

en une seule et même espèce, susceptible d'acquérir ou de perdre, suivant les milieux, ses propriétés pathogènes.

CHAPITRE II

BIOLOGIE

§ I. — CONDITIONS EXTÉRIEURES DU DÉVELOPPEMENT

SOMMAIRE : 1° Caractères biologiques distinctifs des Bactéries et des Champignons inférieurs. — 2° Aliment : A. Éléments minéraux; recherches de Raulin; — B. Substances azotées et hydrocarbonées. Pouvoir électif des microbes; — C. Oxygène : 1° Action sur l'état de vie active : aérobies et anaérobies; 2° action sur la formation et sur la vitalité des spores; 3° action sur les propriétés physiologiques. — 3° Influence des agents physiques : A. Température : 1° Influence sur l'état végétatif : minimum, optimum, maximum; 2° Influence sur la formation, la germination, et la résistance des spores. — B. Lumière : 1° Influence sur l'état de vie active : a, cas des Bactéries pourpres; b, cas des autres Bactéries; 2° Influence sur les spores; 3° Action des différents rayons du spectre solaire; 4° Modifications de forme et de fonction. — C. Pression. — D. Électricité. — E. Actions mécaniques. — F. Agents chimiques.

§ II. — ACTION DES BACTÉRIES SUR LE MILIEU — MANIFESTATIONS VITALES

SOMMAIRE : 1° Décomposition des matières hydrocarbonées et azotées; fermentation et putréfaction. — 2° Sécrétions et excréments : diastases, toxines, ptomaines. — 3° Concurrence vitale : antagonisme, symbiose et association. — 4° Chimiotaxie et phagocytose.

§ I. — CONDITIONS EXTÉRIEURES DU DÉVELOPPEMENT

1° CARACTÈRES BIOLOGIQUES DISTINCTIFS DES BACTÉRIES ET DES CHAMPIGNONS INFÉRIEURS

Le rôle capital des Bactéries dans l'économie de la nature découle de l'impossibilité où elles se trouvent, à de rares exceptions près, d'assimiler directement le carbone de l'acide carbonique, comme le font les plantes vertes à la lumière. De là, pour ces êtres, la nécessité d'emprunter leur carbone à des composés organiques préformés qui leur sont fournis par les végétaux ou par les animaux morts ou vivants, à l'égard desquels ils jouent le rôle de saprophytes ou de parasites. Commencée par les animaux, la décomposition des matières organiques élaborées par les plantes à chlorophylle est achevée par les micro-organismes, et ces matières, par une série d'étapes successives auxquelles correspondent des espèces microbiennes différentes, sont finalement ramenées aux combinaisons les plus simples : eau, acide carbonique, ammoniac ou azote, que la plante verte fera de nouveau rentrer dans la circulation vitale.

Deux faits essentiels dominent l'histoire biologique des Bactéries et des Champignons inférieurs, levures et mucédinées : le premier consiste dans une multiplication extraordinairement active, d'où résulte une rapide consommation

de matières nutritives; le second résulte de ce que, souvent, ces micro-organismes n'utilisent, pour leur développement, qu'une minime partie des substances dont ils provoquent la décomposition.

La levure de bière, par exemple, quand elle vit à l'abri de l'air et fonctionne comme ferment, n'emploie guère pour son propre compte que la centième partie du sucre qu'elle transforme en alcool, acide carbonique et produits accessoires; ses besoins alimentaires, comparés à ceux de l'homme auquel suffit, par jour, un poids de nourriture égal environ à 1/50 du poids du corps, sont à poids égal au moins 250 fois plus grands.

C'est cette puissance destructive à l'égard des substances organiques qui constitue le caractère le plus saillant de la vie d'un grand nombre de micro-organismes.

En raison de l'analogie des propriétés biologiques, nous envisagerons à la fois, dans les pages suivantes, les Bactéries et les Champignons inférieurs.

