

culaire. On sait, en effet, que Pasteur a réussi à séparer l'un de l'autre les acides tartriques droit et gauche, formant l'acide racémique, à l'aide du *Penicillium* et de certaines Bactéries qui détruisent le premier avant de s'attaquer au second, possédant en quelque sorte la faculté de discerner entre ces deux corps isomères.

Cette notion fondamentale a pris depuis lors des développements importants et le pouvoir électif des micro-organismes est devenu un puissant auxiliaire dans les recherches stéréochimiques. Le Bel a pu dédoubler des alcools secondaires inactifs et obtenir l'alcool amylique secondaire gauche, l'alcool butylique secondaire gauche. Bremer a reconnu que les acides maliques inactifs sont dédoublables; Frankland a démontré, grâce au *Bacillus ethaceticus*, la présence, dans l'acide glycérique, de deux corps prévus par la théorie; le microbe consomme la totalité des molécules dextrogyres et laisse intactes les molécules lévogyres. L'acide lactique inactif de fermentation a de même été dédoublé par Linossier avec le *Penicillium*, par Péré avec le *Bacillus coli communis*, par Frankland avec d'autres Bactéries. On sait encore que, parmi les sucres obtenus par E. Fischer, la fructose est inactive, mais formée de deux lévuloses, dont l'une est lévogyre et semblable à celle qui existe dans les végétaux, l'autre dextrogyre, de création nouvelle. Or, la levure de bière n'attaque que la première, comme si, dans sa préférence pour le sucre fabriqué par la nature, elle était guidée par ses propriétés héréditaires! On voit ainsi que le pouvoir rotatoire d'une substance exerce une action sur sa qualité alimentaire.

Il n'est pas moins curieux de constater que, parmi les sucres si bien étudiés par E. Fischer, paraissent seuls capables de fermenter, en présence des levures, ceux qui contiennent 5, 6 ou 9 atomes de carbone; les autres, qui en possèdent 5, 7 ou 8, peuvent cependant devenir la proie des Bactéries, puisque aucun d'eux ne saurait échapper à leur action destructive.

L'ensemble des faits qui précèdent suffit pour donner un aperçu de la complexité du problème de la nutrition sous le rapport des aliments azotés, hydrocarbonés et minéraux. Ajoutons seulement que, pour les Bactéries en particulier, le substratum nutritif ne doit parfois varier que dans des limites restreintes. Les plus sensibles à cet égard sont principalement les espèces pathogènes, qui vivent souvent en parasites sur un hôte déterminé et dédaignent tout autre substratum nutritif vivant ou mort (Bacille de la lèpre, Spirille de la fièvre récurrente, etc.), ou bien exigent pour leur développement tout au moins du sérum ou des mélanges avec albumine soluble ou peptone. Le plus grand contraste existe entre ces espèces et celles décrites par Bolton (*Bacillus erythrosporus*, *Micrococcus aquatilis*, etc.), qui trouvent dans l'eau distillée assez d'éléments nutritifs pour se multiplier d'une façon surprenante.

### C. Oxygène : 1<sup>o</sup> Action sur l'état de vie active : aérobies et anaérobies.

— Si tous les êtres vivants ont besoin d'oxygène pour vivre, les micro-organismes présentent cette remarquable propriété, que les uns l'empruntent à l'air, les autres à un composé oxygéné dont ils provoquent la décomposition. De là, au point de vue biologique, la distinction fondamentale, établie par Pasteur entre les *aérobies* et les *anaérobies*.

Que l'on sème, par exemple, dans du lait coloré en bleu par du carmin d'indigo, quelques Bactéries communes de l'air ou de l'eau, on verra le liquide se décolorer à mesure qu'elles se développeront; le carmin d'indigo est réduit

par les Bactéries qui lui prennent son oxygène. Agité à l'air, le liquide reprend sa coloration bleue. C'est ce même besoin d'oxygène qui détermine la formation du voile qu'on observe à la surface des cultures de divers microbes.

