

rilles, mais d'une façon insuffisante chez les microcoques. On paraît cependant l'avoir observée avec certitude dans les cellules rondes de la Sarcine des poumons, dans le *Micrococcus ochroleucus*, etc. Dans les bacilles, les cellules ou articles grossissent et se remplissent de substances de réserve. Ce grossissement peut être uniforme dans toute la longueur de la cellule, qui demeure cylindrique; mais il peut s'opérer surtout au milieu, en forme de fuseau, ou surtout à une extrémité, en forme de têtard: différence qu'on rencontre souvent dans la même espèce suivant les conditions (*Bacillus amylobacter*).

En général, soit que le contenu cellulaire reste homogène, soit qu'il commence par devenir granuleux, la spore apparaît tout d'abord comme une tache très petite, d'un gris mat ou foncé, qui devient bientôt réfringente en s'accroissant et ensuite atteint sa grosseur définitive aux dépens du protoplasme.

A ce type appartiennent la plupart des Bactéries, encore peu nombreuses d'ailleurs, où la sporulation a été étudiée avec exactitude (*Bacillus anthracis*, *subtilis*, *Brassicæ*, *tumescens*, *inflatus*, *leptosporus*, *sessilis*, etc.). Mais il y a, dans ce groupe, des différences secondaires: tantôt la sporulation est précédée de la transformation granuleuse du protoplasme (*Bacillus anthracis*, *megatherium*, *leptosporus*, *tumescens*, etc.); tantôt elle ne l'est pas (*Bacillus carotarum*, *inflatus*, etc.). Tantôt l'ensemble du protoplasme est employé à la formation des spores (*Bacillus anthracis*, *carotarum*, *leptosporus*, *subtilis*, *tumescens*, etc.), tantôt il reste une partie du protoplasme sous forme de granules (*Bacillus megatherium*, *sessilis*, etc.). Parfois même la spore se forme par contraction locale du protoplasme, resté homogène, et atteint sa grosseur définitive sans que le reste du protoplasme disparaisse; la cellule mère continue alors à se mouvoir comme si elle ne renfermait pas de spore (*Bacillus de Baryanus*, *Bacillus Solmsii*, etc.). Enfin, il existe encore des différences, suivant que la spore se ferme au bout ou au milieu des cellules, qu'il s'en forme une seule ou, par exception, deux par cellule.

La spore mûre, arrondie ou ovoïde, toujours plus petite que la cellule mère, peut être beaucoup plus courte qu'elle, mais presque aussi large; ailleurs elle est plus petite dans tous les sens. Par suite, l'enveloppe propre qu'elle possède est distincte de celle de la cellule mère; c'est elle, en grande partie, qui communique aux spores des Bactéries leurs propriétés de résistance parfois si grande à l'action des agents physiques et chimiques. Le contenu de la spore, à contour sombre, est généralement brillant et incolore, parfois coloré en rose (*Bacillus erythrosporus*) ou très légèrement verdâtre (*Bacillus de Baryanus*, *macrosporus*, *limosus*, etc.).

La substance de réserve, qui remplit la cellule mère au moment de l'apparition des spores, présente dans certains cas une réaction spéciale: chez le *Bacillus amylobacter*, le *Spirillum amyloferum*, le *Bacterium Pastorianum* et parfois le *Leptothrix buccalis*, c'est de l'amyloïde, qui

disparaît pendant le développement de la spore. Ailleurs, c'est sans doute du sucre ou quelque autre hydrate de carbone.

b. Les arthrospores se produisent par transformation totale d'une cellule entière et non, comme précédemment, par formation endogène. Les exemples en sont beaucoup plus rares (*Leuconostoc mesenteroides*, *Bacterium Zopfii*). Le phénomène est surtout bien net dans le *Leuconostoc*, où certaines cellules des filaments en chapelet grossissent, à un moment donné, en prenant une membrane plus compacte et un contenu plus sombre, pour être ensuite mises en liberté par la dissolution de la masse gélatineuse qui les entoure. Ces cellules paraissent être des kystes analogues à ceux de beaucoup d'Algues bleues. Mais peut-être aussi ne sont-elles que des endospores remplissant exactement toute la cellule mère. Il est possible que la formation endogène échappe dans ce cas à l'observation; et cette remarque s'applique aux microcoques, chez lesquels on comprend qu'il soit difficile d'apprécier une différence entre les spores et les cellules végétatives.

