

## CHAMPIGNONS, BACTÉRIES ET ALGUES DES EAUX POLLUÉES

par A. WURTZ

Chef de travaux des Eaux et Forêts,  
chargé de la Station d'Hydrobiologie appliquée du Paraclet.

Écrire un article sur les Champignons, Bactéries et Algues d'eaux polluées peut paraître inutile à certains. Il s'agit là de problèmes de microbiologie aquatique qui concernent uniquement les spécialistes armés d'un microscope, donc inabordable aux profanes. D'un autre côté, tous ceux qui ont étudié, de près ou de loin, les eaux polluées par des déversements d'eaux résiduaires, connaissent les développements massifs de ces soi-disant Champignons ou Bactéries d'eaux polluées en « queue de mouton », qu'ils appellent alternativement *Sphærotilus* ou *Leptomitul*, suivant l'inspiration du moment, ne sachant d'ailleurs pas très bien lequel des deux organismes est un Champignon, et lequel est une Bactérie. En cela ils sont d'ailleurs excusables, car la distinction est difficile. Il y a contradiction entre la facilité que l'on a de voir des quantités souvent très importantes de ces organismes dans les cours d'eau pollués et la difficulté de leur donner un nom, ou de définir clairement les conditions écologiques de leur développement.

La littérature accumulée à l'étranger sur les *Sphærotilus* et les *Leptomitul* est extrêmement abondante: travaux de NAUMANN, KOLKWITZ, TROMMSDORF, TIEGS, ELLIS, DEMOLL, LIEBMAN, GENNERICH, PRINGSHEIM, pour ne citer que les plus importants, sans amener d'ailleurs pour autant plus de clarté dans la systématique confuse de ces organismes, et sans expliquer d'une manière satisfaisante la multitude de problèmes que pose au chercheur leur biologie.

En France, les indications sur les Végétaux inférieurs des eaux polluées sont très fragmentaires, et aucune mise au point d'ensemble n'a encore été faite. En tenant compte à la fois des importants travaux des auteurs étrangers et de mes propres observations en France, mon but est de combler cette lacune et d'écrire un article qui soit une synthèse de ce que l'on sait actuellement et un essai de vulgarisation.

Il sera question d'abord des Champignons d'eaux polluées : *Leptomitul*, *Saprolegnia*, *Mucor*, *Fusarium*, etc... dont on étudiera, après les avoir décrits et précisé leur position systématique, les conditions de nutrition et de développement. Pour préciser les idées, on cherchera les différences entre Champignons saprophytes et parasites et il sera

donné un tableau de classification simplifiée des Champignons aquatiques. En ce qui concerne les Bactéries d'eaux polluées, le problème des *Sphærotilus*, Bactéries filamenteuses occupant une position confuse par rapport aux Ferrobactéries, nous retiendra assez longuement ; quelques moyens — difficiles, certes, macroscopiquement — de distinguer les *Sphærotilus* et les *Leptomitul* seront donnés.

Les Bactéries qui demandent des techniques très compliquées de culture pour être déterminées, et qui appartiennent au domaine de la bactériologie pure ou de l'hygiène, seront passées sous silence. Par contre, les Bactéries sulfuraires (filamenteuses comme les *Beggiatoa*, incolores, ou pourpres) qui ont une importance énorme dans les eaux polluées, seront étudiées succinctement. Là encore, un tableau de classification simplifiée sera donné. On passera encore en revue quelques Algues jouant un rôle important comme indicateurs d'eaux polluées (Cyanophycées, Eugléniens, Diatomées). Enfin, pour préciser les conditions écologiques du développement de tous ces organismes, on essaiera de les faire entrer dans le système des saprobies et on verra le rôle qu'ils peuvent jouer dans le diagnostic des pollutions organiques des cours d'eau.

## I. — LES CHAMPIGNONS D'EAUX POLLUÉES

Les Champignons sont des Végétaux inférieurs dits Thallophytes, dont l'appareil végétatif, relativement rudimentaire, n'est pas différencié en véritables tissus. Ils sont dépourvus de chlorophylle, et, contrairement aux Algues qui sont autotrophes (dont la nutrition se fait avec des sels minéraux, de l'eau, du gaz carbonique, en présence de chlorophylle et grâce à l'énergie de la lumière solaire), ils sont hétérotrophes, n'ont pas besoin de lumière et vivent soit sur les matières organiques en décomposition provenant des cadavres ou des déjections des êtres vivants (Champignons saprophytes), soit en parasites sur ou dans les corps des Animaux ou des Végétaux (Champignons parasites).

Leur appareil végétatif ou thalle, unicellulaire dans quelques rares cas, est le plus souvent formé de filaments plus ou moins ramifiés, cloisonnés, ou non, en cellules, appelés mycélium ou filaments mycéliens. Chez les Champignons supérieurs (Basidiomycètes, dont la plupart ont des fructifications en forme de chapeau : Agarics, Bolets, Champignons de couche, et Ascomycètes : type Morille, Truffe ou Pezize), les filaments mycéliens s'entrelacent et constituent un feutrage dense et serré ayant l'apparence d'un tissu ou faux-parenchyme. Chez les Champignons inférieurs ou Phycomycètes, dont font partie ceux des eaux polluées que nous allons étudier, la structure reste filamenteuse ; le mycélium, dont le développement peut être quelquefois très important, prend l'aspect de duvet, de flocons, de « queues de mouton » ou « queues d'agneau », mais les filaments ramifiés, tout en s'enchevêtrant plus ou moins, restent en principe isolés. Leur étude est rendue difficile parce que les stades de reproduction (anthéridies, oogones, œufs ou simplement spores de reproduction asexuée) nécessaires pour une détermination exacte, se rencontrent assez rarement dans l'eau.

## Le problème des *Leptomit*us.

### Description morphologique et position systématique.

Les filaments mycéliens du plus connu des Champignons d'eaux polluées, *Leptomit*us *lacteus* Ag. (appelé encore par certains auteurs *Apodya lactea*) sont des siphons, c'est-à-dire des tubes ramifiés ne présentant pas de membranes transversales, d'un diamètre moyen de 15 à 20  $\mu$ , pouvant avoir à la base jusqu'à 40  $\mu$ , mais dans certains cas (eaux fortement courantes, ou s'appauvrissant en matières organiques putrescibles, donc en voie d'autoépuration) se réduisant à 10  $\mu$ . Le caractère distinctif des *Leptomit*us est représenté par des constrictionns qui transforment les filaments en autant de petits boudins successifs, de longueur variable, ou segments (fig. 1 A et B). Ces constrictionns sont extrêmement nettes et absolument caractéristiques des *Leptomit*us ainsi que du genre voisin *Apodachlya* (*A. brachynema* HILD. PRINGSHEIM), qui, bien que morphologiquement similaire à *Leptomit*us, ne vit pas en eau polluée, mais se trouve en eau claire, sur des rameaux, fruits et autres débris végétaux immergés.

Une première complication se présente : en eau fortement courante, les constrictionns peuvent disparaître, et dans ce cas la confusion avec des *Saprolegnia* ou des *Mucor* est possible ; il faudrait les organes de fructification pour différencier ces genres assez éloignés les uns des autres au point de vue systématique. En réalité cette difficulté n'est pas bien grande car les *Saprolegnia* et *Mucor* ne sont pas très répandus dans les eaux polluées, et en tous cas ne présentent jamais, à ma connaissance, les développements massifs en « queue de mouton » des *Leptomit*us.

Au niveau des constrictionns, ou quelquefois à l'intérieur des segments, on trouve une sorte de granule fortement réfringent, constitué par de la celluline, hydrate de carbone voisin de la cellulose, qui peut jouer le rôle d'un bouchon et fermer plus ou moins les segments en les isolant au niveau des constrictionns. Ce granule de celluline est également un caractère constant et nettement distinctif des *Leptomit*us. La membrane des filaments mycéliens est cellulosique, comme chez la plupart des Champignons, et présente la réaction classique de coloration bleue au chloroiodure de zinc.

La multiplication asexuée a lieu par transformation des segments en sporanges qui libèrent par un petit orifice un certain nombre de spores nageantes, pourvues de deux cils ; ces zoospores biciliées se déplacent dans l'eau, se fixent et redonnent de nouveaux filaments mycéliens. La multiplication peut se faire aussi par des spores de durée immobiles (akinètes) qui sont des segments raccourcis et grossis, pyriformes, s'entourant d'une membrane plus épaisse (fig. 1 C), ou tout simplement par des fragments de mycélium.