On connaît l'élégante expérience par laquelle Engelmann a mis en évidence l'action des plus faibles quantités d'oxygène sur les Bactéries aérobies. Si, dans une goutte d'eau privée d'air et contenant des cellules vertes, par exemple un filament de Conserve ou de Cladophore, on introduit diverses Bactéries mobiles, telles que le *Bacillus subtilis*, le *Proteus vulgaris*, on verra bientôt, en éclairant la préparation pour que l'action chlorophyllienne se produise, les Bactéries s'animer d'un mouvement très vif et se rassembler tout autour des cellules vertes pour absorber l'oxygène à mesure qu'il se produit. Si, de plus, on fait tomber sur le filament vert un spectre microscopique obtenu à l'aide d'un petit prisme, on remarquera que les Bactéries se localisent et s'accumulent autour du filament, en deux endroits qui correspondent aux deux principales bandes d'absorption de la chlorophylle. Leur groupement dessine à l'œil la courbe qui relie la production de l'oxygène à la réfrangibilité des rayons du spectre.

A côté de ces espèces, qui vont pour ainsi dire à la recherche de l'oxygène libre, il en est d'autres qui s'éloignent des points où l'oxygène se trouve en abondance. Tel est le cas de certains spirilles, dont la fuite devant l'oxygène se ralentit à mesure qu'on abaisse la proportion de ce gaz. Beijerinck a montré comment, avec un dispositif très simple, on peut se rendre compte au microscope, grâce à la place qu'elles viennent occuper dans la préparation, du besoin d'oxygène plus ou moins grand des diverses espèces de Bactéries.

Nous voyons déjà de la sorte qu'il y a des transitions entre les Bactéries avides d'oxygène libre et celles qui ne peuvent vivre à son contact.

Effectivement, entre les *aérobies* qui ont besoin d'oxygène libre (Bacille du choléra des poules, du charbon, *Bacillus subtilis*, *aerophilus*, *cyanogenus*, etc.) et les *anaérobies vrais*, dont le développement est arrêté par l'oxygène (Vibron septique, butyrique, Bacille de l'œdème malin, etc.), il y a des intermédiaires, des *anaérobies facultatifs*, parmi lesquels se rencontrent un grand nombre d'espèces pathogènes (Vibron du choléra, Bacille typhique, Bacille de la pneumonie, du rouget du porc, de la septicémie des souris, Staphylocoque et Streptocoque pyogènes, etc.).

Le fait d'une vie pouvant se passer sans air, à l'abri de toute trace d'oxygène libre, vérifié d'abord par Nencki, Prazmowski, Nægeli, etc., a été, récemment encore, pleinement confirmé par Beijerinck à l'aide des méthodes les plus sensibles dont la chimie dispose. Les discussions byzantines qu'on avait soulevées sur la question de savoir si les anaérobies peuvent réellement vivre sans la moindre trace d'oxygène libre n'ont pas avancé la science, et, alors même que la question eût été résolue négativement, la fonction anaérobie n'eût rien perdu de son importance. Cette fonction, c'est la propriété de déterminer la fermentation.

En montrant comment la levure de bière, semblable aux autres végétaux pendant sa vie aérobie, peut se passer d'air pendant sa vie anaérobie, mais alors fait fermenter le sucre au lieu de le brûler complètement, Pasteur a magistralement établi les relations qui existent entre la vie sans air et la fermentation.

Dans sa vie aérobie, la levure consomme l'oxygène à l'état libre et se mul-

tiplie activement, brûlant le sucre sans former, pour ainsi dire, d'alcool. Dans sa vie anaérobie, au contraire, l'absence d'oxygène gazeux rend la végétation plus pénible et oblige la levure à prendre son oxygène au sucre, qu'elle transforme alors en alcool et acide carbonique.

Dans un cas comme dans l'autre, la levure a besoin, de même que toute cellule vivante, pour vivre et se développer, de trouver une source d'énergie. Quand elle est exposée au libre contact de l'air, la source de cette énergie réside dans la combustion respiratoire de la matière sucrée, qui fournit la chaleur nécessaire. Mais, quand la levure est submergée, cette source d'énergie fait défaut, et cependant les besoins de la cellule restent les mêmes. Alors un nouveau phénomène apparaît : la levure prend au sucre l'oxygène dont elle a besoin, en même temps qu'elle le dédouble en alcool et acide carbonique, avec dégagement de chaleur. Toutefois, cette chaleur est bien moins abondante que celle que fournit la combustion complète du sucre quand la levure vit à l'air libre; elle n'en représente guère que la dixième partie. Il en résulte que la levure est obligée de détruire 10 fois plus de sucre pour produire le même effet. C'est là la source de ce qu'on a appelé le caractère ferment, c'est-à-dire la disproportion entre la matière morte transformée et le poids de matière vivante entrée en action. « Pour employer une comparaison vulgaire, dit Duclaux, il y a entre les ferments anaérobies et les cellules aérobies la différence qu'il y a entre deux machines à vapeur identiques, dont l'une utilise bien et l'autre mal son combustible. Cette dernière en consomme vingt, trente fois plus que l'autre pour suffire au même fonctionnement. »