2° ALIMENT

Tout organisme exige, pour vivre et se développer, des aliments azotés, hydrocarbonés et minéraux, un milieu gazeux et une température convenables.

Chez les êtres qui nous occupent, les besoins nutritifs et les conditions de la vie sont loin d'être aussi simples que semblent le comporter au premier abord leur infinie petitesse, la simplicité de leurs formes et de leur organisation, la facilité de leur développement. Nombre d'entre eux exigent un aliment hydrocarboné déterminé, la plupart sont difficiles sur le choix de leur aliment azoté; ils demandent souvent, en fait de sels minéraux, un mélange nutritif complexe; enfin leur sensibilité à l'égard des agents physiques est parfois extrême.

On sait encore que les moindres changements dans la réaction acide ou alcaline du milieu de culture ont une grande influence. Tandis que les moisissures et les levures préfèrent les milieux acides, la plupart des Bactéries ont besoin d'un milieu neutre ou légèrement alcalin; la présence d'un acide en faible proportion suffit souvent pour ralentir ou même supprimer la végétation. Mais cette règle générale souffre aussi des exceptions : la Bactérie du kéfir, le Bacille du lait bleu croissent très bien en présence de l'acide lactique. Inversement, d'autres supportent une alcalinité très prononcée, comme le Microcoque de l'urée, qui végète encore dans un milieu renfermant jusqu'à 15 pour 100 d'ammoniac. Un grand nombre enfin changent, au cours de leur développement, la réaction primitive du milieu de culture.

Préciser la nature et le rôle de chacun des éléments minéraux organiques ou dans la nutrition d'un micro-organisme est un problème qui n'a encore été abordé avec succès que dans un petit nombre de cas. Ce problème consiste à trouver un milieu de culture, non seulement propre à la vie de l'espèce que l'on étudie, mais encore tel que, dans un temps donné, avec un poids déterminé de substance nutritive, le poids du végétal obtenu atteigne un maximum, supérieur même à celui qu'on obtient dans les milieux naturels en apparence les plus favorables. Pour le résoudre, on s'est adressé de préférence aux levures et aux mucédinées.

A. Éléments minéraux; recherches de Raulin. — Pasteur, dans ses recherches sur la levure de bière, avait employé un milieu artificiel, qui ne renfermait, à

côté du sucre, que des sels minéraux purs, de composition connue. Mais ce milieu artificiel était inférieur aux milieux naturels, en ce sens que la levure ne s'y développait pas aussi bien que dans ceux-ci. En tout cas, la voie à suivre était tracée. La question fut résolue par Raulin dans son mémoire classique sur l'*Aspergillus niger* (*Sterigmatocystis nigra*).

Cette mucédinée pousse très facilement sur les fruits ou liqueurs acides, tels que les tranches ou le jus de citron, et l'on pourrait croire que rien ne lui convient mieux que ces milieux. C'est le contraire qui est vrai. Le milieu de culture employé renfermait les substances suivantes :

Eau	1500 ^{gr}
Sucre candi	70
Acide tartrique	4
Nitrate d'ammoniaque	4
Phosphate d'ammoniaque	0,6
Carbonate de potasse	0,6
Carbonate de magnésie	0,4
Sulfate d'ammoniaque	0,25
— de zinc	0,07
— de fer	0,07
Silicate de potasse	0,07

Dans ce liquide nutritif, le sucre est l'aliment hydrocarboné. L'acide tartrique a pour rôle de maintenir l'acidité du liquide et d'empêcher le développement des Bactéries. Lorsque le sucre a complètement disparu, et dans ce cas seulement, l'acide tartrique est brûlé à son tour, comme le sont en général les aliments hydrocarbonés.

On ensemence avec quelques spores d'*Aspergillus*, dans des vases où le liquide occupe une hauteur de 2 à 3 centimètres et dans un air humide et renouvelé, à une température de 55° à 57°. Au bout de 3 jours, le cycle de la végétation est complet et la plante a fructifié; on l'enlève pour un nouveau semis. Les deux récoltes réunies représentent, à l'état sec, un poids de 25 grammes.

