

fixes pour l'espèce, elle se partage en deux parties égales. On a pu constater que, souvent, il ne s'écoule que 20 à 50 minutes entre deux divisions successives, ce qui explique l'envahissement si rapide de certains milieux par les Bactéries.

La marche de la division ne peut être suivie dans les détails que chez les formes les plus grosses. Butschli l'a observée dans le *Chromatium*, qui appartient au groupe des Bactéries sulfureuses. Dans cette espèce, une cloison commence à se développer en anneau à la périphérie; pendant ce temps, les extrémités correspondantes des deux cellules filles s'arrondissent, puis se détachent l'une de l'autre. Un nouveau cil apparaît au pôle antérieur de la cellule mère, peu de temps avant la séparation définitive; de sorte que l'une des bactéries filles subit toujours un renversement des pôles, par comparaison avec la bactérie mère. Cette formation du flagellum est intéressante également, en ce qu'elle montre bien qu'il ne résulte pas d'un étirement de la lamelle moyenne gélatinisée de la cloison commune aux deux cellules filles.

D'une façon générale, on constate que, lorsque la cellule est sphérique, tantôt elle commence à s'allonger en forme de biscuit, avant de s'étrangler et de se couper, comme dans le *Chromatium*, en deux moitiés qui s'arrondissent en s'isolant (*Micrococcus ureæ*, etc.), ou en restant accolées en file (*Streptococcus*): par suite, l'étranglement accompagne ou suit de très près le cloisonnement; tantôt les deux moitiés se séparent par une cloison et présentent une forme hémisphérique, en restant accolées plus ou moins longtemps par leur face plane (*Diplococcus meningitis*, etc.); parfois même, cette face interne paraît légèrement concave, de sorte que les deux éléments semblent réniformes (*Micrococcus gonorrhœæ*): ici donc, l'étranglement n'accompagne pas le cloisonnement.

L'aspect lenticulaire de la cloison qui sépare les deux cellules rappelle celui qu'on observe chez les *Spirogyra* et autres Algues chlorophycées, où la désarticulation d'un tronçon de filament commence par le décollement central de la cloison médiane.

Lorsque la cellule est en bâtonnet, elle peut se diviser aussi suivant les deux modes précédents. Si la cloison ne se dédouble pas, les cellules restent unies en filament plus ou moins long; les cloisons de séparation sont parfois si minces qu'il est nécessaire de les colorer ou de contracter le protoplasme pour les apercevoir.

Tandis que les formes arrondies se divisent, comme on l'a vu, suivant les espèces, dans une, deux ou trois directions, les formes plus ou moins allongées ou spiralées ne se divisent qu'en direction transversale. Il est vrai que Metschnikoff a signalé, chez un organisme qu'il considère comme une bactérie, le *Pasteuria ramosa*, une division longitudinale s'opérant d'une façon incomplète et permettant la production de formes ramifiées, lesquelles restent unies en colonies; mais la nature bactérienne de cet organisme reste douteuse.

#### 8° SPORULATION

On désigne sous le nom de spores, en général, des cellules spéciales qui, se séparant de la plante mère, peuvent dans certaines conditions germer et reproduire une nouvelle plante. Perty a eu sous les yeux, en 1852, la formation de la spore dans un bacille qu'il appela *Sporonema gracile*; mais cette observation, insuffisante au point de vue biologique, a passé inaperçue. En réalité, c'est Pas-

teur qui, le premier, a caractérisé la spore des Bactéries, en montrant que les corpuscules germes de la flacherie des vers à soie étaient capables de résister pendant longtemps à la dessiccation. Observée ensuite par Cohn dans le *Bacillus subtilis*, par Koch dans le *Bacillus anthracis*, la formation de la spore a été constatée depuis dans nombre de Bactéries.

Les spores apparaissent surtout quand le milieu nutritif est devenu impropre à la croissance, soit par épuisement de quelqu'un des principes nécessaires, soit par accumulation des produits sécrétés par la plante et qui sont nuisibles à son développement.

Toutefois, dans plusieurs cas, comme dans les formes comprises sous le nom de *Bacillus amylobacter*, une partie des cellules donne des spores, tandis que les autres continuent à végéter et à se diviser. De même, chez le *Bacillus mesentericus vulgatus*, les spores apparaissent dans les cultures à 56-58°, au bout de 4 à 5 jours, et, 2 mois plus tard, on retrouve encore dans le même milieu des bacilles en voie de division. Ici, par conséquent, la spore prend naissance comme chez beaucoup de Champignons, ou comme la graine des plantes supérieures, simplement parce qu'elle est une forme de l'évolution du bacille; c'est un puissant moyen de rajeunissement de l'espèce.