Cette disproportion entre la cause et l'effet, dont la levure de bière offre un si bel exemple, est le caractère le plus saillant des fermentations.

Mais la vie anaérobie n'est pas l'apanage exclusif des Bactéries et des levures. Si, comme on vient de le voir, elle est la conséquence de la nutrition des cellules dans des conditions spéciales, on peut concevoir que, dans les mêmes conditions, des organismes plus élevés, et même les plantes supérieures, puissent manifester les mêmes phénomènes.

L'*Aspergillus* et le *Penicillium*, se développant normalement à la surface d'un liquide sucré, brûlent simplement le sucre à l'aide de l'oxygène de l'air. Mais, quand on les immerge dans le liquide, ils scindent le sucre en alcool, acide carbonique et produits accessoires, comme le font les levures. Toutefois, ces espèces s'adaptent difficilement à ce nouveau genre d'existence.

Au contraire, certains *Mucor*, et surtout les *M. racemosus*, *circinelloides*, *spinosis*, résistent beaucoup mieux à la privation d'oxygène libre. Dans l'intérieur du liquide, le thalle filamenteux de la plante s'émiette; les fragments prennent la forme de chapelets faciles à dissocier; leurs cellules, devenant libres, ressemblent à celles des levures et bourgeonnent comme ces dernières en déterminant la fermentation. Avec le *Mucor circinelloides*, cultivé de la sorte dans le moût de bière, la fermentation est aussi active qu'avec la levure ordinaire.

Cette remarquable propriété que possède le protoplasme d'agir comme ferment et par suite comme agent de décomposition à l'égard des substances qui peuvent lui fournir l'élément indispensable à la respiration et à la production de l'énergie nécessaire à la vie, nous la retrouvons encore chez les végétaux phanérogames. Un fruit sucré (raisin, pomme, cerise, etc.), placé dans une atmosphère d'azote ou d'acide carbonique, fournit également de l'alcool. Le phénomène n'a pas pour cause la destruction plus ou moins rapide qui frappe tôt ou tard ces

organes, mais bien la respiration dite intra-moléculaire; car si l'on asphyxie subitement des plantes entières avec l'acide carbonique ou l'azote, elles se comportent comme les fruits et les tubercules et continuent ensuite à vivre de leur vie normale quand on les ramène à l'air libre.

Des faits du même genre doivent se rencontrer dans quelques organes durant la vie normale des animaux. A. Gautier pense que les produits normaux du dédoublement des matières albuminoïdes sont dus à des actions réductrices en rapport avec un fonctionnement anaérobie de certains tissus de l'économie animale.

Une chaîne continue réunit ainsi les organismes en apparence les plus dissemblables : ils ne se distinguent les uns des autres que parce qu'ils manifestent, à des degrés divers, les deux aspects fondamentaux de la vie avec air et de la vie sans air. Les mots aérobie et anaérobie n'expriment donc pas des propriétés opposées, ils indiquent simplement des degrés aussi éloignés que possible d'un phénomène identique. Lorsque les Bactéries ne possèdent pas la faculté de provoquer la fermentation, ou lorsqu'elles vivent accidentellement dans des conditions telles qu'il n'y a pas de fermentation possible, alors l'oxygène libre leur est absolument nécessaire. C'est donc, en définitive, l'oxygène qui est la source de l'énergie dont la cellule bactérienne a besoin pour les phénomènes d'assimilation et d'accroissement.