Si l'on cherche par quel chiffre se mesure l'utilité de chaque élément, en cultivant la plante dans des liquides privés successivement des substances dont on veut déterminer l'action, on constate que la suppression de la potasse fait descendre la récolte de 25 grammes à 1 gramme, c'est-à-dire à 1/25 de ce qu'elle était, que celle de l'ammoniaque la fait tomber à environ 1/150, celle de l'acide phosphorique à près de 1/200, etc. De sorte que, si l'on représente l'action de la potasse par 25, on aura pour l'action des divers éléments :

Ammoniaque	155
Acide phosphorique	182
Magnésie	91
Potasse	25
Acide sulfurique	25
Oxyde de zinc	10
— de fer	2,7
Silice	1,4

L'un des faits les plus curieux est relatif à l'action du zinc, dont la suppression fait baisser la récolte de 25 grammes à 2^{gr},5, par conséquent au 1/10 de ce qu'elle est dans le liquide normal. Il s'ensuit qu'une minime quantité d'un métal comme le zinc, qui semble au premier abord n'avoir aucune influence sur la

vie d'une plante, est au contraire capable de produire un poids de végétal 700 fois supérieur au sien; et l'*Aspergillus*, si sensible à l'action du zinc, le puise dans une solution, où il est dilué au 1/50 000!

La suppression du fer produit des résultats du même ordre de grandeur que celle du zinc. Mais son rôle est tout différent: tandis que le zinc entre dans la plante comme élément constitutif de ses tissus, le fer ne paraît agir qu'en détruisant, au fur et à mesure de sa production, un poison sécrété par la plante. Le zinc est un aliment physiologique, le fer est un contrepoison physiologique.

À côté de ces substances favorables, il en est de nuisibles à des doses infinitésimales. La plante refuse de pousser en présence de 1/500 000 de sublimé et même dans un vase d'argent quand on essaye de l'y cultiver, bien que l'analyse chimique soit impuissante à déceler la moindre trace d'argent dans le liquide de culture.

On voit quels enseignements curieux se dégagent de l'étude de l'alimentation minérale de l'*Aspergillus*. Les autres moisissures, les levures et les Bactéries ne sont pas moins impressionnables que lui. Toutes ont leurs besoins spéciaux, une vie propre et complexe. Telle espèce exige de la chaux, dont l'*Aspergillus* n'a que faire; telle autre du manganèse. Le *Penicillium glaucum*, si voisin de l'*Aspergillus*, pousse bien dans le liquide Raulin, mais il s'y développe encore mieux quand on y ajoute un peu de sulfate de chaux.

Si maintenant, nous plaçant à un point de vue général, nous cherchons à savoir quel est le pouvoir nutritif comparé des principales substances organiques, soit comme source d'azote, soit comme source de carbone, nous nous trouvons en face de nombreuses inconnues. On a bien constaté que, pour les composés organiques azotés et hydrocarbonés, le pouvoir nutritif est jusqu'à un certain point en rapport avec la composition et la structure moléculaire. Mais c'est presque chose vaine de vouloir, à l'exemple de certains auteurs, établir sur des considérations de ce genre une échelle des propriétés nutritives applicable à l'ensemble des micro-organismes. Contentons-nous donc de mentionner quelques données générales, d'abord sur la nutrition azotée, ensuite sur la nutrition hydrocarbonée.

B. Substances azotées et substances hydrocarbonées. — Les substances nutritives azotées les plus favorables sont avant tout les albumines solubles et les peptones. Puis viennent les suivantes: urée, leucine, asparagine, acétamide, oxamide, sels de méthyl- et éthylamine, sels ammoniacaux (chlorhydrate, phosphate, nitrate, acétate, oxalate, succinate, tartrate, etc.).

