

De la nature de la putréfaction et de la fermentation

Hermann v. Helmholtz

[726] Les chimistes et les physiologistes ont jusqu'à présent affiché des opinions très contradictoires sur les causes de la décomposition dite spontanée dans les substances organiques dépourvues de vie. Les représentants de ces disciplines ont acquis la conviction que ces substances ne parviennent pas à l'état de putréfaction ou de fermentation si elles sont portées à ébullition dans des flacons scellés et impénétrables à l'air. Gay-Lussac a en outre démontré que la fermentation du jus de raisin pouvait être prévenue même en l'absence de température élevée si les grappes avaient été soigneusement pressées sous une nappe de mercure sans contact avec l'air. Tous les auteurs ont partagé par conséquent une seule doctrine, à savoir que cette décomposition ne se produisait pas spontanément, c'est-à-dire qu'elle devait être causée par un agent présent dans l'air atmosphérique. Or, comme il se trouva qu'une partie de l'oxygène se combinait avec les particules des substances organiques, la plupart des chimistes ont cru pouvoir en conclure que l'oxygène, grâce à son affinité avec ces substances, devait être la raison de leur décomposition. Ou bien l'oxydation créait des substances qui, en vertu de leur puissance catalytique, engendraient la décomposition de la matière, ou bien (selon la théorie de la fermentation proposée par Liebig) le mouvement chimique causé par l'oxydation (putréfaction) se transmettait aux autres atomes [727] et y provoquait, sans l'apport suffisant d'oxygène, une simple métamorphose des composés.

On savait néanmoins depuis longtemps que des myriades d'organismes microscopiques se développent dans les substances animales et végétales pourrissantes. La querelle de la *generatio aequivoca* avait permis de découvrir et de déterminer avec exactitude les conditions favorables au développement de ces organismes. En outre, on avait découvert que la décoction de substances organiques solides ou liquides n'était pas susceptible de se putréfier et n'hébergeait aucun de ces organismes quand elle entraînait en contact soit avec de l'eau qui avait été portée à ébullition, soit avec de l'air calciné, tandis que la putréfaction et la germination d'animalcules s'enclenchaient dès que le contact s'établissait avec une quantité infime de ces matières n'ayant pas subi la chaleur de l'ébullition. On savait que le mélange avec des agents chimiques violents, tels les acides et les sels de métaux lourds, inhibait ou anéantissait sans exception ces deux processus. Et l'usage toujours plus répandu du microscope a permis de déceler l'existence de certains organismes présents dans la fermentation tartrique ou acide des sucres de canne, des alcools, du lait, etc. La découverte de la nature végétale de la levure par Schwann revêt une importance cruciale. Car la levure apparaît sous une forme très constante. La contamination par les cellules végétales d'une solution pure de sucre, qui dans d'autres circonstances est incapable de fermenter, y provoque la fermentation. Par l'étude de ce même processus, Schwann démontra que la fermentation ne pouvait être causée par l'air calciné. Compte tenu de l'invariabilité des rapports existant entre la décomposition et le développement d'organismes microscopiques, et compte tenu de l'identité des moyens par lesquels chacun de ces deux processus est susceptible d'être inhibé, nombre de physiologistes ont cru que la décomposition ne constituait que le prolongement des phénomènes vitaux, que ces organismes se nourrissaient de la matière qu'ils décomposaient, et qu'ils sécrétaient les produits de la décomposition.

Les faits qui sous-tendaient cette opinion ont presque tous été rejetés et considérés comme des phantasmes physiologiques par beaucoup de nos plus grands chimistes. Ces derniers ont nié la nature [728] végétale de la levure, en invoquant l'observation d'Ehrenberg selon laquelle les précipités inorganiques de la levure prennent parfois des formes semblables à des chapelets ou à des branches. Cependant, on a récemment découvert des formes de ferments plus évoluées - on en trouve notamment dans l'urine diabétique en état de fermentation - qui ne laissent subsister aucun doute quant à leur nature végétale, puisqu'ils se développent en cellules relativement grandes et allongées, possèdent un noyau, et produisent des spores globuliformes. Ils sont en outre capables, comme j'ai pu m'en persuader, de provoquer la fermentation dans une solution de

sucre. Dans la dernière édition du traité de chimie organique appliquée à la physiologie végétale et à l'agriculture, Liebig fait valoir contre les recherches expérimentales par lesquelles on s'est efforcé de démontrer l'impuissance de l'air calciné de causer la fermentation, que la putréfaction des substances animales ne se déploie pas aussi rapidement dans des récipients épurés que dans ceux rendus impurs par des traces de matière organique. L'urine et la chair semblent se conserver pendant deux à trois semaines, sans subir d'altérations notables, dans des récipients proprement nettoyés. Je n'ai, quant à moi, jamais constaté un tel effet. L'été passé, qui fut relativement chaud, j'ai remarqué que les premiers signes évidents de putréfaction se manifestaient 24 à 72 heures au plus tard sur des récipients et des substances qui étaient entrés en contact avec l'air libre quelques minutes seulement après leur refroidissement. D'autre part, on peut prouver par des expériences très simples (dans la mesure où des expériences chimiques sont concluantes) que l'air calciné ne possède pas le moindre pouvoir de causer des phénomènes soit de putréfaction, soit de fermentation.

