière organique azotée, de la matière non azotée, et un squelette minéral. Il lui faut donc des aliments: 1° azotés; 2° hydrocarbonés; 3° minéraux. Toute cellule respire. Il lui faut donc; 4° des aliments gazeux. Commençons par ces derniers, nous allons voir combien leur étude est féconde.

On peut croire, au premier abord, que la levure ne respire pas, au sens que nous attachons d'ordinaire à ce mot, c'est-à-dire qu'elle n'a pas besoin d'oxygène.

Pour mettre en train une fermentation nouvelle, le brasseur emprunte sa semence, nous l'avons vu, à une fermentation ancienne, où le liquide est saturé d'acide carbonique et ne contient pas d'air. Une fois introduite dans le moût, la levure y produit presque aussitôt de l'acide carbonique, et s'entoure d'une atmosphère d'où l'oxygène est absent. Ceci a lieu depuis des siècles, et la levure dont nous nous servons aujourd'hui paraît descendre de celle qu'employaient, il y a six mille ans, les brasseurs de l'antique Égypte, par une série de générations et de cultures faites en apparence à l'abri du contact de l'air.

Ne nous pressons pourtant pas de conclure. Remarquons d'abord que le liquide où le brasseur introduit sa semence n'est pas désaéré. Au contraire, quelques-unes des pratiques séculaires de la brasserie, par exemple l'exposition en grande surface du moût sucré sur les bacs refroidissoirs, ont pour effet assuré et *peuvent* avoir pour but l'aération du liquide. Une autre pratique, en usage dans certaines brasseries, paraît faite pour assurer en outre l'aération de la levure. Avant de verser dans le moût, refroidi au contact de l'air, leur levure de semence, quelques brasseurs la transvasent à plusieurs reprises d'un baquet dans un autre, en la faisant tomber d'aussi haut que possible, et la transforment ainsi en une masse mousseuse saturée d'air. La levure arrive donc aérée dans un liquide aéré. A ce moment de sa vie au moins, elle a le contact de l'oxygène. Mais a-t-elle besoin de ce gaz, ou cette aération est-elle dans sa vie un accident dont elle peut et même doit se passer? C'est ce que nous ne savons pas encore.

Pour le découvrir, préparons un moût sucré dont nous aurons chassé tout l'air en le faisant bouillir et le laissant refroidir dans l'acide carbonique. Introduisons-y alors, pour le faire fermenter, et avec les précautions requises pour éviter l'accès de l'air pendant l'opération, un peu de levure empruntée à une fermentation bien en train, provenant par conséquent d'un liquide totalement débarrassé d'oxygène. Nous pourrions observer deux choses.

La première est que la fermentation s'accomplit intégralement, et dans les conditions indiquées dans le premier chapitre, c'est-à-dire que 100 grammes de sucre donnent à peu près 1 gramme de levure, et que le reste se dédouble en alcool et acide carbonique, avec formation concomitante des produits divers, acide succinique, glycérine, acides gras, que nous avons énumérés.

Le second fait est que la fermentation met longtemps à s'établir, et marche toujours avec une extrême lenteur. Cette lenteur serait un danger pour le brasseur. Il serait exposé à voir se développer dans son moût, au lieu de la levureensemencée, les germes qu'apportent toujours l'eau ou les parois des vases de la brasserie, ceux encore qu'on trouve toujours mêlés en plus ou moins forte proportion aux levures industrielles. Tous ces germes sont mieux préparés que la levure aux conditions de la vie sans air. Leur développement, si faible qu'il soit, dans le moût ou dans la bière altère le goût du produit. Le brasseur a tout intérêt à éviter leur intervention. C'est peut-être pour cela qu'il aère son brassin et sa levure. En tous cas, nous voyons que cette vie à l'abri de l'air, bien que tolérable pour la levure, ne lui est pourtant

pas agréable. Elle peut bien s'en accommoder, ce n'est pas celle qu'elle préfère.