Comme les plantes vertes, les Champignons peuvent aussi prendre leur azote aux nitrates, mais parfois ils préfèrent les sels ammoniacaux. Laurent a constaté que l'*Aspergillus glaucus* se développe beaucoup plus vite en présence des nitrates que des sels ammoniacaux; mais l'*Aspergillus niger* préfère ces derniers. Le *Penicillium glaucum* emprunte également bien son azote aux deux sortes de sels.

Les aliments azotés des moisissures conviennent également aux levures; mais la valeur nutritive de l'un d'eux considéré en particulier n'est pas la même pour toutes les espèces. À l'inverse des autres levures, le *Saccharomyces octosporus*, par exemple, se nourrit difficilement de peptone. En général, les levures préfèrent les sels ammoniacaux aux nitrates; elles n'assimilent pas l'azote des nitrites, qui semblent même plutôt vénéneux. Mais, quand les sels ammoniacaux consti-

tuent exclusivement et d'une manière continue la source d'azote, elles paraissent dégénérer; leur contenu cellulaire devient plus riche en graisse et plus pauvre en azote.

Pour les Bactéries, ce sont aussi les albumines diffusibles qui forment la meilleure source d'azote. Toutefois, les besoins des diverses espèces, prises isolément, sont encore beaucoup plus variables que ceux des moisissures et des levures. Comme celles-ci, elles assimilent les sels ammoniacaux et les nitrates. Ces derniers sont réduits à l'état de nitrites, puis d'ammoniaque, ainsi qu'on l'a souvent constaté dans les fermentations anaérobies qui dégagent de l'hydrogène. Plusieurs Bactéries pathogènes aérobies possèdent aussi cette propriété réductrice, par exemple le microbe du choléra des poules, du charbon, etc.; mais leur action sous ce rapport est faible, et il s'agit probablement d'un phénomène secondaire en rapport avec une insuffisance d'oxygène.

Il existe également, comme on sait, un groupe de Bactéries vivant dans les tubercules radicaux des Légumineuses et possédant le pouvoir de fixer l'azote atmosphérique. On reviendra ultérieurement sur cette curieuse propriété.

En recherchant par une méthode purement empirique la valeur de diverses substances comme source de carbone, Nægeli les avait classées dans l'ordre suivant : 1° sucres; 2° mannite, glycérine et leucine; 3° acides tartrique, citrique, succinique, asparagine; 4° acide acétique, alcool éthylique; 5° acide benzoïque, salicylique, etc. Mais, comme cette valeur change suivant la nature de la source d'azote, il a ensuite associé ou choisi de la façon qui suit les substances devant fournir le carbone et l'azote : 1° albumine (peptone) et sucre; 2° leucine et sucre; 3° tartrate d'ammoniaque, ou chlorhydrate d'ammoniaque et sucre; 4° albumine (peptone); 5° leucine; 6° tartrate d'ammoniaque, succinate d'ammoniaque, asparagine; 7° acétate d'ammoniaque.

Toutefois, ces données sont loin d'être applicables à toutes les espèces de Bactéries; elles n'indiquent nullement, pour chacune d'elles, l'ordre des éléments nutritifs les plus favorables.

D'ailleurs, ainsi que Duclaux l'a constaté, la valeur d'un aliment n'est pas chose absolue, mais relative aux conditions dans lesquelles se trouve la plante. L'étude de l'*Aspergillus*, notamment, lui a montré qu'il y a des aliments de croissance, d'âge mûr, de réserve, des aliments de fonction qui ne sont utiles qu'à une certaine période du développement de la plante et pour certaines de ses cellules. Wasserzug a vu que, dans un milieu nutritif contenant du saccharose, certaines moisissures développent leur appareil végétatif sans toucher au sucre; puis, au moment où elles produisent leurs spores, et seulement à ce moment, elles sécrètent de l'invertine pour dédoubler le saccharose, qui sert alors à la formation des cellules reproductrices. Des faits du même genre se retrouvent fréquemment chez les plantes supérieures, où certaines réserves ne sont employées qu'à une certaine période et dans un but déterminé. D'autres moisissures au contraire, telles que l'*Aspergillus* et le *Penicillium*, utilisent le saccharose dès le début de leur développement.

