

montrées moins résistantes dans les deux cas, mais il y avait, entre celles qui avaient été chauffées à l'air et celles qui l'avaient été à l'abri de l'air, une différence analogue à la précédente. L'oxygène de l'air intervient donc d'une façon très active, et son influence est exagérée par une température élevée; mais elle s'exerce aussi à la température ordinaire, surtout lorsqu'elle est aidée par l'action de la lumière.

Parmi les manifestations d'un autre ordre dues à l'action de la chaleur pendant l'état purement végétatif des microbes, nous mentionnerons ici, sans plus amples détails pour le moment, les modifications de la fonction chromogène chez plusieurs Bactéries. On y reviendra ultérieurement.

**B. Lumière : 1<sup>o</sup> Influence sur l'état de vie active : a. Cas des Bactéries pourpres.** — Il est nécessaire d'étudier séparément l'action de la lumière sur les Bactéries colorées et sur les Bactéries incolores. Mais, parmi les premières, nous n'avons à considérer que le groupe particulier dans lequel on a remarqué depuis longtemps le pigment fixé sur le protoplasme connu sous le nom de *bactério-purpurine*. Ce groupe appartient aux Sulfobactéries, dont il sera question plus loin dans un paragraphe spécial. Le pigment qu'il possède lui communique des propriétés qu'on ne rencontre pas chez les autres Bactéries colorées.

La bactério-purpurine imprègne uniformément le protoplasme; sa teinte offre des tons variables : violet pur, pourpre, rose, orange, rouge vineux, rouge brun ou brun. Elle varie selon les conditions de la culture, chez une même espèce; la coloration rouge violacé, qu'on observe quand ces conditions sont les plus favorables, perd de son intensité quand elles deviennent défectueuses, lorsque, par exemple, la proportion d'acide sulfhydrique, qui est nécessaire à ces organismes, devient insuffisante, ou lorsque l'oxygène est en excès.

Sans indiquer ici, avec de plus amples détails, les caractères de la bactério-purpurine, il suffira de connaître l'action qu'elle exerce sur la lumière. Elle offre trois bandes principales d'absorption dans la partie visible du spectre : la première, très nette, dans le jaune, au voisinage de la raie D; la seconde, au voisinage de la raie E, s'étend avec des variations d'intensité jusqu'en F, où se trouve une troisième bande très faible; au delà, et vers le violet, l'intensité croît sensiblement. Mais, de plus, la bactério-purpurine retient des radiations invisibles pour notre œil, situées dans l'infra-rouge, entre les longueurs d'onde 0,80 et 0,90. Cette bande d'absorption est intense et fait défaut dans le spectre de la chlorophylle, ce qui montre que la bactério-purpurine n'est pas un mélange de chlorophylle avec d'autres pigments qui viendraient en masquer la couleur.

A la présence de la bactério-purpurine se rattachent deux sortes de phénomènes, qui ont été étudiés par Engelmann, principalement avec son *Bacterium photometricum*, lequel comprend en réalité plusieurs espèces distinctes de Bactéries pourpres.

Le premier phénomène consiste dans la production de mouvements sous l'influence de la lumière. Ces mouvements sont en général d'autant plus rapides que la lumière est plus vive, d'autant moins qu'elle est plus faible. Dans l'obscurité complète, à la température ordinaire, toutes les Bactéries pourpres finissent ordinairement par tomber en repos, dans un espace de temps d'ailleurs fort variable, suivant les espèces et les conditions d'aération. Bien que le déterminisme exact des phénomènes de mouvement et de repos n'ait pu être précisé par Engelmann, et que les faits énoncés par lui soient en partie mis en doute

par Winogradsky, il semble pourtant bien établi que tout se passe comme si la lumière déterminait la production d'une certaine quantité d'une substance nécessaire au mouvement et qui, dans l'obscurité, serait peu à peu consommée.