La formation des sporanges, et par conséquent l'émission de spores nageantes, a lieu lorsque les conditions d'existence du Champignon deviennent mauvaises, c'est-à-dire lorsque les substances organiques

à molécules azotées complexes sont suffisamment dégradées (en corps plus simples) pour ne plus pouvoir être utilisées pour la nutrition du *Leptomit*. Or, c'est ce qui nous intéresse justement dans l'étude biologique des pollutions organiques : lorsque les substances organiques déversées par les usines dans les cours d'eau sont en train de se dégrader, la pollution est sur le point de diminuer ou bien nous nous trouvons dans une zone d'auto-épuration assez avancée. Autrement dit, lorsqu'on rencontre des filaments mycéliens de *Leptomit* avec formation de nombreux sporanges (faciles à reconnaître après coup d'œil sur la fig. 1 D), on se trouve dans un secteur de rivière où s'effectue le passage d'une zone moyennement polluée à une zone moins polluée, et le Champignon est en l'occurrence, avec ses sporanges, un excellent indicateur marquant soit la fin d'une pollution grave, soit un bon début d'auto-épuration (transition entre la zone des  $\alpha$ -mésosaprobies et celle des  $\beta$ -mésosaprobies, au sens de KOLKOWITZ et de LIEBMANN, notions que j'aurai encore l'occasion de préciser à la fin de cet article).

A l'heure actuelle, la reproduction sexuée des *Leptomit* n'a pas encore été observée, de sorte que, jusqu'à ces dernières années, on ne savait pas dans quel groupe (ordre) les ranger. Ils faisaient partie de ce groupe hétérogène de Champignons imparfaits (*Fungi imperfecti*), peu connus, que, faute de mieux, on réunit sous ce titre vague. Or, depuis que l'on a observé la reproduction sexuée d'un Champignon très voisin des *Leptomit*, *Sapromyces* (voir ses organes de reproduction, anthéridies et oogones fig. 2), qui vit non pas en eau polluée, mais toujours sur des Végétaux ou fruits en décomposition dans l'eau, avec des thalles fortement ramifiés, en arbuscules, pourvus de rhizoïdes, et présentant les constriction classiques, ainsi que des sporanges caractéristiques, on a réuni les deux genres en question dans l'ordre des Leptomitales, voisin des Monoblepharidales, des Saprolegniales et des Peronosporales.

Retenons simplement de la systématique encore un peu confuse des Leptomitales, qu'il y a deux groupes : 1° ceux du type filamenteux comprenant les *Leptomit*, le seul qui nous intéresse en eau polluée, et le genre voisin *Apodachlya* (sur fruits et débris végétaux immergés); 2° ceux du type « arbusculé », comprenant les *Sapromyces*, également sur fruits et débris végétaux en décomposition dans l'eau, et quelques genres voisins : *Araiospora* et *Rhipidium* non représentés parce qu'assez peu connus. Signe distinctif de tous ces Champignons : les constriction et les granules de cellulose. La systématique de l'ensemble des Champignons inférieurs sera précisée plus loin.

#### Conditions écologiques du développement. — Besoins nutritifs.

Des développements massifs de *Leptomit* ont été signalés dans les cours d'eau pollués par les déversements d'eaux résiduelles de la plupart des usines de l'industrie alimentaire : laiteries, sucreries, brasseries, distilleries, amidonneries, féculeries, abattoirs, ainsi qu'après les usines de pâte à papier, les usines de cellulose, les égouts des villes, les effluents de champs d'épandage et de lits bactériens, les fossés de drai-

PLANCHE I. — CHAMPIGNONS

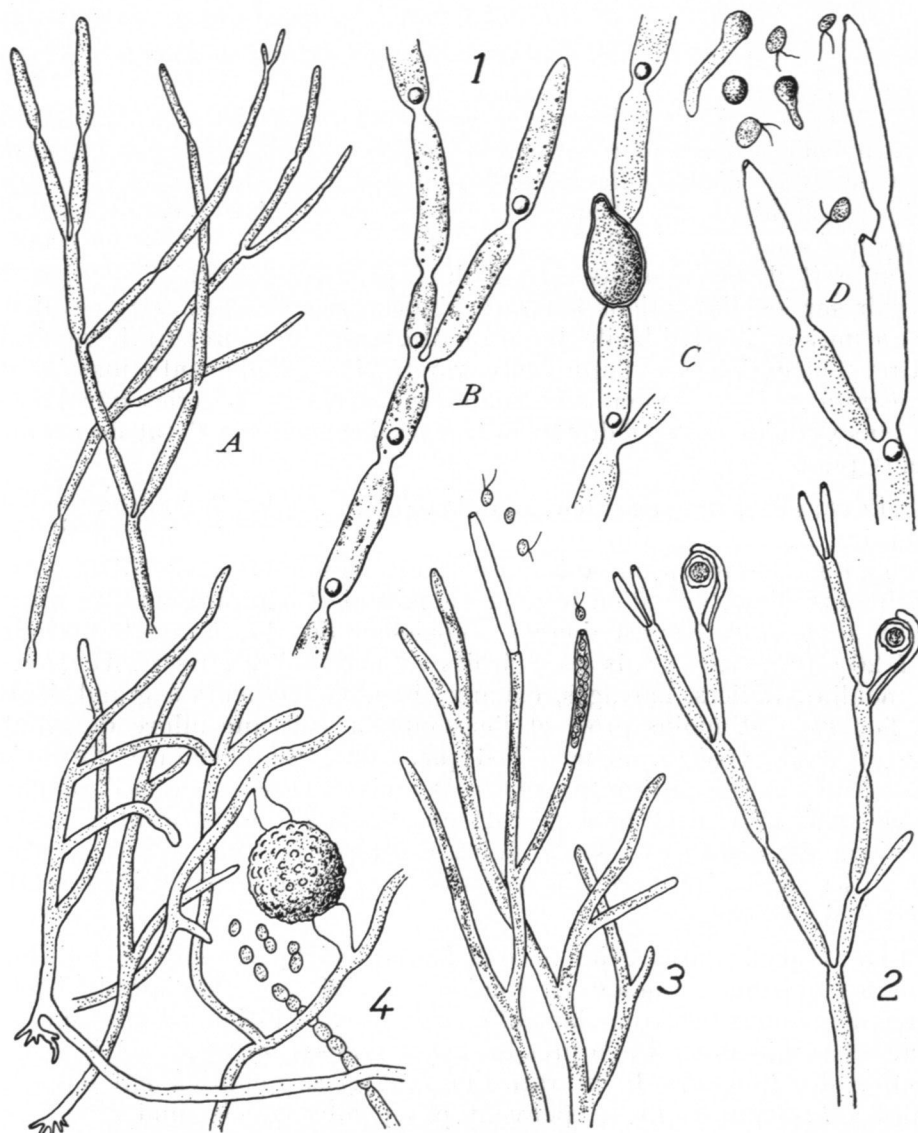


Fig. 1. — *Leptomitus lacteus* (Leptomitales), Champignon d'eaux polluées.  
A) Aspect des filaments mycéliens. Gross. env. 100 ×.  
B) Détail des filaments : constrictions et granules de celluline. Gross. env. 300 ×.  
C) Multiplication par spore ou akinète. Gross. env. 300 ×.  
D) Multiplication par sporanges et émission de spores nageantes. Germination des spores.  
Gross. env. 300 ×.

Fig. 2. — *Sapromyces* (Leptomitales), sur Végétaux ou fruits en décomposition dans l'eau.  
Reproduction par oogones et anthéridies dissemblables, sporanges vides. Gross. env. 150 ×.

Fig. 3. — *Saprolegnia* (Saprolegniales), en eaux polluées.  
Aspect des filaments mycéliens, formation des sporanges. Gross. env. 150 ×.