On sait avec quelle rapidité peut se faire la multiplication des cellules. La respiration est alors très active et la formation d'acide carbonique abondante. Le dégagement de calorique, déjà sensible pendant la fermentation du sucre sous l'influence de la levure, peut devenir beaucoup plus appréciable encore dans d'autres circonstances, chez certaines Bactéries qu'on peut appeler « thermogènes ». La fermentation du tabac, dont les Bactéries sont les agents, s'accompagne d'une assez forte élévation de température. Chacun sait de même que, parfois, cette dernière est telle dans les lignites, les meules de foin, les balles de coton, qu'une inflammation spontanée peut s'ensuivre. En expérimentant sur quelques livres de poussières et déchets de coton, arrosés d'une fois et demie leur poids d'eau, F. Cohn a constaté que la température peut atteindre 67°, après vingt-quatre à trente-six heures. Il se dégage une odeur pénétrante de triméthylamine; la masse en fermentation devient brunâtre, plus ou moins semblable à une matière humique. Les agents de cette fermentation sont des microcoques essentiellement aérobies; la stérilisation empêche le phénomène, qui n'est, en somme, que la conséquence d'une puissante oxydation. Les fourrages ensilés peuvent offrir des faits du même genre.

2° *Action sur la formation et la vitalité des spores.* — Chez les Champignons et les levures, l'oxygène libre est également nécessaire à la formation des spores. Il en est de même pour les Bactéries aérobies. Si l'espèce est mobile, le mouvement peut continuer, comme on l'a vu à propos des cils, jusqu'à ce que la sporulation soit achevée; souvent aussi il cesse au début. Chez les Bactéries anaérobies, la spore ne se forme qu'à l'abri de l'oxygène de l'air, et le mouvement persiste pendant son développement.

Au contact de l'air et en milieu liquide, les levures et les Bactéries sans spores conservent leur vitalité pendant un laps de temps qui varie suivant les espèces et, pour une même espèce, suivant les conditions extérieures. A l'influence de l'oxygène vient s'ajouter celle de la lumière, de la température,

de la dessiccation, etc. Parmi les espèces les plus résistantes, on peut citer le *Micrococcus prodigiosus*, dont on ne connaît d'ailleurs pas les spores.

Il va sans dire que la vitalité des spores est beaucoup plus grande. Au contact de l'air et à l'état sec, elle dépend, chez les espèces aérobies, de nombreux facteurs; mais on peut dire qu'elle est moindre qu'à l'abri de l'air. Duclaux a vu des spores conservées dans cette dernière condition qui germaient encore après un quart de siècle, et ce laps de temps peut certainement être dépassé. Nécessaire à la vie active, l'accès de l'oxygène détermine dans la spore une combustion lente qui vient hâter la mort.

**3° Actions sur les propriétés physiologiques.** — Cette action comburante de l'oxygène, qui finit par tuer la spore, s'exerce également, et d'une façon plus marquée, sur le microbe aérobie à l'état végétatif, quand ce microbe reste au libre contact de l'air après avoir épuisé sa provision de nourriture. Alors c'est sur la substance même du microbe que l'oxygène porte son action. La respiration lente, mais continue, en l'absence de matière alimentaire, produit l'affaiblissement de la vitalité et par suite des propriétés physiologiques.

Le rôle de l'oxygène dans cet affaiblissement graduel de l'organisme, Pasteur l'a mis en évidence, en 1880, par sa mémorable découverte de l'atténuation des microbes. Il a vu que, dans les cultures au contact de l'air, le microbe du choléra des poules perd graduellement sa virulence. Quand il a transformé la masse alimentaire présente, il continue encore à respirer, mais moins activement, et il ne tarde pas à périr, car il ne fait pas de spores. Or, cette respiration lente, alors que la nutrition est arrêtée faute d'aliments, brûle les matériaux de l'être vivant et l'affaiblit peu à peu. Ce qui le prouve, c'est que la culture mise en tube clos, en présence d'une proportion d'oxygène faible et limitée, conserve sa virulence pendant de longs mois.

La même influence de l'air se retrouve pour le microbe du charbon. Mais ici une difficulté se présente pour obtenir un bacille atténué. Ce bacille, en effet, donne facilement des spores, qui le soustraient à l'action atténuatrice de l'air, puisqu'elles sont, comme on sait, presque insensibles à l'influence des agents extérieurs. Il faut donc l'empêcher de les former. On y parvient, en même temps qu'on lui fait perdre peu à peu sa virulence, par l'action d'une température de 42°,5. Portés dans de nouveaux milieux de culture, les bacilles se multiplient en conservant les degrés d'atténuation divers auxquels on les a pris; et, chose très importante, ces cultures à 42°,5 fournissent, quand on les place à la température de 37°, des spores qui fixent pour longtemps la virulence atténuée des bacilles dont ils proviennent.