Une des actions les plus constantes et, en tout cas, la plus curieuse qu'ait observée Engelmann, est celle qui se manifeste quand on fait décroître subitement l'intensité lumineuse. Il se produit alors une sorte de « mouvement de frayeur »; les Bactéries, qui nagent librement, se rejettent tout à coup en arrière, le sens de leur rotation se renverse et le recul peut atteindre jusqu'à 20 fois leur longueur. Si l'affaiblissement de la lumière persiste, elles ne tardent pas à reprendre leur mouvement progressif habituel, avec une vitesse qui, dans les premiers moments, n'est que peu diminuée. C'est d'ailleurs la brusquerie de la variation d'éclairage plutôt que la variation même de son intensité qui provoque ce mouvement de frayeur. On remarque, du reste, sous le rapport de cette réaction, des différences d'espèce à espèce et d'individu à individu; on observe une sorte d'accoutumance ou de fatigue quand on répète l'excitation de frayeur à des intervalles rapprochés. Bien que les formes et les individus riches en matière colorante aient paru réagir plus fortement que les autres, Engelmann n'a pu saisir un rapport net entre la facilité à s'effrayer et la saturation du protoplasme par la bactério-purpurine.

Il résulte de ces faits qu'un espace nettement circonscrit et constamment éclairé, dans une goutte partout ailleurs obscure, agit comme un piège sur les Bactéries pourpres. Elles peuvent bien y entrer, puisque l'augmentation brusque de l'intensité lumineuse, au moment où elles franchissent, de dehors en dedans, la limite de cet espace, n'a d'autre effet que de favoriser leur mouvement en avant; mais elles n'en peuvent pas sortir, puisque la diminution subite de la clarté, lors du passage de dedans en dehors, les rejette en arrière et les ramène dans le champ éclairé.

Le second phénomène étudié par Engelmann concerne l'action des diverses radiations sur ces mêmes organismes.

Si l'on soumet à l'action d'un microspectre, dans une eau chargée d'acide carbonique, les espèces qui sont à la fois très mobiles et avides d'oxygène, on les voit se grouper précisément dans les bandes d'absorption que nous avons signalées plus haut. La plus forte accumulation a lieu dans l'infra-rouge, la moyenne dans le jaune, la plus faible dans le vert bleu. Les Bactéries se réunissent donc et se concentrent dans les parties du spectre où dominent les rayons qu'elles peuvent absorber au passage et utiliser. Or, on sait que les rayons absorbés par la chlorophylle sont aussi les seuls qui servent à la décomposition de l'acide carbonique, laquelle se traduit par un dégagement d'oxygène. C'est aussi ce qu'on observe avec nos Sulfobactéries colorées : le plus fort dégagement d'oxygène a lieu dans l'infra-rouge, le moyen dans le jaune et le plus faible dans la partie la plus réfrangible du spectre.

En employant un amas immobile de ces mêmes organismes, auquel on ajoute une Bactérie incolore, très mobile et très avide d'oxygène, on voit celle-ci se localiser de même dans les bandes d'absorption, là où la bactério-purpurine détermine le dégagement d'oxygène.

A l'aide des radiations qu'elles absorbent, aussi bien des obscures que des lumineuses, les Sulfobactéries colorées pourraient donc, suivant Engelmann, assimiler le carbone. Leur pigment diffère de la chlorophylle ordinaire en ce



qu'il trouve son maximum d'action dans l'infra-rouge, tandis que la chlorophylle est, comme on sait, inactive dans cette région du spectre.

Par ce caractère, les Sulfobactéries colorées établiraient en quelque sorte la transition entre certains organismes incolores et les végétaux verts ordinaires. Les Nitrobactéries, en effet, qui sont incolores, assimilent le carbone de l'acide carbonique dans l'obscurité complète, tandis que les végétaux verts ne peuvent le faire qu'à la lumière.

On n'a pourtant pas encore prouvé directement que l'oxygène dégagé provient, chez les Bactéries pourpres, de la décomposition de l'acide carbonique; il pourrait tirer son origine d'une autre substance oxygénée servant à la nutrition. Ce qu'on est autorisé à dire, c'est que le dégagement d'oxygène à la lumière est sûrement en rapport avec la nutrition, et c'est la raison pour laquelle les Bactéries pourpres recherchent la lumière.