Néanmoins, pour montrer que le phénomène dépend ordinairement des conditions de milieu, il suffit de rappeler que le *Bacillus anthracis* ne fait pas de spores dans le sang des animaux vivants, tandis qu'il les produit dans le bouillon de poule, où sa culture est facile; le Bacille de la Jacinthe ne les forme pas non plus dans l'intérieur de la plante vivante, mais seulement dans les liquides de culture.

On a distingué et on distingue encore souvent, d'après leur mode de formation, deux sortes de spores: les *endospores* et les *arthrospores*. Les premières, ou spores ordinaires, sont de beaucoup les plus répandues; elles résultent de la condensation totale ou partielle du contenu cellulaire, autour duquel apparaît une nouvelle membrane, à l'intérieur de la membrane de la cellule mère, qui se détruit ensuite pour mettre la spore en liberté. Les secondes n'ont été rencontrées que chez quelques espèces spéciales, assez différentes des Bactéries ordinaires; elles proviennent de la transformation d'une cellule entière, qui grossit et épaissit sa membrane en formant une sorte de kyste capable de passer, comme les premières, à l'état de vie latente.

1° La formation endosporée est connue chez un assez grand nombre de Bactéries plus ou moins allongées ou spiralées; mais, chez les microcoques, le *Sarcina pulmonum* et le *Micrococcus ochroleucus* sont à peu près les seuls chez lesquels on l'a constatée d'une façon certaine.

Avant l'apparition des spores, les cellules ou articles grossissent et se remplissent de matières de réserve. Parfois elles renferment de la substance amylicée et leur contenu se colore en bleu par l'iode (*Bacillus butyricus*, *Spirillum amyliferum*, *Bacterium Pastorianum* et parfois *Leptothrix buccalis*). Ailleurs, il y a sans doute quelque autre hydrate de carbone destiné surtout à l'élaboration de la membrane.

Le contenu cellulaire peut rester homogène ou devenir granuleux. La sporulation est précédée de la transformation granuleuse dans les *Bacillus anthracis*, *subtilis*, *sessilis*, *megatherium*, *leptosporus*, etc.; elle ne l'est pas dans les *B. inflatus*, *carotarum*, etc. Tantôt tout le contenu est employé à la formation de la spore (*B. anthracis*, *carotarum*, *leptosporus*, *subtilis*, *tumescens*, etc.);

tantôt il en reste une partie sous forme de granules (*B. megatherium*, *sessilis*, etc.). Parfois même la spore se forme par contraction locale du contenu cellulaire, resté homogène, et atteint sa grosseur définitive sans que le reste du protoplasme disparaisse. La cellule mère, quand il s'agit d'une bactérie mobile, peut continuer à se mouvoir comme si elle ne renfermait pas de spore (*B. de Baryanus*, *Solmsii*, etc.). Dans la généralité des cas, les cellules mobiles cessent leur mouvement au moment de la formation des spores (*B. subtilis*, etc.).

La spore apparaît d'abord comme une tache très petite, d'un gris mat ou foncé, qui devient réfringente et simule une vacuole ou une gouttelette de matière grasse, puis s'entoure d'une membrane propre. Koch avait même pensé que la spore du *B. anthracis* est réellement formée, sous une membrane résistante et une mince couche protoplasmique, d'une gouttelette graisseuse servant de réserve nutritive pour la germination. Mais les dissolvants des matières grasses n'en changent pas l'aspect, et, comme d'autre part les spores sont plus riches en matière azotée que les bacilles ou spirilles, il est plus rationnel d'admettre que la réfringence est due à la condensation spéciale du contenu cellulaire.

Chez quelques espèces, qu'on rangeait jadis dans le genre *Clostridium*, la cellule, au moment de la sporulation, se renfle dans sa partie médiane en forme de fuseau (*Bacillus amylobacter*, *carotarum*, *alvei*, *inflatus*, etc.), parfois aussi à l'une des extrémités (*B. amylobacter*, etc.). Dans ce dernier cas, la cellule avec sa spore ressemble à un petit clou à grosse tête (*Bacillus tetani*) ou à une massue plus ou moins longue (*Vibrio rugula*, *Bacillus Peroniella*, etc.).

En général, il ne se fait qu'une seule spore par cellule ou article; mais parfois il en naît deux (*Bacillus inflatus*, *Dispora caucasica*, etc.), très rarement un nombre supérieur (*Spirillum endoparagogenicum*).

La spore mûre, arrondie ou ovoïde, offre une grosseur variable par rapport à la cellule mère. Quand elle est moins large, son enveloppe propre apparaît bien distincte et parfois on y distingue nettement deux couches successives, l'endospore et l'exospore (*Bacillus subtilis*, etc.). La difficulté de colorer les spores et leur résistance si grande à divers agents sont dues en grande partie à l'extrême cohésion de cette enveloppe. Quant à leur contenu, il est ordinairement brillant et incolore, parfois de couleur rose (*Bacillus erythrosporus*) ou légèrement verdâtre (*Bacillus de Baryanus*, *macrosporus*, *limosus*, etc.).