Allons donc à l'autre bout de notre raisonnement et de notre expérience. Essayons d'assurer la présence de l'oxygène pendant toute la période de contact de la levure et du sucre. Cela n'est pas facile. Il faut renoncer à l'emploi d'un flacon et même d'un vase cylindrique pour contenir notre moût, parce que l'acide carbonique produit par la levure éloigne l'air de l'intérieur et de la surface du liquide et, à raison de sa grande densité, le recouvre d'une couche gazeuse que l'oxygène peut difficilement traverser. Pour éviter un trop fort dégagement gazeux, nous renoncerons même à l'emploi de vases profonds, mais nous pourrions opérer dans des cuves plates renfermant du moût en très faible épaisseur. Semons-y alors un peu de levure. Le contraste sera complet avec la première expérience.

La levure va en effet bourgeonner et se reproduire avec activité dans les conditions d'aération où l'avons mise. C'est à ces conditions que se rapporte l'expérience de M. Pasteur signalée dans notre second chapitre, où, en deux heures, deux globules de levure en avaient fourni huit. La multiplication est en effet ici facile et abondante, et tandis que, tout à l'heure, il ne se formait qu'un gramme de levure aux dépens de 100 grammes de sucre, il s'en forme ici 25. Un industriel cherchant à transformer le sucre en levure, un fabricant de levure peut être content, et ce sont en effet ces conditions d'aération extrême qu'il recherche dans son industrie, et dont il ne se rapproche pas toujours assez. Mais le brasseur, le fabricant d'alcool,

pour lequel la levure est un produit secondaire, a moins sujet d'être satisfait. Voyons pourquoi.

D'abord, ces 25 grammes de levure produite ont immobilisé, pour la construction de leurs tissus, une certaine quantité de sucre, impossible à connaître exactement, mais sans doute bien voisine du poids de levure formé. Les matériaux de cette levure, nous le savons, proviennent presque exclusivement du sucre. Or le volume des matériaux d'un édifice est toujours très voisin du volume des pierres brutes employées à la construction. Il y a en moins les déchets inévitables; il y a en plus les mortiers, fers et ciments, donnant de la cohésion au tout; cela fait une sorte de compensation. Voici donc 25 grammes de sucre ayant pris la forme de 25 grammes de levure. Première perte pour le brasseur dont la préoccupation maîtresse est de faire de l'alcool avec son sucre.

Les 75 grammes de sucre qui restent ont-ils du moins fourni de l'alcool? D'après le mode de fermentation habituel, ils auraient dû en donner la moitié de leur poids. Or, on n'en trouve que des traces. Le liquide où la levure a ainsi vécu à l'air n'est pas de la bière. C'est une liqueur plate, sans saveur, où il n'y a pour ainsi dire pas d'alcool, mais d'où le sucre n'en a pas moins disparu. Qu'a-t-il bien pu devenir?

Il n'est pas difficile de s'apercevoir qu'il a été totalement brûlé par l'oxygène dont nous avons assuré le contact permanent avec le liquide. Grâce à cet oxygène et à la levure, ce sucre s'est à peu près intégralement transformé en eau et en acide carbonique. La portion transformée en alcool est si faible qu'elle peut être négligée, de sorte qu'en somme nous voilà en pré-

sence d'un phénomène où interviennent de la levure et du sucre, où la levure se multiplie et où le sucre disparaît, et dans lequel il ne reste plus rien du caractère essentiel de la fermentation alcoolique. C'est l'antipode de notre première expérience.

L'industrie de la brasserie, nous pouvons le remarquer de suite, se tient à égale distance de ces deux extrêmes, ou, plutôt, les réalise tous deux successivement. De la levure aérée, introduite dans un liquide aéré, y vit à la façon de notre seconde expérience, en s'y multipliant, en y consommant du sucre et de l'oxygène, et sans y produire beaucoup d'alcool. Mais cette première période dure peu. L'oxygène présent au début est consommé en partie, en partie chassé, avant d'avoir pu être utilisé, par le dégagement d'acide carbonique, de sorte qu'au bout de quelques heures, si la température est favorable, commence la vie à l'abri de l'air. C'est pendant cette vie que disparaît la majeure partie, la presque totalité du sucre. L'ensemble de ce phénomène complexe, tout en embrassant les deux modes de vie de la levure, avec air et sans air, appartient en presque totalité au second, et représente pour nous le type de ce que nous appelons fermentation alcoolique.