Il est bon de remarquer aussi que, malgré leur pouvoir assimilateur, les Sulfobactéries colorées ne dégagent qu'une proportion d'oxygène bien inférieure relativement à celle que dégagent les plantes à chlorophylle. Jamais elles ne forment d'amidon, ni d'autre corps bleuissant par l'iode analogue à l'amidon. Sous ce rapport, elles ressemblent aux Nostocacées.

b. *Cas des autres Bactéries.* — Si nous considérons maintenant les autres Bactéries, nous pourrions exprimer l'influence que la lumière, au sens vulgaire du mot, exerce sur elles en général, en disant qu'elle ne leur est pas nécessaire, et que même, à partir d'une certaine intensité, elle gêne leur développement et les fait périr. Cependant, il ne s'agit pas ici, physiologiquement, d'une différence absolue entre les Bactéries incolores et les plantes supérieures, car les unes et les autres ont besoin, à des degrés divers, de certaines radiations.

Chez les végétaux supérieurs, qui s'allongent et s'étiolent à l'obscurité, la lumière exerce une action retardatrice sur la croissance et permet au végétal de consolider ses tissus; ce sont les radiations les plus réfrangibles du spectre solaire qui produisent cet effet. Or, on verra plus loin que l'action nocive de la lumière sur les Bactéries est due aux mêmes radiations. Le phénomène est donc de même sens et rentre dans une loi commune; mais, comme il apparaît très manifeste chez les Bactéries, il devait avant tout fixer l'attention.

Après que Pasteur, puis Miquel eurent prouvé que, si l'air est peuplé de microbes vivants, il en contient bien plus encore d'incapables de se reproduire, on pensa naturellement à rechercher la cause de cette mort. Downes et Blunt furent les premiers à mettre en évidence le rôle important de la lumière dans ce phénomène. En exposant au soleil des liquidesensemencés de Bactéries, ils virent que le développement s'arrêtait plus ou moins suivant la durée de l'exposition, tandis que d'autres, protégés contre l'action de la lumière, se peuplaient rapidement. Ils recherchèrent même quelles étaient les radiations actives et reconnurent qu'elles appartiennent à la partie chimique du spectre. Ces radiations déterminent, pensaient-ils, des phénomènes d'oxydation portant, non sur le liquide de culture, mais sur le protoplasme de la cellule bactérienne.

Ces données touchant l'action nocive de la lumière ont été confirmées dans leur ensemble, bien que les auteurs de ces premières recherches n'aient pas tenu suffisamment compte de la nature du milieu nutritif soumis à l'action de la lumière solaire, ni des différences spécifiques chez les microbes, ni de l'action de la température.

2° *Influence sur les spores.* — En expérimentant sur les spores de certains microbes du lait, Duclaux montra que ces spores ont un degré de résistance bien supérieure à celui qu'on pouvait supposer d'après les recherches de Downes et Blunt; il mit en relief l'influence de l'espèce microbienne et de son milieu de culture.

Presque en même temps, Arloing s'adressait au Bacille du charbon dans le but de connaître l'influence de la lumière sur les propriétés physiologiques. Il constate que la lumière du gaz suffit à retarder l'évolution des spores dans un milieu nutritif, mais n'altère pas sensiblement la virulence; celle du soleil gêne au contraire notablement le rajeunissement des spores et le développement du Bacille; de plus, elle transforme graduellement les cultures en une série de vaccins atténués. Au soleil de juillet, entre 56° et 59°, il suffit de 2 heures d'exposition pour supprimer toute végétabilité dans les cultures en bouillon de poule fraîchement ensemencé avec des spores. Par contre, dans les mêmes conditions, il faut près de 50 heures d'insolation pour frapper de stérilité le mycélium dans une culture en pleine activité datant de deux jours. Les spores du charbon seraient donc beaucoup plus sensibles à l'égard des radiations solaires que le mycélium, qui semble pourtant devoir être beaucoup plus fragile.

Ce résultat devait paraître surprenant. On objecta que les spores devaient commencer à germer malgré les rayons solaires et que c'était le jeune mycélium qui subissait rapidement l'influence de la lumière. Mais Arloing obtint la mort des spores après une heure d'exposition à la lumière électrique, en présence de la glace, par conséquent à une température où elles ne pouvaient germer.

Duclaux pensa alors que le phénomène tenait peut-être à ce fait, que le soleil déterminait une oxydation du milieu nutritif contenant les spores et le rendait infertilisable. C'est effectivement ainsi qu'il faut expliquer le résultat, en apparence paradoxal, obtenu par Arloing.