c. Ainsi formée, la spore germe quand elle trouve un milieu favorable. Pour cela, une rupture se fait dans son exospore plus ou moins épaisse; le contenu en sort revêtu d'une mince membrane d'enveloppe, qui peut être considérée comme l'endospore. La façon dont s'effectue cette éclosion a paru d'abord pouvoir fournir, pour la distinction des espèces, des données importantes. Tantôt, en effet, l'enveloppe de la spore éclate à l'un des pôles, tantôt elle s'ouvre vers le milieu. Mais on a reconnu que les deux modes peuvent se rencontrer dans une même espèce; dès lors, le phénomène a perdu de son intérêt au point de vue morphologique.

§ II. — BIOLOGIE

I. — Conditions extérieures du développement.

Aliment. — Il y aurait, comme on l'a vu, un petit nombre de Bactéries capables d'effectuer directement, à la façon des plantes vertes, la synthèse des hydrates de carbone en décomposant l'acide carbonique à la lumière. Toutefois, nous devons faire remarquer que l'existence de ces Bactéries à chlorophylle est aujourd'hui fortement contestée. D'autres sont colorées en rouge par une substance qui vire parfois au bleu ou au brun, la bactério-purpurine; c'est le cas de la plupart des Sulfobactéries, dont il sera question plus loin. Grâce à cette matière colorante, elles pourraient, d'après Engelmann, assimiler le carbone de l'acide carbonique à la lumière; mais cette propriété, qui reste douteuse pour quelques auteurs, est en tout cas peu marquée. Ces organismes ne forment d'ailleurs ni amidon, ni composé analogue bleuissant par l'iode, caractère qui les rapproche des Algues bleues en les éloignant des plantes vertes.

Les autres Bactéries ont besoin d'aliments tout préparés. Cependant, on observe à cet égard une remarquable exception chez les Nitrobactéries, isolées récemment par Winogradsky : sans pigment assimilateur ni lumière, elles sont capables de vivre dans un milieu exclusivement minéral, composé, par exemple, de sulfate d'ammoniaque, phosphate de potasse et carbonate de chaux; suivant l'espèce, elles forment un nitrite ou un nitrate, et empruntent au carbonate le carbone dont elles ont besoin.

Quels sont, pour les Bactéries ordinaires, les principes qui peuvent servir d'aliments? On en distingue trois groupes : les substances azotées, hydrocarbonées et minérales, auxquelles il faut ajouter l'oxygène.

Préciser l'influence exercée par chacun des éléments sur la nutrition d'un micro-organisme est un problème qui n'a encore été résolu que dans un petit nombre de cas. On s'est adressé de préférence aux Champignons inférieurs, tels que l'*Aspergillus*, le *Penicillium* et la levure de bière.

La voie tracée par Pasteur dans ses recherches sur l'alimentation de la levure a été suivie par Raulin dans son travail bien connu sur l'*Aspergillus niger*. Plus récemment, Duclaux et Laurent ont agrandi le champ de nos connaissances sur les besoins alimentaires de cette dernière Mucédinée, et sur ceux du *Penicillium* et de la levure de bière. La conclusion générale qui ressort de l'ensemble de ces observations, c'est que la valeur d'un aliment n'est pas une chose absolue, mais relative aux conditions dans lesquelles se trouve la plante. L'étude de l'*Aspergillus*, surtout, montre qu'il y a des aliments de croissance, d'âge mûr, de réserve, d'attente, des aliments de fonction qui ne sont utiles qu'à une certaine période du développement de la plante et pour certaines de ses cellules.