Fig. 4. — *Mucor* (Mucorales). Mycélium avec rhizoïdes. Formation d'un œuf ou zygospore (rare dans l'eau).  
En bas, un filament forme des stades levures. Gross. env. 150 ×.

nage de champs ayant reçu une fumure récente, etc. Je crois que l'on a beaucoup exagéré la répartition écologique de *Leptomit*, et qu'en réalité celle-ci est beaucoup plus étroite. Comme il est difficile de distinguer macroscopiquement les *Leptomit* et les *Sphærotilus*, on a le plus souvent confondu les endroits où ils ont été signalés. Au cours de mes observations dans des cours d'eau pollués, j'ai acquis la conviction que *Leptomit* est beaucoup moins répandu que *Sphærotilus* et qu'il est surtout abondant dans des cours d'eau pollués par des laiteries, à la rigueur par des féculeries ou amidonneries. Dans tous les cas où j'ai fait des observations après des sucreries, distilleries, usines de pâte à papier et même égouts, il s'agissait de *Sphærotilus* et non de *Leptomit*. J'aurai l'occasion de revenir sur les distinctions macroscopiques assez subtiles entre ces deux organismes qu'il est si facile de confondre, mais, dès à présent, je voudrais attirer l'attention sur l'apparente rareté des peuplements massifs de *Leptomit*. C'est, à mon avis, seulement après les laiteries que l'on a les plus grandes chances de rencontrer les *Leptomit* à l'état de peuplements purs.

Lorsqu'ils s'installent en abondance, les *Leptomit* recouvrent le fond des cours d'eau, ainsi que tous les objets immergés, de gros flocons que l'on a comparés à une toison de mouton, ou à des queues de mouton (ou queues d'agneau), d'où le nom vulgaire de Champignons « en queue de mouton » qui leur est donné. L'épaisseur des flocons peut atteindre 15 à 20 centimètres. Dans les endroits à courant d'eau assez forts (roues de moulins, radiers, barrages, canaux cimentés, effluents à grand débit) les flocons sont moins gros, et l'ensemble prend une allure de croûte plus ou moins épaisse, un peu élastique, comme parcheminée. Normalement, les flocons de *Leptomit* sont fixés, mais très souvent, sous l'influence du courant, ils se détachent et flottent librement, encombrant les cours d'eau sur des distances assez grandes. Certaines personnes, peu averties, ont pu les confondre, après des laiteries, avec des morceaux de lait caillé flottant dans l'eau.

Dans quelle mesure les flocons fixés ou détachés sont-ils nuisibles pour les Poissons ? Lorsque le fond d'une rivière est tapissé de *Leptomit*, nous nous trouvons dans une zone où la pollution est encore assez forte, et le milieu est à peu près impropre à la vie normale et à la reproduction des Poissons. Il est rare que ceux-ci se maintiennent dans les zones à *Leptomit*. Ils ne peuvent pas pondre sur le fond gluant, et par ailleurs ils n'y trouvent pratiquement pas de nourriture ; tout le monde sait que la capacité biogénique de cette zone est très réduite. En ce qui concerne les touffes détachées, flottant librement dans l'eau, on a été jusqu'à dire, pour justifier les déversements d'eaux résiduaires industrielles, qu'elles étaient favorables et que les Poissons pouvaient s'en nourrir. Je ne pense pas que ce soit possible ; si les Poissons avalent des flocons de *Leptomit*, c'est par mégarde ou parce que ceux-ci leur arrivent dans la bouche par force, entraînés par le courant. En réalité, le danger de colmatage des branchies par les touffes gluantes de *Leptomit* est tellement grand que leur présence est probablement la raison principale du dépeuplement des secteurs pollués.

La couleur des *Leptomit* n'est pas facile à définir ; ils peuvent être d'un blanc pur et dans ce cas facilement identifiables. Mais le plus souvent leur teinte varie du gris sale au noir foncé. Gris sale parce que les filaments retiennent de la vase ou des détritus organiques ; noir plus ou moins foncé parce que dans l'épaisseur des touffes il se passe des phénomènes de décomposition : les filaments mycéliens qui se trouvent par dessous meurent, forment de l'hydrogène sulfuré en pourrissant et déposent des masses noires de sulfure de fer, de sorte que les extrémités des filaments jeunes restent blancs et se détachent en blanc sur les touffes de filaments plus anciens, noirs. Sous les flocons blancs, il y a donc presque toujours une accumulation considérable de sulfure de fer, ce qui indique bien que nous nous trouvons dans une zone polluée où les fermentations sont encore intenses. D'ailleurs, les développements massifs de *Leptomit* peuvent provoquer, par mortalité et décomposition de leur propre substance, de véritables pollutions secondaires. Enfin, la teinte peut encore être brune, couleur de rouille, par précipitation d'hydroxyde ferrique sur les filaments, dans les eaux ferrugineuses.

Pour comprendre les besoins nutritifs et expliquer les conditions du développement des *Leptomit*, la culture pure expérimentale est nécessaire. KOLKWITZ a été le premier à en réaliser la culture pure ; puis beaucoup plus tard, SCHADE (*Amer. Journ. Botany*, 1940), a fait d'intéressants travaux sur sa nutrition. Depuis cette époque, il semble que l'on ait de nouveau abandonné le problème de la nutrition des *Leptomit* ; il n'en existe pas de culture pure à l'heure actuelle en France et il ne m'a pas été possible d'obtenir de renseignements sur l'existence d'une souche dans des mycothèques étrangères. Néanmoins, des travaux déjà réalisés, on peut tirer les conclusions suivantes : les matières organiques azotées (dites matières albuminoïdes ou protéines), à molécules assez complexes, putrescibles ou fermentescibles (exemple : albumine, caséine, polypeptides, peptones) constituent la meilleure source nutritive pour un développement abondant des *Leptomit*. Quelques acides aminés sont utilisés, tels l'alanine et la leucine ; la glycine et l'asparagine ne sont pas utilisées, sauf en présence d'acétate.

Les acides gras à chaîne droite (acétique, butyrique, caproïque), à l'exception de l'acide formique et propionique, peuvent être des sources de carbone, de même que l'acide lactique et pyruvique, ou leurs sels, à faible concentration. Les sulfates peuvent être réduits en sulfures. La question de l'utilisation directe des nitrates ou des sels ammoniacaux est controversée : il semble qu'en présence de quantités importantes d'hydrates de carbone (amidon, cellulose, végétaux en décomposition) ceux-ci peuvent être utilisés et la croissance est possible. Les sucres sont inutilisables comme source de carbone ; cela paraît surprenant, car on aurait pu s'attendre à ce qu'après les laiteries, le lactose et le cas échéant le galactose, constituent un élément nutritif. Ce n'est pas le cas, tout au moins dans l'état actuel des expériences en culture expérimentale au laboratoire ; il y aurait peut-être lieu de refaire les expériences avec d'autres sources complémentaires d'azote qui rendraient l'assimilation des sucres possible.

Quoi qu'il en soit, *Leptomit* est plus sensible aux pollutions que *Sphaerotilus*. Alors que ce dernier se trouve dans les zones très polluées, renfermant une teneur élevée en matières organiques d'origine résiduaire, *Leptomit* s'installe généralement beaucoup plus loin de l'effluent direct des usines ; il atteint le maximum de son développement seulement lorsque les eaux résiduaires ont subi une certaine dilution dans le cours d'eau ou que les matières organiques ont été suffisamment dégradées par suite de l'auto-épuration ou des décompositions naturelles. Et nous retiendrons de ces premiers essais, encore incomplets, de nutrition expérimentale, que ce sont les matières organiques azotées, provenant de déversements d'usines de l'industrie alimentaire, qui sont les principaux responsables des proliférations massives de *Leptomit*.

La croissance est possible dans des limites de pH comprises entre 2,5 et 7,5, avec un optimum entre 3 et 5,5. *Leptomit* préfère un milieu nettement acide, et nous avons là encore un point particulier de sa biologie. Dans les cours d'eau alcalins, coulant sur terrains calcaires, nous n'avons que rarement des développements massifs de *Leptomit* sur de grandes longueurs ; le pouvoir auto-épurateur de ces cours d'eau est assez fort, la réserve alcaline assez grande, et l'on a toutes les chances de voir les traces de déversements organiques acidifiants s'effacer sur quelques centaines de mètres, à moins, évidemment, d'avoir affaire à des déversements trop considérables par rapport au débit du cours d'eau. Dans les cours d'eau sur terrain siliceux ou granitiques, la situation est bien différente ; la réserve alcaline de l'eau étant pratiquement inexistante, les déversements acides se répercutent sur une très grande longueur sans neutralisation, sans auto-épuration possible, et les *Leptomit* trouvent des conditions idéales pour s'installer et proliférer. C'est pourquoi on trouve dans les terrains anciens (granitiques, comme la Bretagne, par exemple) des secteurs pollués par des laiteries, des proliférations de *Leptomit* sur des longueurs beaucoup plus considérables qu'ailleurs ; c'est pourquoi aussi les eaux résiduaires de laiteries sont tellement difficiles à épurer sur terrains granitiques.