J'ai procédé de la manière suivante. Un ballon contenant diverses substances (parties d'animaux, morceaux de chair, dissolution de gélatine transparente ou jus de raisin) a été scellé à l'aide d'un bouchon entièrement recouvert de cire à cacheter. Ce bouchon retenait deux tuyaux de verre minces, courbés à 90° et disposés l'un très près de l'autre. Le bout de l'un des tuyaux a été allongé pour former un col très fin, alors que celui de l'autre a été infléchi horizontalement pour former un angle droit et pour servir de tube aspirateur. Le contenu du ballon a été chauffé jusqu'à ce que la vapeur s'échappe fortement [729] des deux tuyaux, dont l'un avait été scellé avec un peu de cire à cacheter, tandis qu'une partie de l'autre a été chauffée à l'état incandescent sous la flamme d'une lampe à esprit de vin pendant que le ballon refroidissait. Le refroidissement du ballon étant achevé, j'ai transporté la flamme de la lampe lentement vers le bout du tuyau, lequel a été scellé à son tour avec de la cire à cacheter. L'air qui avait pénétré dans l'intérieur du ballon après la fin du refroidissement ne contenait plus d'oxygène, ce dont j'ai pu me convaincre en appliquant du phosphore. Dans les solutions transparentes (p. ex. les dissolutions de glutéine) se formait un précipité en quantité infime, mais sans donner lieu à aucune autre modification. Afin d'y amener de l'oxygène nouveau, j'ai chauffé les tuyaux disposés côte à côte à un endroit, avant d'en ouvrir les bouts; enfin, j'ai doucement effectué des aspirations par le deuxième tuyau courbé, si bien que de l'air nouveau arrivait de l'extérieur par l'ouverture étroite de l'autre tuyau, tout en traversant la partie chauffée de celui-ci. De cette sorte, l'air pouvait

être transporté à volonté et à n'importe quel intervalle de temps à l'intérieur du ballon. La seule modification sensible des matières organiques a été l'augmentation peu considérable du précipité; par ailleurs, même aux périodes estivales les plus chaudes, l'odeur, le goût, l'apparence et le comportement envers les réactifs en demeuraient inchangés. Cependant, si on laissait entrer la moindre quantité d'air non-calciné, ou si la fermeture du ballon n'était pas tout à fait étanche, les phénomènes de putréfaction communs se manifestaient déjà après deux à quatre jours (avec développement d'infusoires).

Le réactif le plus sensible à la putréfaction se révéla être dans cette expérience (comme dans d'autres) un mélange en solution de glutéine transparente et de teinture de tournesol. Car la putréfaction se faisait remarquer plutôt par la désoxydation et la décoloration du pigment que par l'odeur. La couleur du pigment réapparaissait rapidement dès qu'on exposait le liquide versé dans des étuves basses à l'air ou qu'on le mélangeait avec celui-ci. Par contre, la coloration disparaît rapidement dans des récipients très étroits ou fermés, [730] mais demeure inchangée si l'on interrompt la putréfaction par la cuisson, avant que celle-ci ne reprenne.

Or, il faut noter que le liquide se décolore aussi sans putréfaction si des morceaux de chair solides s'y trouvent ou qu'une quantité importante de précipité se forme par oxydation, car le pigment se lie au précipité. L'apport d'oxygène ne provoque alors plus de recoloration. On observe au microscope dans le liquide décoloré par la putréfaction une masse finement granulée, qui se révèle être, à un grossissement de 400 fois, un amas de petites boules et d'animalcules en forme de bâtonnets de taille relativement grande, qui se meuvent lentement par rotation autour de l'axe longitudinal.

La découverte de ce fait concerne avant tout la décomposition des substances azotées contenues dans les organes d'êtres animés, et plus particulièrement les composés azotés et gélatineux, car la décomposition lente d'autres composés azotés suit son cours indépendamment de l'apport d'air même dans des récipients scellés et nettoyés à l'eau bouillante. Je n'ai jusqu'à présent examiné que l'acide urique et l'acide prussique. Afin de prouver la présence d'acide urique non contaminé par quelle matière animale que ce soit, j'ai procédé avec du cyanure d'ammoniaque, dont la décomposition en alcali volatil concret se distingue essentiellement de la putréfaction par le fait qu'elle se produit de façon plus accélérée à la température d'ébullition qu'à une température moyenne. J'ai scellé la solution des deux substances mentionnées dans des tuyaux de verre, dont j'ai fait fondre les bouts, et j'ai immergé ceux-ci dans un bain d'eau bouillante. Elles se sont décomposées aussi promptement que

le même volume de ces substances au contact de l'air libre. Si l'urine est scellée dans des récipients nettoyés à l'eau bouillante, l'acide urique se décompose lentement, sans provoquer la décomposition des autres substances animales par voie de putréfaction.