Comme les Mucédinées, mais à un moindre degré, les levures sont facilement polyphages; elles se prêtent mieux à l'observation que d'autres micro-organismes délicats sur le choix des aliments. On a constaté ainsi que la levure de bière peut emprunter sa matière organique à une foule de substances, telles que les sucres, les composés hydrocarbonés susceptibles de se convertir en sucre par hydratation (glycogène, dextrine, empois d'amidon), des glucosides comme la salicine, la coniférine, l'amygdaline, etc., la gomme arabique, la gélose, divers alcools polyatomiques, divers acides libres ou à l'état de sel (acide acétique, lactique, malonique, succinique, tartrique, malique, etc.), des amides (asparagine, etc.), quelques alcaloïdes, la peptone, la caséine, l'albumine de l'œuf, etc. — Parmi les composés minéraux azotés, les nitrites sont inassimilables; les nitrates le sont peu; l'azote de l'ammoniaque est préféré par la levure à celui de l'acide nitrique.

Ces données sont applicables à beaucoup de Bactéries, et les observations précises qui les ont fournies peuvent servir de guide dans la recherche des éléments les plus favorables à la nutrition. Mais les besoins des diverses espèces, prises isolément, sont loin d'être connus, et il ne faut pas oublier que les résultats, en cette matière, ne peuvent avoir de valeur que pour le cas spécial que l'on envisage.

Ce qu'on sait de général, c'est que certaines Bactéries exigent d'abondantes quantités d'albumine et que leur substratum nutritif ne peut varier que dans des limites très restreintes. D'autres supportent de grands changements dans le milieu nutritif, mais pourtant exigent toujours des solutions relativement concentrées de substances complexes; d'autres enfin se contentent des solutions les plus simples et les plus diluées. Parmi les Bactéries les plus sensibles à cet égard, il faut ranger surtout les espèces pathogènes, lesquelles vivent souvent en parasite sur un hôte déterminé et dédaignent tout autre substratum nutritif vivant ou mort (microbe de la lèpre, de la fièvre récurrente), ou qui exigent pour leur développement, tout au moins, du sérum ou des mélanges d'albumine soluble et de 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.

On sait aussi que le milieu nutritif doit avoir ordinairement une réaction neutre ou légèrement alcaline, mais qu'il existe quelques espèces qui végètent très bien en présence d'un léger excès d'acide (bacilles du lait bleu, du vinaigre). D'autres supportent un degré d'alcalinité très prononcée (microcoque de l'urée, etc.); un grand nombre changent, au cours de la végétation, la réaction primitive du milieu de culture.

L'état sous lequel se présente l'aliment a une grande influence; mais c'est chose vaine que d'essayer, comme on l'a fait, d'établir une échelle générale des propriétés nutritives des principaux composés hydrocarbonés ou azotés : chaque micro-organisme a ses besoins particuliers.

A l'égard d'un même aliment, des microbes divers peuvent se comporter de façons bien différentes; de même, en présence de deux composés, formés des mêmes éléments combinés dans les mêmes proportions, un microbe donné pourra manifester sa préférence pour l'un ou l'autre de ces composés, s'il existe quelque différence dans la structure moléculaire. Plusieurs sucres et acides organiques en fournissent des exemples frappants. La mannite et la dulcité sont deux isomères dans lesquels le groupement des atomes offre si peu de différence qu'on ne sait pas encore exactement en quoi elle consiste. Cependant, le Pneumocoque de Fraenkel fait fermenter la mannite, non la dulcité. On sait aussi comment Pasteur a réussi à séparer l'un de l'autre les acides tartriques droit et gauche 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. C'est grâce à une semblable faculté élective, journallement mise en œuvre aujourd'hui dans les recherches stéréochimiques, que Frankland a démontré aussi la présence, dans l'acide glycérique, de deux corps prévus dans la théorie de Le Bel et Van't Hoff : le *Bacillus ethaceticus* consomme la totalité des molécules dextrogyres de cet acide et laisse intactes les molécules lévogyres. De même encore, l'un des sucres artificiels obtenus par

Fischer, la fructose, est inactif, mais formé 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 !

N'est-il pas curieux de voir aussi que, parmi les sucres si bien étudiés par Fischer, paraissent seuls capables de fermenter, c'est-à-dire de servir aux besoins nutritifs anaérobies de la levure, ceux qui renferment trois, six ou neuf atomes de carbone ?