*Leptomit* semble atteindre son maximum de développement dans les eaux froides, en hiver, entre les mois de Novembre et Avril. La température minima pour son développement est de 0°. Son optimum se situe entre 18° et 25°. A vrai dire, ce n'est pas tellement le facteur température qui intervient que la concurrence des Bactéries protéolytiques (agents des décompositions et putréfactions) ; celles-ci se développent mieux dans les eaux à température plus élevée et sont en été des concurrents directs pour la nutrition de *Leptomit*, qui est éliminé. En eau froide, par contre, les Bactéries en question ne se développent guère, et *Leptomit*, non concurrencé, peut prendre son maximum d'extension en hiver.

Il reste encore à préciser la question du courant et de l'oxygénation de l'eau. *Leptomit* ne se développe que dans les eaux assez fortement courantes, et semble avoir besoin d'une teneur assez élevée en oxygène, ce qui est en contradiction apparente avec l'idée même d'une eau polluée, où les matières organiques putrescibles abaissent la teneur en oxygène dissous. En réalité, le problème est plus complexe, et le facteur oxygéné-

tion intervient indirectement, comme la température. Certes, *Leptomit* a besoin d'une certaine teneur en oxygène dissous ; en culture anaérobie, en atmosphère d'azote, sans oxygène, il meurt. Sorti de son « milieu » d'eau courante polluée et placé en eau stagnante, il pourrit immédiatement. On ne le trouve jamais en eau stagnante, en étangs, quel que soit leur degré de pollution, et quelle que soit leur teneur en oxygène. Cette dernière remarque prouve que ce n'est pas la teneur en oxygène qui est prépondérante, mais au contraire le renouvellement de l'aliment nécessaire, c'est-à-dire les matières organiques putrescibles apportées par les eaux résiduaires. *Leptomit* ne se développe que dans les eaux recevant un apport constant, toujours fraîchement renouvelé et, en quantités suffisantes, de nourriture. Cette condition n'est réalisée que dans les eaux courantes où par ailleurs la teneur en oxygène peut atteindre une valeur assez élevée. N'oublions pas qu'une certaine teneur en oxygène dans les eaux courantes n'exclut pas la possibilité d'une pollution, et qu'inversement la présence de *Leptomit* ne veut pas dire absence d'oxygène.

Les développements massifs de *Leptomit* traduisent donc — et ce sera la conclusion préliminaire de ce chapitre sur les Champignons — des pollutions organiques chroniques, par déversements continuels d'eaux résiduaires trop chargées en matières organiques azotées, en particulier en provenance de laiteries et de féculeries ; on les observe surtout dans les eaux à tendance acide (sur terrains siliceux ou granitiques) acidifiées par les déversements ou possédant un faible pouvoir auto-épurateur. Devant l'énorme extension prise dans les cours d'eau par les *Sphærotil* que l'on a toutes chances de rencontrer dans la grande majorité des cas, on peut dire que *Leptomit* est assez peu répandu, qu'il possède une aire écologique beaucoup plus restreinte et qu'il se développe dans des conditions de pollution plus étroites et plus précises que *Sphærotil*.

### **Autres champignons d'eaux polluées**

(*Saprolegnia*, *Mucor*, *Fusarium*, etc...)

*Saprolegnia*. — Ces Champignons connus surtout comme parasites de Poissons malades ou affaiblis qu'ils recouvrent d'une sorte de duvet ou de flocons blanchâtres, appelés vulgairement « mousse », existent également dans les eaux polluées. On les trouve dans les filtres à lits bactériens, les bassins de décantation, les effluents fortement chargés de matières organiques provenant de laiteries, ou d'usines de l'industrie alimentaire à base de végétaux (sucreries, conserveries) et aussi d'égouts. Lorsqu'ils sont abondants, ils ont le même aspect que *Leptomit*, en forme de petits flocons blancs ou gris, généralement plus petits et plus compacts. Il est assez rare d'en trouver des peuplements purs ; généralement associés aux *Leptomit*, ils sont assez difficiles à distinguer. La seule différence, visible seulement au microscope, est l'absence de constriction. Les filaments de *Saprolegnia* sont des véritables siphons ramifiés, de même largeur partout (15-20  $\mu$ ).

A ceux qui voudraient faire des observations précises, je conseillerai d'examiner au microscope les Champignons vivants et non pas fixés au formol ou dans un liquide fixateur quelconque. Les liquides fixateurs peuvent en effet, en plasmolysant les filaments mycéliens, créer des « constrictions » artificielles, et permettre la confusion avec *Leptomitius*.

La multiplication des *Saprolegnia* a lieu par zoospores biciliées prenant naissance dans les sporanges (fig. 3). La reproduction sexuée, déclenchée par des conditions nutritives défavorables (auto-épuration, fin de pollution, déversement de substances toxiques) se fait par des oogones et des anthéridies, situées sur des rameaux latéraux, ces derniers poussant des tubes copulateurs qui entreront au contact de l'oogone, pour la fécondation et la formation d'œufs.

Les conditions exactes du développement de *Saprolegnia* dans les eaux polluées, qui ne sont probablement pas les mêmes que *Leptomitius*, demandent encore à être largement précisées. VOLKONSKI a fait de 1932 à 1934 des essais de culture de *Saprolegnia* en milieu synthétique, avec des résultats très intéressants, sur les besoins nutritifs du Champignon. Mais l'espèce n'est pas précisée et on ne sait pas exactement s'il s'agit (comme l'auteur l'indique d'ailleurs rapidement) d'un *Saprolegnia* parasite facultatif sur des animaux vivants ou morts, ou vivant sur des matières organiques en putréfaction, cas qui correspondrait, dans une certaine mesure, aux conditions écologiques des eaux polluées.

*Mucor*. — C'est une véritable moisissure, appartenant au groupe des Zygomycètes, Champignons inférieurs à thalle mycélien filamenteux, caractérisés par l'absence complète de zoospores mobiles, et la reproduction sexuée par gamétanges donnant des zygospores. On le trouve sur le pain « moisi », le crottin de cheval, le sol humide, les débris végétaux en décomposition ; il est, comme la plupart des moisissures, surtout aérien. Mais il peut émigrer dans les eaux et vivre accidentellement sur les objets immergés qui se décomposent, ou se développer quelquefois en grande abondance dans les eaux polluées par des matières organiques. Dans ce dernier cas, les *Mucor* vivent, comme tous les Champignons dont il est question ici, aux dépens des matières organiques dissoutes apportées par les déversements d'eaux résiduaires.

On en rencontre des développements massifs surtout dans les cours d'eau pollués par des eaux résiduaires de brasseries-maltries. Ils recouvrent les pierres, objets immergés, racines, d'un feutrage dense, blanc, ressemblant aux « queues de mouton » des *Leptomitius*. Mais l'aspect macroscopique est celui d'un gazon dense et touffu, avec de petits pincesaux flottant dans le sens du courant, rappelant une fourrure effilochée plutôt que des flocons. L'espèce la plus répandue est *Mucor racemosus* FRES. Malgré les grandes différences au point de vue reproduction, la distinction des filaments mycéliens de *Mucor* et de *Leptomitius*, qui présentent l'inconvénient de ne presque jamais fructifier en eau courante, reste délicate.

Les filaments mycéliens de *Mucor*, dépourvus de constrictions et de cloisons transversales, sont fortement ramifiés ; un certain nombre

d'axes centraux jouent le rôle de filaments principaux, pourvus de ramifications latérales plus courtes. En observant attentivement le mycélium, on remarque qu'il est fixé par des rhizoïdes (ou fausses racines, fig. 4) que l'on ne rencontre pas chez *Leptomitus*.