Roux fit voir que, si les spores sont soumises à l'insolation à l'abri de l'air, au lieu de l'être en présence de l'air, comme dans les expériences précédentes, elles survivent beaucoup plus longtemps. Après 85 heures d'insolation, elles donnaient une belle culture, tandis qu'en présence de l'air elles périssaient en moins de 50 heures. De plus, le bouillon pur, insolé pendant quelques heures, ne permet plus la germination des spores qu'on y sème, tandis qu'il se peuple abondamment quand on l'ensemence avec le bacille filamenteux. Suffisante, dans ce cas, pour arrêter l'évolution de la spore, la modification du milieu n'est pas assez profonde pour entraver celle des bacilles déjà formés. Roux conclut que cette modification dépend de l'oxygène de l'air, car le même bouillon, insolé pendant le même temps à l'abri de l'air, permet la germination des spores. La spore charbonneuse serait donc très sensible à de faibles altérations du milieu nutritif et les conditions nécessaires à la germination se montreraient plus étroites que celles qui suffisent au développement de l'être adulte. Ainsi s'explique l'anomalie constatée par Arloing touchant la plus grande résistance, au soleil, du mycélium que des spores du charbon.

Quant aux divergences qui existent, dans les observations précédentes, au sujet du temps nécessaire à la destruction de la végétabilité des spores au soleil, il faut remarquer que la résistance peut varier suivant les conditions dans lesquelles les spores se sont formées, suivant la composition des bouillons de culture, suivant l'état du ciel durant l'insolation, etc.



L'affaiblissement des spores au soleil, en présence de l'air, relève, au moins en partie, d'une oxydation du contenu cellulaire. On peut même concevoir que le Bacille charbonneux, étant essentiellement aérobie durant son développement, présente à cette oxydation une résistance physiologiquement plus grande.

D'autre part, les milieux de culture peuvent subir des oxydations multiples et variées en présence de la lumière solaire; on sait, par exemple, que l'action lumineuse change souvent leur réaction et parfois détermine dans certains liquides la formation d'eau oxygénée et d'acide formique.

En somme, la lumière est capable d'influencer à la fois le microbe et le milieu qu'il habite. Des expériences faites plus récemment par Marshall Ward à l'aide de plaques minces, il résulte que l'action directe de la lumière sur la spore elle-même, pour le Bacille charbonneux comme pour d'autres espèces, constitue le phénomène prépondérant.

L'influence de la lumière peut varier suivant les espèces microbiennes. Duclaux l'a fait remarquer un des premiers. Pansini a vu plus tard que le *Bacillus pyocyaneus*, par exemple, est plus résistant que le *Bacillus prodigiosus*. Pour une même espèce, il existe aussi des différences de résistance individuelles, analogues à celles qu'on peut constater à l'égard de la chaleur. On sait aussi que les cultures sèches résistent en général mieux à la lumière que les cultures humides, comme l'ont montré les recherches de Momont, de Pansini sur le charbon, celles de Gaillard, de Jonowski sur le Bacille typhique, celles de Ledoux-Lebard sur le Bacille diphtérique, etc. Les résultats obtenus avec des liquides chargés de Bactéries pourront d'ailleurs varier suivant une foule de conditions; d'une grande utilité pratique pour chaque cas particulier, ils ne peuvent être généralisés.

5° *Action des différents rayons du spectre solaire.* — Une autre question intéressante se pose dans cette étude. Quels sont, parmi les rayons qui forment la lumière blanche, ceux qui possèdent le pouvoir bactéricide? Les botanistes ont abordé depuis longtemps ce sujet pour les plantes supérieures et recherché l'action respective des diverses radiations sur les phénomènes végétatifs.

On a déjà pu remarquer, précédemment, que les rayons les plus réfrangibles de la région bleu violet du spectre solaire ont une action spéciale sur la croissance des plantes. Ces rayons interviennent aussi dans le phénomène respiratoire, tandis que l'assimilation du carbone sous l'influence de la chlorophylle dépend principalement de l'action des rayons rouge orange moins réfrangibles, situés du côté opposé, dans la région calorifique du spectre. D'autres phénomènes sont liés de même à l'action de rayons particuliers.