C'est encore à une influence exercée par l'aliment qu'il faut rapporter les mouvements qui portent les Bactéries vers certaines substances ayant sur elles une action chimique. Après avoir constaté que les anthérozoïdes des Fougères et des Mousses sont attirés par l'acide malique ou par le sucre, Pfeffer démontra que des phénomènes identiques s'observent chez les Bactéries et que toute bonne substance nutritive exerce sur elles une action attractive. La chimiotaxie, positive ou négative, est déterminée par la nature spécifique des substances chimiques, et non par des mouvements de diffusion des liquides. Ces observations, on le sait, ont été le point de départ des recherches sur les propriétés chimiotaxiques des leucocytes et sur la phagocytose.

Charrin a établi que le Bacille pyocyanogène poussait d'une façon très inégale dans des bouillons contenant des peptones, du sucre, du glycogène, de l'urée, de l'acide lactique, etc. ; ce Bacille préfère les peptones aux hydrates de carbone ; l'inverse a lieu pour d'autres parasites, tels que l'*Oospora Guignardi* que l'on rencontre dans les bronches de l'homme. Ces différences dans la composition des bacillons correspondent aux différences du milieu offertes par de la rate, le foie, le rein, les muscles. Or, l'expérience prouve que, dans ces organes, ce même bacille pyocyanogène pullule d'une façon inégale : il pousse plus aisément dans la rate et dans le foie que dans les muscles.

Action de l'oxygène. — On sait qu'il n'y a nulle part création de cellules nouvelles sans absorption d'oxygène. Mais, tantôt ce corps doit être à l'état libre, tantôt il est emprunté à un composé oxygéné. Entre les *aérobies* qui ne peuvent vivre sans air (Bacilles du charbon, du choléra des poules, *Bacillus subtilis*, *aerophilus*, etc.), et les *anaérobies vrais*, dont le développement est arrêté par l'oxygène (Vibrions septique, butyrique, Bacille de l'œdème malin, etc.), il y a de nombreuses formes intermédiaires, des anaérobies facultatifs (microbe de la septicémie des souris, du rouget du porc, Bacille virgule, etc.). Le fait, énoncé d'abord par Pasteur, d'une vie se passant à l'abri de l'oxygène a bientôt été constaté également par M. Nencki, Prazmowski, Rosenbach, Nægeli, etc. 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. Les discussions byzantines qu'on a soulevées sur la question de savoir si les anaérobies peuvent vivre sans la moindre trace d'oxygène n'ont pas avancé la science, et, même résolue négativement, cette question n'ôterait rien à la fonction des ferments en tant qu'anaérobies.

Toute cellule vivante a besoin pour vivre et se développer de trouver quelque part une source d'énergie. Quand la levure 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 aérobie 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 20, 30 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 exemple si instructif, est le propre des fermentations. Elle est bien digne de fixer l'attention, si l'on songe aux liens étroits qui existent fréquemment entre le caractère pathogène des microbes et le caractère ferment.

La faculté de la vie anaérobie n'appartient d'ailleurs pas exclusivement à certains micro-organismes. Si, comme la levure en fournit la preuve, elle est la conséquence de la nutrition des cellules dans des conditions spéciales, différentes pour beaucoup d'entre elles de celles de leur vie ordinaire, on conçoit que, dans les mêmes conditions, les organismes supérieurs puissent manifester les mêmes phénomènes que la levure. Effectivement, un fruit sucré, une betterave, placés dans une atmosphère d'acide carbonique fournissent, comme la levure, de l'alcool et de l'acide carbonique. Dans l'économie animale, les produits normaux du dédoublement des matières albuminoïdes seraient dus également, selon A. Gautier, à des actions réductrices en rapport avec un fonctionnement anaérobie des tissus de certains organes.

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 toujours, 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 également que, parfois, cette dernière est telle dans les lignites, les meules de foin, les balles de coton, qu'une inflammation spontanée peut s'en suivre. En expérimentant sur quelques livres de poussière et déchets de coton, arrosées d'une fois et demie leur poids d'eau, F. Cohn a constaté récemment 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. On peut ajouter encore que Schottelius et Karlinski, ayant enfoui dans le sol des organes parasités provenant de l'homme ou des animaux, ont vu que la pullulation des microbes dans ces organes s'accompagnait d'une élévation de température de 15 à 20° au-dessus de celle du sol.