Les *Mucor* se multiplient par fragmentation du mycélium en des sortes de boudins, pouvant passer à l'état de vie ralentie (appelés gemmes) ou par division en une série de fragments plus petits qui se désarticulent en donnant ce qu'on appelle des stades levures. Les organes de multiplication asexuée représentés par des sporanges remplis de spores sphériques immobiles et non ciliés, portés sur des hampes ou sporangiophores, ne se forment généralement pas dans l'eau. La reproduction sexuée, caractéristique, est aussi rare : deux thalles mycéliens, en principe de sexe différent, poussent l'un vers l'autre des prolongements qui donneront des ampoules copulatrices ou gamétanges ; ceux-ci s'uniront pour former un œuf ou zygospore, sans qu'il y ait jamais eu de gamètes mobiles.

Les *Mucor* sont peu connus dans l'eau parce qu'ils ont le plus souvent été confondus avec *Leptomitus*. Ils semblent vivre dans des eaux plus polluées, donc plus chargées en matières organiques, que les *Leptomitus*. Leur optimum de température, situé entre 20° et 25°, est plus élevé ; leur meilleur développement ayant lieu à pH-8, on peut s'attendre à les rencontrer surtout en eaux alcalines.

*Fusarium aquæductum (moschatum)* LAGERHEIM, nous amène aux Champignons supérieurs de la classe des Ascomycètes avec lesquels il présente des affinités, bien qu'on ne connaisse pas encore nettement ses stades de reproduction et qu'il pourrait être rangé tout aussi bien, du moins provisoirement, dans la classe des Champignons imparfaits. Décrit par LAGERHEIM, par LAUTERBORN, puis dans le traité de Mycologie de LAFAR, redécrit par KOLKWITZ, et enfin cité par LIEBMANN, les auteurs allemands le considèrent comme abondant, et même très envahissant dans les effluents de certaines usines. Pour ma part, malgré mes recherches, je ne l'ai pas encore trouvé en France ; mon expérience relative à ce Champignon étant nulle, je ne puis que me borner à citer les descriptions et opinions des autres auteurs.

Le mycélium est blanc, mais peut être coloré en rouge cerise ou rouge brique par accumulation de pigments caroténoïdes, ce qui constitue déjà un caractère qui devrait permettre au *Fusarium* de ne pas passer inaperçu. Les filaments, abondamment ramifiés, sont divisés en cellules, par des cloisons transversales, encore un caractère assez clair qui montre que l'on est en présence d'un Champignon d'une autre classe que les précédents. S'agit-il vraiment d'un Ascomycète ? Les fructifications à asques ne semblent pas encore avoir été vues dans l'eau. Mais on connaît les spores de reproduction, en forme de croissant, divisés en cellules, longues de 30  $\mu$ , larges de 5  $\mu$ , également colorées en rouge par du carotène, appelées conidies (fig. 5). D'après KOLKWITZ, *Fusarium* serait la forme conidienne d'un Ascomycète du genre *Nectria*, lequel forme de petites protubérances rouges sur le bois mort de certains arbres, sur les souches d'arbres coupés, et se trouve, au point de vue systématique, assez voisin de l'ergot de seigle. Il serait donc assez logique d'appeler ce Champignon

*Nectria*; mais par ailleurs, il existe de nombreux *Fusarium* parasites de Plantes cultivées (coton, bananier, pomme de terre, tomate) qui, en raison de leur mycélium stérile ne peuvent pas être rangés ailleurs que dans les Champignons imparfaits. *Fusarium* en eaux polluées pose donc encore de nombreux problèmes qui demandent à être résolus. J'attends de le trouver ou qu'on veuille bien me le signaler pour en entreprendre l'étude.

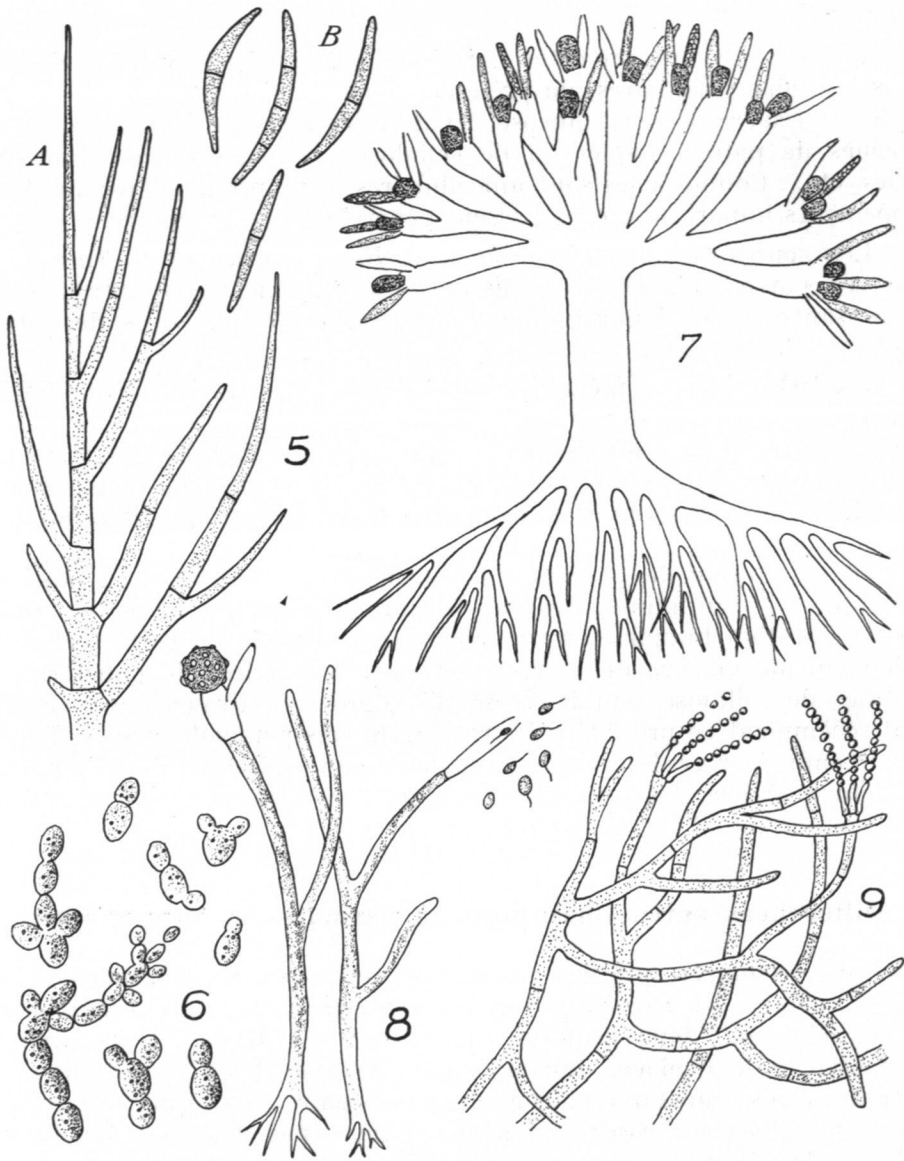
D'après les auteurs allemands, *Fusarium* se développe dans les cours d'eau recevant des eaux résiduaires légèrement acides ou fortement chargées en matières organiques, surtout en hydrates de carbone (sucres), ce qui se produit dans les effluents de sucreries, d'usine de pâte à papier ou de cellulose. Il peut prendre des développements énormes sur les pierres, les roues de moulins, radiers, barrages, turbines; il semble avoir besoin d'une forte oxygénation ou tout au moins d'une eau très agitée pour devenir à ce point envahissant qu'il gêne la marche normale des turbines. Les pinceaux courts, blancs ou rouges recouvrent tout d'une couverture uniforme; on a vu des barrages entiers tellement envahis de *Fusarium* rouges qu'ils paraissent construits en briques ou recouverts de tuiles. Lorsqu'il est abondant, *Fusarium aquæductum* dégage une forte odeur de musc, tout à fait caractéristique, d'où le nom de *moschatum* encore donné à l'espèce.

Leur développement massif provoque une sorte de cercle vicieux dont il est difficile de sortir : les industries, qui déversent des eaux résiduaires trop chargées, sont responsables des proliférations de *Fusarium*, lesquelles gênent des industries situées plus en aval en empêchant les turbines de tourner ou en bouchant les tuyaux d'alimentation. On cherche alors à éliminer les *Fusarium* par tous les moyens en faisant des traitements au chlore ou aux sels de cuivre, ce qui est évidemment désastreux pour le peuplement piscicole et ne fait qu'aggraver la pollution et la stérilisation du cours d'eau. Il serait plus simple d'éviter la pollution à l'origine.