2° Les arthrospores se produisent par transformation totale d'une cellule mère, et non, comme les spores ordinaires, par formation endogène. Le seul exemple bien net est fourni par le *Leuconostoc mesenteroides*. Dans cette bactérie, plusieurs cellules, éparses dans les chapelets sinueux de microcoques, grossissent à un moment donné, épaississent leur membrane et prennent un aspect plus réfringent; elles sont mises en liberté par la dissolution de la masse gélatineuse qui les entoure et résistent à la dessiccation et à la privation de nourriture. Ces cellules sont des kystes analogues à ceux de beaucoup d'Algues bleues. Plusieurs autres Bactéries paraissent aussi former des corps analogues, notamment le *Bacterium Zopfii* à la dernière période de son développement, le *Cladothrix dichotoma*, les *Leptothrix* et *Crenothrix*; mais, sous ce rapport, les données des auteurs ne sont pas toujours justifiées. Cette remarque s'applique à l'opinion de Hueppe sur la formation des arthrospores chez le Spirille du choléra et à celle d'autres observateurs dans divers cas. Il est d'ailleurs difficile, sinon même impossible, chez les Bactéries sphériques, de distinguer morphologiquement les arthrospores des cellules végétatives, et la même remarque s'ap-

plique aux spores endogènes, car il pourrait se faire qu'elles remplissent exactement toute la cellule mère. Le seul criterium est la résistance aux agents physiques et chimiques.

#### 9° GERMINATION DES SPORES

La spore germe quand elle trouve un milieu favorable. Tout d'abord elle grossit et perd sa réfringence et son éclat; son exospore se déchire et le contenu sort recouvert par l'endospore, formant une très mince membrane d'enveloppe. L'allongement de la nouvelle cellule a toujours lieu dans le sens du grand axe de la spore quand celle-ci est ovoïde et, par suite, dans la direction même de la cellule mère de la spore. Mais la façon dont s'effectue l'éclosion varie suivant les cas, sans qu'on puisse cependant aujourd'hui en tirer un caractère distinctif constant, comme on l'avait pensé il y a quelque temps.

1° Tantôt l'exospore s'ouvre à l'une des extrémités de la spore ovoïde pour en laisser sortir le contenu. Le jeune bacille est alors coiffé, à l'une de ses extrémités d'une calotte représentant la membrane rompue, qu'il entraîne pendant quelque temps avec lui quand il est mobile; c'est le cas du *Bacillus butyricus*. Il en serait à peu près de même, d'après Prazmowski et Brefeld, dans le *Bacillus anthracis*, bien que d'autres observateurs n'aient pas aperçu la rupture de l'exospore. Il peut se faire aussi que la membrane, grâce à la souplesse qu'elle acquiert au moment de la germination, se distende et reste adhérente au jeune bacille, qui la perce et sort à l'une des extrémités de la spore, comme dans le *Bacillus sessilis*; parfois même, dans cette espèce, la sortie a lieu par les deux extrémités opposées, de sorte que l'exospore adhère comme un manchon à la partie médiane du bâtonnet. Dans le *Bacillus ramosus* de Fränkel, l'exospore se gonfle d'abord, puis la sortie du contenu se produit par l'un ou l'autre des deux modes observés dans le *Bacillus sessilis*.

2° Tantôt l'exospore s'ouvre sur le côté par une fente transversale, perpendiculaire au grand axe de la spore. Le jeune bacille dégage l'une de ses extrémités par cette fente et semble ainsi se diriger perpendiculairement à l'axe; mais ce n'est là qu'une apparence. Le *Bacillus megatherium* est un bon exemple de ce mode de germination. Parfois dans le *Bacillus subtilis*, l'extrémité qui devient libre reste quelque temps engagée dans l'une des deux calottes de l'exospore, avant de devenir libre; le bacille se montre alors courbé; parfois même cette extrémité ne se dégageant pas, l'anse formée par le bacille se cloisonne au niveau de la courbure, de façon à donner l'illusion que la spore produit deux bâtonnets parallèles.

3° Tantôt encore le grossissement de la spore s'accompagne de la gélification progressive de l'exospore, qui finit par disparaître sans se rompre. Le contenu s'allonge en un nouveau bacille recouvert par l'endospore (*Bacillus leptosporus*).

4° Enfin, le *Spirillum endoparagogenicum* offre un exemple dans lequel la germination des spores a lieu à l'intérieur du filament mère, qui porte alors des spirilles de seconde génération formant autant de rameaux latéraux.

Ces différences morphologiques dans le mode de germination des spores, bien qu'elles n'aient pas toujours semblé absolument constantes, n'en constituent pas moins un caractère important. Elles ont contribué, par exemple, à établir la distinction du *Bacillus anthracis* et du *Bacillus subtilis*, que Buchner confondait

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