Dans la végétation des aérobies, l'influence de l'oxygène libre se manifeste souvent par la formation d'un voile à la surface des cultures. Chez les espèces mobiles, telles que le *Bacillus subtilis*, elle s'exerce aussi d'une façon très marquée sur les mouvements, qui peuvent cesser complètement si ce gaz vient à faire défaut. Qu'on mette des bactéries aérobies dans une goutte d'eau privée d'oxygène et dans laquelle on a placé des Algues vertes; on remarquera que si l'on éclaire assez la préparation pour que l'action chlorophyllienne puisse se produire à la lumière, les Bactéries s'agitent d'un mouvement très vif dès que l'oxygène se dégage, propriété qui peut servir à déceler des traces infinitésimales de ce gaz. Certains spirilles, étudiés par Engelmann, fuient les endroits où l'oxygène est en trop grande abondance et se montrent intermédiaires entre les aérobies et les anaérobies.

Nécessaire, chez les Champignons et les levures pour la formation des spores, l'oxygène l'est aussi chez les Bactéries aérobies, dont plusieurs,

tout au moins, restent immobiles pendant la sporulation. Mais les anaérobies ne fructifient qu'à l'abri de l'oxygène et restent mobiles à cette période. La même différence se manifeste, chez ces deux catégories de microbes, dans l'influence de ce gaz sur la germination des spores.

Tout en étant indispensable au développement d'un grand nombre de Bactéries, l'oxygène libre peut aussi, dans certaines conditions, leur être fatal. Duclaux a constaté que certains microbes, dont les liquides de culture avaient été soustraits à l'action de l'air, se conservaient beaucoup plus longtemps qu'à son contact. Mais, sous ce rapport, les observations sont encore trop peu nombreuses pour qu'on puisse généraliser; d'ailleurs, d'autres causes peuvent concourir à cette disparition de vitalité.

Pasteur a montré le rôle de l'oxygène dans l'atténuation de certains microbes, en particulier celui du choléra des poules, dont la virulence diminue au contact de l'air, alors que les mêmes cultures peuvent la conserver intacte pendant plus de dix mois en tube scellé. On sait aussi que sous l'influence combinée de l'air et d'une température à 42°,5, le Bacille du charbon perd la propriété de donner des spores et s'atténue. Portés dans de nouvelles cultures, les bacilles se multiplient et conservent les degrés d'atténuation divers auxquels on les a pris; et, chose plus importante, ces cultures à 42°,5 fournissent, quand on les place à la température de 27°, des spores qui fixent pour longtemps la virulence atténuée des bacilles dont ils proviennent. Rappelons enfin, à ce sujet, que l'atténuation de la Bactéridie charbonneuse a été réalisée par Chauveau, à l'aide de l'oxygène comprimé, sous une pression inférieure à celle qui tue le protoplasme.

Action de la pression. — Si, dans ce dernier cas, l'oxygène paraît bien être le facteur essentiel, sinon exclusif de l'atténuation, on peut se demander jusqu'à quel point l'action physique de la pression elle-même intervient dans les manifestations vitales des microbes. Mais on ignore quelle serait cette action en présence d'un gaz inerte.

Certes avait cru que la putréfaction se produit encore sous une pression de 550 à 500 atmosphères. En opérant à 700 atmosphères, Regnard n'a remarqué de putréfaction dans aucune de ses expériences; mais il reste à savoir jusqu'à quel point la vitalité des microbes était suspendue ou supprimée.

Cette question nous amène à mentionner les expériences dans lesquelles d'Arsonval et Charrin ont soumis le Bacille pyocyanique à une pression de 50 atmosphères sous l'acide carbonique. Les cultures soumises à cette pression, comme celles qu'elle a servi à ensemercer, étaient faites sur agar. En moins de dix heures on amène la mort du bacille; la sécrétion pigmentaire disparaît après six heures de pression. Mais c'est la fonction de multiplication qui paraît atteinte la première, tandis que, dans des expériences dont il sera question plus loin, l'action de l'électricité s'exerce en premier lieu sur la sécrétion du microbe.