Les nombreux problèmes, à la fois systématiques et écologiques, posés par ce Champignon, ne pourront être résolus que lorsqu'on arrivera à en faire des cultures expérimentales.

*Ascomycètes : Moisissures et Levures.* — Les moisissures bien connues, *Penicillium* et *Aspergillus*, appartenant aux Ascomycètes filamenteux, peuvent également se rencontrer occasionnellement dans l'eau. Ils ne prennent cependant pratiquement jamais une grande extension, ne forment pas de revêtements denses et ne permettent pas de caractériser une pollution. On les trouve sur des débris végétaux immergés, sur des conduites d'eau en bois, où ils forment des petites boules verdâtres dans le cas de *Penicillium*, blanches ou orangées dans le cas d'*Aspergillus*. Leur aspect de petites boules, visibles à l'œil nu, leur couleur, leur thalle cloisonné en cellules, les rend assez facilement reconnaissables. Les organes de fructification (conidiophores et asques) ne se rencontrent pas dans l'eau. Bien que du fait de leur nutrition ils indiquent un état de décomposition assez avancé des objets immergés sur lesquels ils vivent, donc une

PLANCHE II. — CHAMPIGNONS



- Fig. 5. — *Fusarium aquaeductum* (eaux polluées).  
A) Aspect végétatif du mycélium cloisonné. Gross. env. 200 ×.  
B) Spores de reproduction ou conidies. Même gross.
- Fig. 6. — Levures (Ascomycètes unicellulaires) : *Torula*, cellules avec bourgeonnements. Gross. env. 200 ×.
- Fig. 7. — *Blastocladia* (Blastocladiales), saprophyte aquatique sur fruits tombés dans l'eau. Gross. env. 200 ×.
- Fig. 8. — *Monoblepharis* (Monoblépharidales), saprophyte sur rameaux de bois mort immergés, avec organes de reproduction et sporanges. Gross. env. 200 ×.
- Fig. 9. — *Penicillium* (Plectomycètes), filaments cloisonnés, avec conidiophores et conidies, qui se forment très rarement dans l'eau. Gross. env. 200 ×.

certaine « pollution » locale, je ne les cite que pour mémoire. On peut également les obtenir par ensemencements stériles sur milieux appropriés à partir d'eaux résiduaires de bassins de décantation ou de lits bactériens.

Les *Levures*, Ascomycètes unicellulaires, se développent également dans les eaux résiduaires, de préférence celles qui renferment des sucres (xylose ou sucre de bois, glucose, lévulose ou sucre de fruits) provenant d'usines de pâte à papier ou de cellulose, de féculeries, de choucrouteries, etc... Comme elles sont unicellulaires et ne prennent pas de développements importants, elles passent généralement inaperçues.

Les genres les plus répandus sont *Endoblastoderma* et *Torula*. Je les cite parce qu'elles sont susceptibles d'applications extrêmement intéressantes dans l'épuration des eaux résiduaires d'usines de pâte à papier et de cellulose.

En 1947, dans ce même bulletin, j'écrivais un article résumant les importants travaux entrepris aux Etats-Unis pour épurer les eaux résiduaires de ce groupe d'industries. On a pu cultiver des levures sur des boues bisulfiteuses riches en sucres, rendre ces boues beaucoup moins fermentescibles, et diminuer par conséquent dans des proportions notables le danger de pollution, tout en fabriquant un sous-produit du plus grand intérêt sous forme de « tourteaux » de levures, très riches en matières protéiques, en vitamines, destinés à l'alimentation du bétail ou même à l'alimentation humaine. Après une longue période où cette technique séduisante de culture de levures sur eaux résiduaires de papeteries et d'usines de cellulose semble avoir été ignorée en France, on a essayé tout récemment ce procédé d'épuration. Je suis persuadé que, si l'on se décide enfin à créer dans ce domaine les « usines-pilotes » dont je parlais dans mon article, les résultats que l'on obtiendra avec les levures ne manqueront pas d'être surprenants.

### **Différences entre Champignons parasites et Saprophytes**

Nous avons vu que des moisissures terrestres, ou aériennes si l'on préfère, comme les *Penicillium* et les *Aspergillus*, peuvent se rencontrer accidentellement dans l'eau, de même que les *Mucor*. Il est difficile de mettre à leur place, dans le vaste système des Champignons, les quelques rares genres que nous avons passés en revue et qui caractérisent clairement les eaux assez fortement polluées par des eaux résiduaires industrielles. Pour préciser les idées et mieux comprendre le comportement physiologique de ces organismes adaptés à un milieu spécial, il est bon de revenir à la distinction classique entre Champignons parasites et saprophytes.

Les Champignons parasites sont ceux qui vivent sur des êtres vivants et se nourrissent directement de la matière vivante : tissus, cellules et protoplasme de leurs hôtes auxquels ils sont intimement liés. Ne vivent dans l'eau que ceux dont les hôtes sont aquatiques.

Comme parasites d'animaux aquatiques, on ne peut guère citer que les *Saprolegnia* dont l'espèce *S. parasitica* est un dangereux parasite

des Poissons ; précisons d'ailleurs en passant que les *Saprolegnia* ne s'installent pas sur les Poissons bien portants, mais sur des sujets déjà malades ou affaiblis par des causes diverses : chocs, traumatismes, blessures au moment des pêches ou du transport, variations brutales de la température au moment du déversement, etc. Les parasites de plantes aquatiques sont des rouilles (Urédinées), des charbons (Ustilaginées) appartenant aux Basidiomycètes (Champignons supérieurs à chapeaux), et divers autres Champignons inférieurs formant des taches de coloration variable (brunes, noires, blanches) sur les Nénuphars, Joncs, Roseaux, Sagittaires et autres Plantes. Nous les avons passés sous silence parce que, d'une part, ils n'ont aucun rapport avec les eaux polluées et que, par ailleurs, en raison de leur petite dimension, qui ne permet de les étudier qu'au microscope, avec de forts grossissements, ils sont du domaine du spécialiste.

Les Champignons saprophytes vivent sur les cadavres d'animaux ou de plantes aquatiques (Poissons morts, Insectes morts tombés dans l'eau), sur les déjections d'animaux, les fruits tombés dans l'eau, les matières organiques en décomposition, toutes substances organiques provenant d'êtres vivants en train de pourrir dans l'eau. Ils se nourrissent de la matière vivante en décomposition, rendue assimilable par digestion et solubilisation. C'est une nourriture hétérotrophe que seuls, parmi les Végétaux, les Champignons, dépourvus de chlorophylle, sont capables de réaliser. Il va sans dire que la concentration en matières organiques ainsi utilisée est assez forte. Et par extension, nous comprendrons enfin ce que représentent les Champignons d'eau polluée ; ce sont des saprophytes, fixés en principe sur des supports, se nourrissant des matières organiques « dissoutes » apportées en concentrations élevées par les déversements d'eaux résiduelles de toutes origines. Ils ont besoin de ces teneurs élevées en matières organiques ; à partir d'un certain degré de pureté de l'eau, ils ne se développent plus. Les Champignons d'eaux polluées sont donc en définitive des saprophytes aquatiques réels qui traduisent, quel que soit l'aspect sous lequel on considère le problème, des apports de matières organiques d'origine « étrangère » au milieu normal, et ils représentent à ce titre des indicateurs certains de pollutions organiques ou de décompositions et putréfactions consécutives à des déversements d'eaux résiduelles ou usées.

### **Classification simplifiée des Champignons aquatiques**

Nous pouvons enfin donner un tableau systématique fort simplifié de la classification des Champignons aquatiques pour bien nous rendre compte de la position de ceux qui vivent en eau polluée par rapport à ceux qui sont saprophytes sur objets immergés, ou par rapport à ceux qui sont aériens. Les Champignons facultativement ou obligatoirement aquatiques sont écrits en italique. Les autres, aériens, ou ne vivant qu'occasionnellement dans l'eau, sont écrits en caractères ordinaires. Il va sans dire que ce tableau est tout à fait incomplet, et que la plupart des groupes de Champignons supérieurs, aériens, sont passés sous silence.