Mais si, dans la pratique, nous voyons bien comment la vie avec air se mélange à la vie sans air, il semble au premier abord impossible de trouver, en théorie, un lien entre ces deux modes d'existence.

Dans l'un, nous voyons de la levure, puisant de l'oxygène dans l'air, du sucre dans le liquide nutritif, procéder à une active création de cellules nouvelles.

Sous cet aspect, la vie du végétal levuré n'a rien d'extraordinaire, et ressemble à celle des végétaux que nous connaissons le mieux. Rien ne distingue alors, par exemple, la levure de la betterave se créant des feuilles nouvelles, une tige florifère, des organes de fructification à l'aide du sucre qu'elle trouve dans sa racine. Ce sucre, il est vrai, a été préparé par la betterave dans la première période de la vie souterraine, tandis que la levure doit recevoir du dehors du sucre tout fait, provenant peut-être d'une autre racine de betterave. Mais la question de l'origine du sucre ne nous intéresse pas pour le moment. L'essentiel est que ce sucre, puisé dans les deux cas à l'extérieur pour la formation de cellules nouvelles, pénétrant dans ces cellules par endosmose pour y être utilisé, subissant par conséquent dans les deux cas une transformation *intérieure*, nous apparaisse, dans la levure comme dans la betterave, comme la condition indispensable et la rançon nécessaire de la formation de tissus nouveaux.

Les ressemblances ne s'arrêtent pas là. Nous aurons bientôt l'occasion de nous convaincre que le mécanisme de l'élaboration de ce sucre par la cellule, que la nature des produits formés sont les mêmes dans les deux cas. Mais nous n'avons pas besoin d'aller si loin; ce que nous savons nous suffit pour justifier le parallélisme dont nous avons besoin pour notre raisonnement.

Nous venons de voir en effet que, pour la betterave comme pour la levure, nous aboutissons, en dépensant du sucre, à la formation de cellules nouvelles; que, dans les deux cas, pendant qu'une partie assez considérable du sucre, un quart environ pour la levure, passe à l'état de végétal vivant et remonte l'échelle organique,

une autre portion, encore plus grande, la descend pour passer à l'état d'eau et d'acide carbonique. Nous aurions pu prendre un autre exemple que la betterave, nous serions arrivé à la même conclusion. Elle s'applique au monde entier des êtres vivants. Il n'y a jamais nulle part création de cellules nouvelles sans absorption d'oxygène, et sans destruction concomitante d'une certaine quantité de matière mise en réserve ou formée au fur et à mesure des besoins. Dans son mode d'existence au contact de l'air, dans ce que nous appellerons désormais sa vie *aérobie*, la levure ressemble à tous les végétaux.

Dans la vie sans air, dans la vie *anaérobie*, tout semble différent. Il n'y a plus d'oxygène présent à l'état gazeux, et la levure a manifestement une vie plus pénible. Il s'en forme encore un peu, car vie et multiplication sont en quelque sorte synonymes, mais nous n'en avons plus qu'un gramme au lieu de 25 pour 100 grammes de sucre consommé. En revanche, tandis que les 75 grammes de sucre disparus dans la vie *aérobie* devenaient de l'eau et de l'acide carbonique, les 99 grammes de sucre qu'on ne retrouve pas à l'état de levure, dans la vie *anaérobie*, ont subi une véritable fermentation alcoolique.

Nous avons vu tout à l'heure que la levure ressemblait aux autres végétaux dans sa vie *aérobie*. Voyons maintenant si les autres végétaux ne ressembleraient pas à la levure dans sa vie *anaérobie*. Mettons une betterave dans l'acide carbonique. Nous la verrons produire de l'alcool. Mettons de même des cerises, des prunes, des pommes, des fruits sucrés quelconques,