La température, on le verra plus loin, joue un rôle dans l'atténuation; mais c'est à la lenteur de l'action atténuatrice de l'oxygène, qui donne au microbe le temps de se plier aux nouvelles conditions d'existence, qu'il faut rapporter la propriété remarquable qu'il acquiert de transmettre ses facultés acquises à ses descendants. On pourrait croire que l'on a créé ainsi des espèces nouvelles, mais ce serait aller trop loin; les générations successives ne sont pas exactement semblables au point de vue de la virulence; même quand elle se transmet par hérédité, la virulence varie et n'est pas absolument immuable.

### 3° INFLUENCE DES AGENTS PHYSIQUES

**A. Température.** — La végétation est dans un rapport immédiat avec la température extérieure; elle n'est possible qu'entre certaines limites extrêmes, et il existe une température moyenne déterminée où elle atteint sa plus grande énergie. Quand on dépasse l'une des deux limites extrêmes, la vie est suspendue; mais, au delà de ces limites, les écarts de température qui la suppriment peuvent être bien différents, et, pour les micro-organismes surtout, l'arrêt de développement est loin d'être synonyme de mort.

L'expérience journalière fait comprendre que ces diverses conditions varient suivant l'espèce considérée, suivant la période de son développement, suivant la nature et la composition du milieu extérieur. Sans insister ici sur ces variations, contentons-nous de rappeler les principaux faits concernant l'action de la température, suivant que les Bactéries sont à l'état végétatif ou à l'état de spore.

**1° Influence sur l'état végétatif : minimum, maximum, optimum.** — On connaît des Bactéries chez lesquelles la multiplication peut se faire à 0°; elles appartiennent au groupe des microbes lumineux. Le *Bacterium phosphorescens*, observé d'abord par Forster, se cultive et luit presque également bien entre 0° et 20°; il croît presque aussi rapidement dans la glace fondante qu'à cette dernière température. A 30°, il cesse d'être lumineux et succombe après un séjour de quelques heures entre 35° et 37°. A. Fischer a découvert ensuite dans le port de Kiel toute une série d'espèces adaptées à vivre à 0°; par contre, un bacille lumineux de la mer des Indes exige un minimum de 15°. Les faits de ce genre ne manquent pas d'intérêt pratique; ils montrent que la réfrigération peut n'exercer, dans certains cas, qu'une influence restreinte sur la putréfaction.

Dans la plupart des cas, les exigences des microbes à l'égard de la chaleur sont tout autres.

Pour les espèces non parasites, les limites entre lesquelles la végétation est possible sont assez étendues. Le *Bacillus subtilis*, d'après Brefeld, croît entre 6° et 50°; l'optimum de température est situé vers 50°. Le groupe du *Bacterium termo* de Cohn se développe entre 5° et 40°; son optimum, suivant Eidam, est entre 30° et 55°. Le *Bacillus butyricus*, cultivé dans la glycérine, présente, selon Fitz, son optimum vers 40° et son maximum vers 45°.

Parmi les espèces parasites, celles qui ont leur siège dans le corps de l'homme ou des mammifères exigent une température se rapprochant de celle de leur hôte. Koch assigne, comme limites extrêmes, au Bacille de la tuberculose 28° et 42°, et comme optimum 37-58°. Le Pneumocoque de Fraenkel a son minimum à 24°, son maximum à 41°, son optimum à 55°. Mais des variations se produisent suivant les milieux: par exemple le *Bacillus anthracis*, cultivé sur pomme de terre, présente un minimum vers 15°, un maximum vers 45° et un optimum entre 20° et 25°, tandis que son optimum est vers 55° dans le bouillon de poule, vers 40° dans le sang d'un rongeur. Le Spirille du choléra végète déjà sur gélatine vers 16°, tandis que, sur la pomme de terre, c'est seulement à 30°.

Entre la température la plus favorable pour les saprophytes de l'air, de l'eau, du sol, etc., et celle qui convient le mieux aux parasites, il y a en général un écart assez voisin de 10°. Il existe aussi, naturellement, de nombreux intermé-