Afin d'examiner par d'autres moyens l'effet de l'oxygène sur les matières organiques, j'ai scellé de la chair, des solutions de gélatine, du jus de raisin dans des récipients nettoyés à l'eau bouillante. La décomposition de l'eau a été induite [731] par un courant électrique transporté dans des fils de platine. Mais l'oxygène ainsi produit n'a provoqué ni putréfaction ni fermentation. Ce résultat contredit une expérience de Gay-Lussac, qui croyait avoir causé la fermentation par un courant électrique appliqué à du jus de raisin pressé sous une nappe de mercure. Or, compte tenu des recherches sur la *generatio aequivoca*, il faut insister sur le fait qu'aucune expérience n'est concluante, en dépit du fait que le récipient, le mercure, etc., ont été nettoyés avec la plus grande précaution, alors même qu'une quelconque partie de l'appareil ou les substances examinées n'ont pas été portées à la température d'ébullition. La même objection peut être dirigée contre les expériences de ce chimiste si habile, dans lesquelles la fermentation était causée par l'apport d'une petite quantité d'oxygène - expériences que Liebig juge capitales, parce qu'on ne saurait comprendre comment les germes organiques auraient pu être transportés par l'hyperoxyde de manganèse ou le chlorate de potassium utilisés pour le développement des gaz.

Il ressort de toutes ces expériences que ni le processus d'oxydation, ni la décomposition spontanée de l'acide urique, si semblable à la putréfaction, ni le mouvement chimique violent provoqué par le courant électrique, n'ont le pouvoir d'engendrer la putréfaction ou la fermentation. De même, les corps communs de l'atmosphère résistant à la chaleur d'ébullition ne peuvent en être la cause : ni l'azote, ni l'acide de carbone, ni l'oxygène, ni non plus l'ammoniaque, que Liebig y a récemment décelé. Restent deux substrats auxquels nous pouvons attribuer cet effet, à savoir les exhalaisons de substances putrides répandues dans l'air, que Liebig a réussi à isoler au moyen de l'ammoniaque dans l'eau de pluie, ou les germes d'êtres organiques, qui semblent exister un peu partout, comme nous pouvons en conclure de l'observation des phénomènes de l'apparente *generatio aequivoca*. Etant donné que la puissance de ces germes est anéantie par la chaleur d'ébullition, nous leur attribuons le pouvoir de causer la putréfaction ; et les tenants de la *generatio aequivoca* pourraient même être tentés de leur attribuer [732] en outre le pouvoir de créer des organismes et de les considérer pour ainsi dire comme des substances spermatiques gazeuses. Grâce aux déductions

ingénieuses de Liebig, la question de savoir lequel de ces agents est actif, revêt une grande importance non seulement pour la chimie organique, mais encore pour toute la théorie des contagions et des miasmes. C'est pourquoi j'ai tenté d'isoler des matières putréfiables de telle sorte que l'apport de corps solides aussi minuscules que les germes d'organismes microscopiques fût interrompu, mais non l'apport de matières liquides ou gazeuses. La séparation des deux agents n'a pas réussi par des moyens chimiques, puisque ceux-ci anéantissent à la fois la putréfaction et la vie. Mais j'y ai pleinement réussi par des moyens purement mécaniques, en faisant transporter par endosmose tantôt des liquides putrides, tantôt de l'eau pure dans des liquides putréfiables contenus dans une vessie. A cette fin, j'ai recouvert l'ouverture d'un dispositif tubulaire d'un morceau de vessie et ai j'allongé l'autre ouverture afin qu'elle forme un col pointu; ensuite, j'ai porté les substances à analyser à ébullition; pendant qu'elles refroidissaient, j'ai chauffé le tuyau, que j'ai ensuite fermé et, enfin, j'ai mis la vessie tantôt dans un liquide putréfiable, tantôt dans de l'eau. Plus simplement: j'ai versé dans un récipient assez large le liquide à examiner, j'ai attaché une vessie contenant le moins d'air possible, je l'ai chauffée à 100° C, le moindre défaut de la vessie se faisant remarquer par une fuite de liquide sur lequel s'exerçait une forte pression interne, et l'ai disposée après refroidissement complet en sens inverse dans un autre liquide. La putréfaction est apparue dans tous les cas aussi promptement que dans un liquide non enfermé; elle se manifestait par l'odeur et le goût nauséabonds, par la décoloration de la teinture de tournesol, par le développement de gaz de composés de protéine, et par la transformation de la gélatine en matières extractives. Par contre, l'apparence d'un liquide putréfiant de cette sorte est tout à fait différente: il demeure entièrement transparent, les morceaux de chair ne se défont pas en bouillie opaque, mais maintiennent leur structure jusqu'aux faisceaux musculaires primitifs striés, en dépit des gaz qui [733] s'en échappent, et deviennent consistants comme du blanc d'œuf très cuit; à l'examen sous microscope on ne trouve pas la moindre trace d'infusoires ou de corps végétaux à structure régulière fine que l'on observe habituellement. Mais il n'y a pas simple transfusion de produits de putréfaction de l'extérieur vers l'espace intérieur, ce que l'on reconnaît au mieux au fait que le développement de gaz, une fois commencé, ne s'arrête pas, même si l'on retire le récipient du liquide extérieur et qu'on recouvre la vessie d'une couche de cire à cacheter pour la protéger du contact de l'air. Le gaz ainsi développé est absorbé à deux tiers par le potassium caustique et noircit vite une solution de sel de plomb. Il ressort de ces expériences que la putréfaction peut avoir lieu indépendamment des processus vitaux et