Il était donc naturel d'appliquer aux Bactéries les méthodes employées pour les autres plantes. Abordée par divers observateurs, cette question a été surtout approfondie par Marshall Ward, dans une série d'expériences habilement conduites sur la lumière du soleil et sur celle de l'arc électrique, dont il séparait les diverses radiations, soit avec des écrans absorbants, soit avec le prisme.

Par la méthode des écrans absorbants, il constate qu'il n'y a aucune action bactéricide derrière un écran qui intercepte les rayons bleus et violets, tandis que l'action est d'autant plus prononcée que ces rayons sont transmis en plus grand nombre. La quantité des rayons du rouge orange et du jaune qui sont transmis est indifférente; aussi longtemps que le bleu violet est inter-

cepté par l'écran, les spores de divers microbes ne sont pas tuées à la température ordinaire. Par la méthode du prisme, le quartz peut donner un spectre solaire suffisamment riche en rayons bleus et violets pour tuer les spores en quelques heures, à condition de remplacer aussi par le quartz le verre des plaques à culture. Le verre, en effet, arrête en grande partie les rayons bleus et violets; il agit comme le brouillard ou la brume de l'atmosphère. La lumière d'un jour sombre n'a qu'une faible action sur la vitalité des spores. Avec la lumière électrique, les résultats ont été les mêmes. Aucune question de température n'intervenait dans ces expériences, car les plaques étaient exposées sur des glaciers, et, d'ailleurs, la région des rayons calorifiques restait sans effet. Le sens des résultats est encore le même quand, au lieu d'opérer à la lumière directe du soleil, on opère à la lumière diffuse et plus ou moins affaiblie.

L'effet des divers rayons peut même être observé directement au microscope sur la cellule bactérienne individuelle. En se plaçant dans des conditions aussi comparables que possible et en diminuant l'action calorifique par des procédés appropriés, Marshall Ward a constaté que, derrière un écran bleu, la croissance du Bacille charbonneux est 24 fois moindre, pour le même laps de temps, que derrière un verre rouge. Par conséquent, les rayons bleu violet agissent comme modérateurs sur la croissance de la Bactérie à l'état végétatif, autant que comme agents nuisibles sur la puissance germinative des spores.

Chez les Bactéries, comme chez les autres plantes, ce sont donc les rayons chimiques qui exercent une action prépondérante sur les phénomènes protoplasmiques.

Downes et Blunt, Arloing, Buchner, Frankland avaient déjà, avec plus ou moins de netteté, reconnu l'action prédominante des rayons les plus réfrangibles. C'est également à cette action que Ganowsky et Geissler ont attribué la mort du Bacille typhique, et Ledoux-Lebard celle du Bacille diphtérique.

Nous n'avons pas à insister ici sur les conséquences pratiques qui découlent de ces observations, ni sur la destruction des microbes à l'air et au soleil dans la nature. Rappelons seulement que Buchner a vu le *Bacillus pyocyaneus*, plus résistant que les *Bacillus typhi* et *Bacillus coli*, périr, en mai et juin, en trois jours à la lumière diffuse, en une heure au soleil, dans de l'eau pure ou même additionnée de bouillon nutritif. Il a observé que, dans l'eau d'un fleuve à débit régulier, le minimum de germes vivants se trouve à la fin de la journée. Dans l'eau d'un lac, l'action solaire se fait encore sentir à trois mètres de profondeur. Procaccini a obtenu des résultats analogues sur les eaux d'égout amenées au degré de dilution qu'elles présentent dans les rivières ou dans la mer.

S'il en est ainsi, l'action de la lumière doit varier avec la saison. Effectivement, Marshall Ward a pu reconnaître que, malgré l'influence que doit exercer la plus grande élévation de température dans l'eau pendant l'été, le nombre des Bactéries dans la Tamise est manifestement moindre dans cette saison qu'en hiver. Certes, bien d'autres facteurs peuvent entrer ici en ligne de compte, mais il n'en est pas moins probable que l'intensité plus grande et l'action plus prolongée de la lumière pendant les jours d'été sont la raison principale de cette diminution du nombre des Bactéries.

Les résultats acquis permettent aujourd'hui de se rendre compte de certains faits dont l'explication semblait auparavant difficile, tels que : la mort de la