I. — CLASSE DES PHYCOMYCÈTES (ou Siphomycètes). — Champignons inférieurs unicellulaires ou à thalle filamenteux non cloisonné.

1° Archimycètes, thalle microscopique, unicellulaire ou peu développé.

— Chytridiales : mycélium unicellulaire. *Synchytrium* (gale verruqueuse de la pomme de terre), *Olpidium* et genres voisins, parasites d'Algues, d'Euglènes, de racines de choux, de grains de pollen de pin tombés dans l'eau, etc...

— Blastocladiales : mycélium ramifié, peu développé, membrane non cellulósique : *Blastocladia*, saprophyte aquatique sur fruits d'églantier, d'aubépine, de tomate tombés dans l'eau (fig. 7).

2° Oomycètes, thalle filamenteux, zoospores mobiles, reproduction par oogones et anthéridies dissemblables.

— *Monoblepharidales*, zoospores uniciliées : *Monoblepharis*, saprophyte sur rameaux de bois mort immergés (fig. 8).

— *Leptomitales*, zoospores biciliées, constrictions et globules de celluline.

a) type filamenteux : *Leptomitus* (eaux polluées), *Apodachlya* sur fruits immergés ;

b) type arbusculé : *Sapromyces* (fig. 2), *Araiospora*, etc... sur fruits et débris végétaux immergés.

— *Saprolegniales*, pas de constrictions : *Saprolegnia* (fig. 3), parasites de Poissons (« mousse ») ou saprophytes en eaux polluées, de nombreux autres genres saprophytes sur matières organiques en eau pure.

— Peronosporales, *Pythium*, parasites de graines, de jeunes plantules, certains aquatiques ; les autres parasites aériens de Plantes supérieures : *Phytophthora* (maladie de la pomme de terre), Mildiou de la vigne, Meunier de la laitue, rouille blanche du chou, etc...

3° Zygomycètes, mycélium filamenteux véritable, pas de zoospores mobiles, reproduction par gamétanges identiques.

— Mucorales : *Mucor*, moisissures blanches saprophytes, les unes aériennes (crottin de cheval), les autres en eau polluée.

— Entomophtorales : *Entomophtora* et autres parasites ou saprophytes sur Insectes, aériens, ou tombés dans l'eau.

II. — CLASSE DES ASCOMYCÈTES. — Champignons supérieurs, à filaments cloisonnés, se reproduisant par des spores enfermées dans un sac ou asque.

1° Hemiascomycètes, groupe inférieur, asques non groupés, formes dégradées.

— Saccharomycétales : *Levures*, saprophytes dans certaines eaux polluées, se multiplient par bourgeonnement.

— Tophrinales (ou Exoascales), surtout parasites d'arbres.

2° Euascomycètes, asques groupés.

- Plectomycètes : asques groupés irrégulièrement : *Penicillium*, *Aspergillus*, moisissures aériennes pouvant vivre occasionnellement dans les eaux polluées où elles ne fructifient pas.
- Pyrénomycètes : asques groupés dans des « périthèces » en forme de bouteilles : *Fusarium aquæductum* (forme conidienne d'un *Nectria* ?), eaux polluées, voisin de l'Ergot de seigle.
- Tous les autres groupes qu'il est inutile de citer, parce qu'aucun n'est aquatique. Exemple : Pezizes, Helvelles, Morilles, Truffes.

III. — CLASSE DES BASIDIOMYCÈTES. — Champignons supérieurs à filaments cloisonnés, se reproduisant par spores externes, fixés sur un support ou baside. Tous les Champignons à chapeaux. En dehors de quelques formes inférieures, Urédinées ou rouilles, Ustilaginées ou charbons pouvant parasiter les Plantes aquatiques, il n'y en a pas de représentants dans l'eau.

IV. — HORS CLASSE, les Champignons imparfaits (Deutéromycètes ou Hyphomycètes) filamenteux, cloisonnés ou non, dont on ne connaît pas les stades de reproduction. Quelques-uns sont aquatiques. On apprendra à les connaître mieux au fur et à mesure que l'on découvrira leurs stades de reproduction.

## II. — LES BACTÉRIES D'EAUX POLLUÉES

La définition des Bactéries est théoriquement assez simple ; ce sont des êtres inférieurs généralement très petits, ne dépassant pas un ou quelques millièmes de millimètres, n'appartenant pas au règne végétal, ni au règne animal. Les cellules ne contiennent pas de noyau typique, mais de la chromatine diffuse dans le protoplasme ; il n'y a ni plastes, ni chlorophylle, et surtout pas de reproduction sexuée. La multiplication se fait toujours, indéfiniment, par division.

Le monde des Bactéries semble bien caractérisé et la bactériologie une science précise et bien limitée ; rien ne paraît plus simple au bactériologiste que de définir les êtres dont il s'occupe. Il est donc surprenant au premier abord que, dans le domaine qui nous préoccupe, nous courions le danger de confondre les *Leptomitul* qui sont des Champignons et les *Sphærotilus* qui sont des Bactéries. Mais lorsque ces dernières deviennent filamenteuses et se mettent à prendre l'allure de « queues de mouton » dans les rivières polluées, on comprend que l'on commence à être embarrassé avec la systématique des êtres microscopiques.

En réalité, la nature ne se laisse pas facilement compartimenter par les biologistes qui éprouvent le besoin, bien légitime d'ailleurs, de classer les êtres vivants. A l'échelle microscopique, surtout pour les Bactéries, la systématique est très délicate et ne peut être abordée que

par études très poussées (cultures) ou des techniques très compliquées (colorations). Du fait même que la morphologie des Bactéries est définie par des caractères négatifs (absence de noyau, de plastes, de chlorophylle et de reproduction sexuée), il résulte que ce règne a des limites imprécises qui peuvent être reculées dans un sens ou dans un autre vers les autres règnes. Au risque d'étonner les non-systématiciens, il faut même admettre que les frontières, entre les Bactéries d'une part, les Champignons, les Algues et même les Protozoaires d'autre part, sont conventionnelles. Sans pouvoir entrer dans les détails de systématique des groupes qui ne nous intéressent pas dans le cadre de cet article, signalons seulement, à titre d'exemple, que les Myxomycètes présentent des caractères à la fois de Champignons et de Protozoaires, que les Bactéries pourpres présentent un pigment voisin de la chlorophylle, que les *Beggiatoa* (Bactéries sulfuraires incolores) ont une structure voisine des Algues bleues ou Cyanophycées, lesquelles présentent à leur tour des analogies avec les Bactéries (absence de noyau organisé, de plastes et de reproduction sexuée) tout en ayant acquis de la chlorophylle (ce qui en fait des Végétaux), que des Algues flagellées vertes elles-mêmes, peuvent perdre leur chlorophylle et se comporter comme des Flagellés animaux. Et ce sont justement les organismes d'eaux polluées, Bactéries filamenteuses, Bactéries sulfuraires incolores, Algues bleues voisines des Bactéries ou décolorées, Eugléniens incolores, etc... qui présentent le plus de complications et occupent les positions les plus controversées. Avec les Champignons, nous avons à faire à des Végétaux assez clairement définis ; avec les organismes dont il va être question désormais, nous nous enfonçons un peu plus dans l'obscurité systématique des êtres inférieurs.

Ceci nous amène à préciser une fois pour toutes que, de l'avis actuel de tous les systématiciens, les *Sphærotilus* sont des Bactéries. Il est infiniment regrettable pour la connaissance des organismes d'eaux polluées que l'on ait jusqu'à présent si souvent confondu *Leptomitilus* et *Sphærotilus* ; tout en essayant de rétablir la situation, nous considérerons cependant cette erreur avec une certaine indulgence car le groupe dans lequel on a rangé les *Sphærotilus* a souvent été appelé « Algobactéries », ce qui indiquait ses affinités possibles avec les Algues (et non avec les Champignons d'ailleurs). Au sein même des Bactéries, ce groupe auquel appartiennent les Ferrobactéries filamenteuses, et sans doute les *Beggiatoa*, a souvent changé de place.