que seule la forme en est modifiée par ceux-ci ; que l'apport de liquide ou de vapeur putréfiants suffisent pour le provoquer, et que des êtres organiques ne se développent que lorsque l'accès de corps solides (donc de germes organiques) est possible.

J'ai fait les mêmes expériences sur le moût de raisin, en transportant une vessie contenant du moût dans une portion du même liquide qui avait été portée à ébullition. Après 36 à 48 heures, ce dernier a commencé à fermenter violemment. La fermentation s'est achevée en grande partie après huit jours. Par contre, le moût isolé n'a subi aucune transformation et n'a révélé ni développement de levure ni échappement de gaz. Son volume a augmenté un peu sous l'effet de l'endosmose ; d'autre part, il a pris une odeur et un goût ressemblant de loin à ceux du vin. Lorsque le liquide extérieur a été retiré, aucune nouvelle modification n'a été observée dans les huit jours consécutifs. A l'ouverture du récipient, la fermentation n'a pas été engendrée aussi promptement que dans le moût tout crû, mais elle a pris une allure sensiblement accélérée sous l'apport de la moindre quantité de liquide fermentant. La fermentation vineuse est donc liée à l'introduction d'un corps solide retenu par la vessie. Nous ne pouvons pas ne pas penser à la levure, dont la nature végétale [734] ne fait plus de doute. Le processus de fermentation des jus de fruits correspond à ce qui est nommé fermentation muqueuse, laquelle se manifeste par des odeurs nauséabondes et souvent par le développement de moisissure ; en outre, cette putréfaction se produit dans des conditions qui inhibent le développement de la fermentation vineuse.

La conception de la putréfaction tirée de ces résultats est la suivante :

1) La putréfaction est un processus de décomposition de matières contenant des protéines et des substances gélatineuses. Elle se distingue des processus de décomposition semblables d'autres composés azotés, p. ex. de celui du cyanure, par le pouvoir de se propager à d'autres masses des mêmes substances. Elle semble toujours procéder d'une façon qui diffère de la propagation de ce type ou peut-être même du processus vital. De ces décompositions primaires, il faut cependant distinguer les décompositions secondaires de substances non putrifiables qui ont été mélangées à des liquides putrides.

2) La putréfaction peut se produire sans rapport aucun avec la vie. Elle offre pourtant le sol le plus propice au développement et à la nutrition d'êtres animés qui en affectent les manifestations. Une putréfaction ainsi modifiée par des organismes, dont elle dépend par ailleurs, se révèle être la fermentation.

3) La putréfaction ressemble ostensiblement au processus vital en vertu de l'identité des matières dans lesquelles elle se produit, en vertu de son pouvoir de propagation, ainsi qu'en vertu de l'identité des conditions nécessaires à sa conservation et à sa destruction.

Annexe (1882). Des recherches plus récentes concernant ce même objet indiquent que le processus, que j'ai caractérisé ici comme putréfaction pure, ne se distingue en toute probabilité que par la spécificité et la dimension des organismes créés. Les organismes qui s'infiltrent, doivent pouvoir traverser une membrane mouillée et supporter la pression de l'eau, c'est-à-dire se trouver dans un état actif tout en possédant un taille minuscule, ou alors doivent être capables de croître à travers une membrane. De ce fait, le nombre d'espèces d'organismes pouvant s'infiltrer est fortement réduit.