Chaque organisme doit donc être l'objet d'une étude particulière, et les résultats n'ont de valeur que pour le cas spécial que l'on envisage. A côté d'espèces très délicates sur le choix des aliments il en est d'autres qui sont beaucoup moins difficiles et facilement polyphages. Laurent a montré, par exemple, que la levure de bière peut emprunter sa matière organique à des substances beau-

coup plus nombreuses et variées qu'on ne l'avait pensé, telles que divers sucres, des composés hydrocarbonés susceptibles de se transformer en sucres par hydratation (glycogène, dextrine, empois d'amidon), des glucosides (salicine, coniférine, amygdaline, etc.), la gomme arabique, la gélose, divers alcools polyatomiques, divers acides libres ou à l'état de sels (acétique, butyrique, malonique, succinique, tartrique, malique, etc.), des amides (asparagine, etc.), et même certains alcaloïdes.

Pouvoir électif des microbes. — Il est à remarquer aussi que la valeur nutritive d'une substance déterminée peut changer, à l'égard d'un même organisme, suivant la proportion des autres substances alimentaires qui l'accompagnent. Il résulte, en effet, des observations de Pfeffer, que, si l'*Aspergillus niger* se trouve en présence d'un mélange de dextrose et de glycérine dans lequel le premier prédomine, il ne touche pas à la glycérine. C'est ce qui arrive quand il y a 8 pour 100 de dextrose et 1 pour 100 de glycérine; car, pour l'espèce en question, la dextrose est un bon aliment, tandis que la glycérine en est un médiocre. Mais, si les proportions sont de 4 pour 100 de dextrose et de 2 pour 100 de glycérine, cette dernière est partiellement utilisée. Il peut donc s'établir une compensation entre la mauvaise qualité et la quantité d'un aliment. Le *Penicillium glaucum* fait moins de différence, car, dans un mélange de 8 pour 100 de dextrose et de 1 pour 100 de glycérine, environ 40 pour 100 de celle-ci disparaissent.

Que deux espèces, même voisines, ne se comportent pas de la même façon à l'égard d'une même substance, la chose n'a plus lieu maintenant de nous étonner. Beijerinck en a donné des exemples pour les levures, parmi lesquelles les unes font fermenter, les autres ne font pas fermenter tel ou tel sucre, attaquent ou n'attaquent pas la dextrine, la glycérine. Mais, que deux variétés d'une même espèce puissent offrir de semblables différences, le fait doit paraître plus surprenant. Il semble pourtant en être ainsi pour le Pneumocoque de Friedlander. Frankland et ses élèves avaient constaté que ce microbe fait fermenter les solutions de glucose, saccharose, lactose, maltose, raffinose, dextrine et mannite, mais reste sans action sur la glycérine et la dulcité. En étudiant la même espèce provenant d'une autre origine, Grimbert a reconnu que, non seulement le microbe attaque les sucres qu'on vient de citer, mais aussi et très énergiquement la glycérine. Avec ce microbe, on remarque un rapport manifeste entre la fonction chimique ou la formule de constitution des hydrates de carbone employés et les produits de leur décomposition : l'acide lactique gauche a été fourni seulement par les hydrates de carbone possédant une fonction alcool (à l'exception de la dulcité), quel que soit le nombre de leurs atomes de carbone; les saccharoses ont donné un mélange d'acide lactique et d'acide succinique; les hydrates de carbone d'un poids moléculaire plus élevé, amidon et dextrine, ont donné seulement de l'acide succinique.

Il existerait donc au moins deux Pneumobacilles de Friedlander, morphologiquement semblables, mais différant profondément entre eux par leurs actions fermentatives. En fait, il ne manque pas de raisons pour admettre qu'une différence de nutrition peut provenir d'une adaptation progressive.

A l'égard 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 y a quelque différence dans la structure molé-