### Le problème des *Sphærotilus*

#### *Description morphologique de Sphærotilus et de Cladothrix.*

*Sphærotilus natans* Kütz se présente sous forme de chapelets de cellules bactériennes disposées en filaments très fins, généralement non ramifiés, mais fortement enchevêtrés et formant par leur énorme développement les « queues de mouton » classiques dans les cours d'eau pollués.

Les cellules ont 2 ou 3  $\mu$  de diamètre, 4 à 6  $\mu$  de long, et sont entourées d'une gaine filamenteuse plus ou moins épaisse qui peut avoir elle-même un diamètre de 6 à 10  $\mu$ . Celle-ci est en principe incolore; dans ce cas les flocons apparaissent macroscopiquement blancs. Mais les filaments peuvent retenir des débris, de la vase, et paraître gris. La gaine peut également s'incruster d'hydroxyde de fer, ce qui donne une coloration brune plus ou moins foncée à l'ensemble. Les flocons peuvent recouvrir

PLANCHE III. — BACTÉRIES

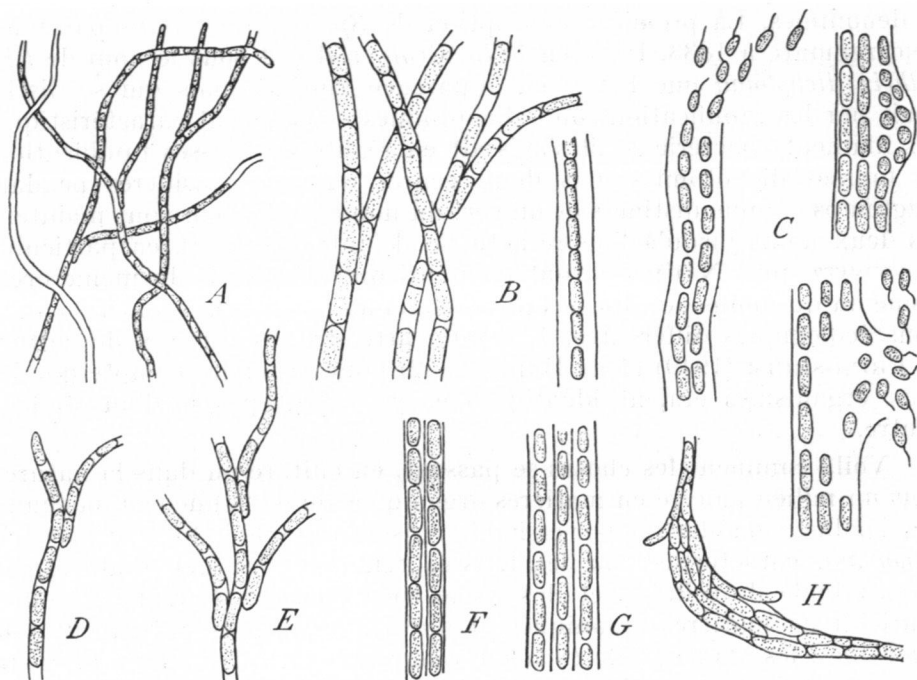


Fig. 10. — *Sphaerotilus natans* (Chlamydo bactériales).  
A) Aspect des filaments, avec gaines. Gross. env. 400  $\times$ .  
B) Détail des filaments: chapelets de cellules, fausses ramifications et gaines plus ou moins épaisses. Gross. env. 800  $\times$ .  
C) Multiplication par cellules immobiles et spores nageantes. Gross. env. 800  $\times$ .  
D à G) Passage du stade *Cladothrix* (D et E), forme de "famine", au stade *Sphaerotilus* (F et G) forme d'"abondance". Gross. env. 800  $\times$ .  
H) Disposition irrégulière des cellules dans les gaines, obtenue en culture. Gross. env. 800  $\times$ .

entièrement le fond des cours d'eau pollués et se fixer sur tous les objets immergés: pieux, digues, pierres, barrages, branchages, etc. Le nom d'espèce *natans* provient de ce que les flocons se détachent souvent de leur substrat, et sont entraînés en « nageant » par le courant. D'énormes encombrements de rivières (turbines, vannes, roues de moulins) sont rendus possibles par les masses flottantes de *Sphaerotilus*. On a vu des flocons atteindre jusqu'à 5 à 10 mètres de longueur.

En raison de la petitesse des cellules, la structure morphologique ne peut être vue qu'au microscope, avec d'assez forts grossissements (fig. 10,

que l'on comparera avec celle de *Leptomitus*, fig. 1). La multiplication se fait par fragmentation des filaments ou par des cellules immobiles, que l'on a tort d'appeler des conidies, qui sortent des gaines par l'extrémité ou par le côté (fig. 10 B), se fixent et redonnent de nouveaux filaments par division.

Il peut également y avoir multiplication par des cellules mobiles, émises hors des gaines, pourvues d'un seul flagelle polaire, comme c'est le cas de nombreuses Bactéries.

En étudiant la bibliographie des *Sphærotilus*, on s'aperçoit que deux organismes, qui semblaient d'abord nettement différents, ont été décrits et dénommés. La première description de *Sphærotilus natans* par KÜRZING remonte à 1833. Puis, en 1873, COHN a décrit sous le nom de *Cladothrix dichotoma* une forme en apparence voisine, mais qui se distinguait par les ramifications ou « dichotomies » nettement caractéristiques des filaments bactériens ; il s'agissait en réalité de fausses ramifications ou fausses dichotomies. Ces deux genres ont été considérés pendant longtemps comme distincts et un certain nombre d'auteurs ont maintenu ces deux noms jusqu'à l'heure actuelle. D'autres auteurs, en particulier KOLKWITZ, puis NAUMANN, ont pressenti qu'il s'agissait du même organisme ou du moins de « formes physiologiques » poussant dans des conditions écologiques différentes. Il a fallu attendre les travaux de culture de PRINGSHEIM (1949) et de BAHR (1952) pour se rendre compte que les deux organismes étaient identiques et pouvaient passer d'un stade à l'autre.

Voilà comment les choses se passent, en culture ou dans la nature : dans un milieu pauvre en matières organiques ou dans une eau moyennement polluée, on observe par exemple l'installation de la forme *Cladothrix dichotoma*, caractérisée par les fausses ramifications, une seule rangée longitudinale de cellules, et des gaines peu épaisses. Lorsque le milieu s'enrichit en matières organiques et que les conditions deviennent plus favorables, les filaments de *Cladothrix* se réunissent, il se forme plusieurs rangées longitudinales de cellules, les ramifications deviennent rares, les gaines plus épaisses et l'on passe à la forme *Sphærotilus natans*, caractérisée par la rareté des ramifications et l'épaisseur des gaines (fig. 10 D à G, montrant le passage d'un stade à l'autre). *Sphærotilus natans* est donc une forme « d'abondance » caractérisant les eaux riches en matières organiques, donc fortement polluées ; *Cladothrix dichotoma* est la forme de « famine », correspondant à un appauvrissement du milieu c'est-à-dire à une légère diminution de la pollution.

Il est curieux de constater que dans la nature on peut assister à la même succession. Au moment des campagnes sucrières, quelques jours après que les déversements d'eaux résiduares de sucreries ont commencé, on observe une abondante prolifération de *Sphærotilus*, forme « d'abondance » correspondant à l'énorme surcharge en matières organiques de l'effluent. Par contre, en fin de saison, lorsque la dilution diminue l'intensité de la pollution, on voit s'installer la forme de « famine » *Cladothrix*. C'est ainsi que dans de nombreuses pollutions organiques faibles, la forme *Cladothrix* se maintient toute l'année, tandis que la forme *Sphærotilus*

s'installe temporairement, par poussées correspondant à des déversements massifs. L'observation minutieuse de ces deux formes permettrait même de surveiller la gravité de la pollution.

En définitive, *Sphærotilus natans* et *Cladothrix dichotoma* sont un seul et même organisme, se présentant sous deux formes écologiques différentes. *Sphærotilus* étant le premier en date, le nom de *Cladothrix dichotoma* peut être définitivement supprimé.

Il va sans dire que les autres formes décrites (sous le nom de *Sphærotilus roseus*, qui est une forme colorée en rose par imprégnation des gaines avec de l'hydroxyde de fer, et de *S. fluitans*, qui est une des formes à filaments assez fins, de 1 à 2  $\mu$  d'épaisseur) peuvent être également supprimées jusqu'à nouvel ordre.

(A suivre.)

---