

pathogène. Amener, sous un poids minime et en apparence négligeable, la fermentation d'une masse considérable de matière, ou la mort d'un animal volumineux sont en somme une seule et même chose, la manifestation d'une seule et même puissance, la mise en jeu, sur deux terrains différents, du mécanisme que nous avons tâché d'éclairer dans les pages qu'on vient de lire.

CHAPITRE IV

NUTRITION MINÉRALE DES MICROBES

SOMMAIRE : Conditions de la solution du problème. — Culture de l'aspergillus niger dans un milieu minéral. — Échelle d'utilité des divers composants de ce milieu. — Rôles du zinc et du fer. — Conséquences biologiques. — Problème des aliments et des engrais chimiques.

L'infinie petitesse des êtres que nous étudions, la simplicité très grande de leurs formes et de leur organisation, la facilité avec laquelle ils se développent dans tous les liquides organiques, les multitudes que peut nourrir la moindre goutte d'infusion, tout ce que nous savons jusqu'ici sur eux pourrait nous laisser croire que leurs besoins alimentaires sont très restreints. Il en est tout autrement. Pour des causes profondes que nous apprendrons bientôt à connaître, nos microbes ne se montrent pas moins délicats que les êtres les plus élevés en organisation. Nous verrons la plupart d'entre eux vouloir un aliment hydrocarboné particulier, se montrer très difficiles sur le choix de leurs aliments azotés. Nous allons les voir exiger, en fait d'aliments minéraux, des mélanges à la fois très complexes et très spéciaux.

Ce problème de l'alimentation minérale, si vain et si ingrat en apparence que c'est à peine s'il a été

abordé pour les grands végétaux, va nous conduire pour les microbes à des faits imprévus, à des aperçus bien dignes d'être médités, à des conclusions qu'on peut faire passer dans le domaine de la grande culture, et par là dans celui de la vie sociale. Nous n'avons pour cela qu'à nous le poser ainsi : Puisque M. Pasteur nous a montré, dans l'expérience sur la levure relatée dans notre premier chapitre, des espèces microscopiques vivant et se développant dans des milieux artificiels, où n'entrent, en dehors de la matière fermentescible, que des sels minéraux purs, de composition connue, demandons-nous quels sont ceux de ces sels dont la plante a besoin, ceux qu'elle trouve inutiles ou nuisibles.

Elle accusera la présence des premiers par une augmentation de poids, celle des seconds par l'égalité ou la diminution de la récolte. Nous pourrons donc, avec de la patience, lui constituer un *milieu type* donnant le rendement maximum. En supprimant alors, dans ce milieu, un à un, les divers éléments qu'on a été conduit à y introduire, on pourra mesurer, par l'abaissement du produit, l'influence de l'élément supprimé et ce que M. Boussingault a spirituellement appelé l'opinion de la plante à son sujet.

S'il est facile à poser, ce problème n'est pas facile à résoudre. Il s'agit d'abord de composer de toutes pièces le milieu le plus favorable à la vie d'une espèce microscopique. C'est dire que la solution du problème suppose le problème résolu. On n'arrivera à ce résultat que par des tâtonnements méthodiques, dans une série de travaux suivis, et en échafaudant lentement chaque progrès sur un autre. On ne peut pour cela compter sur le hasard, car on n'a le droit d'éliminer de ses

essais aucun des éléments de la chimie ; le nombre des combinaisons qu'on peut réaliser en mélangeant de toutes manières ces éléments est infini, et théoriquement une seule de ces combinaisons est bonne ou plutôt meilleure que les autres.

Il faut de plus que ce milieu artificiel, une fois créé, donne une récolte à peu près constante et aussi grande que possible : constante, pour que la diminution de récolte provenant de la suppression d'un élément puisse être sûrement rapportée à cette suppression ; aussi grande que possible, afin qu'il y ait de la marge pour les diminutions de récolte à prévoir. L'échelle d'utilité relative que nous voulons tracer pour les divers éléments doit être assez longue pour qu'ils ne se confondent pas les uns avec les autres.

Aussi le problème n'est-il encore complètement résolu que pour une espèce végétale, grâce à un admirable travail, trop peu connu, de M. Raulin. Cette espèce est aérobie, elle vit au contact de l'air. Cela est nécessaire, comme nous l'avons vu dans notre dernier chapitre, pour qu'elle se multiplie beaucoup dans un court intervalle de temps, et que le poids de récolte soit notable. Elle appartient au groupe des *mucédinées* dont nous n'avons pas encore parlé, et dont c'est le moment d'indiquer les principaux caractères.

Toutes ces mucédinées, dont les types les plus connus sont les moisissures vulgaires, sont composées d'un système radulaire, nommé *mycélium*, vivant dans les profondeurs du milieu nutritif, et d'organes de fructification, formés en général d'une colonnette s'élevant dans l'air, et portant les fruits ou *spores*. Les mycéliums des diverses espèces sont des filaments plus

ou moins rameux, plus ou moins larges, plus ou moins cloisonnés, mais en somme ils se ressemblent beaucoup, et on serait aussi embarrassé pour la classification des moisissures que pour celle des microbes si l'on n'avait des caractères précieux dans la forme et dans l'aspect des organes de fructification.

La figure 6 représente dans leur port général (*a*) et dans leur mode de sporulation (*b*) deux des espèces les plus communes. L'une, à gauche, le *penicillium glaucum*, est cette moisissure bleue qu'on voit partout dans le pain moisi, sur les confitures, sur les fromages mous. Les tubes sporifères sont des filaments rameux, se subdivisant à leur extrémité (*b*, *c*, *d*.) en fines columelles chargées de files ondoyantes de spores. De ces spores (*f*) placées dans un milieu nutritif, sort peu à peu une plante identique à celles dont elles proviennent. L'autre espèce, étudiée par M. Raulin, et appelée par lui *aspergillus niger*, a son tube sporifère droit, non rameux, renflé à son extrémité en un capitule rond, sur lequel s'implantent en bouquets des spores sphériques et un peu hérissées (*c*). Ces spores, ensemencées en terrain favorable, donnent bientôt, comme cela est représenté en (*d*), des tubes mycéliens rameux dont l'enchevêtrement forme une couche blanche et épaisse. Puis apparaissent les filaments sporifères, dont les capitules noirs donnent à la masse l'aspect d'un épais velours.

Cet aspergillus pousse très facilement sur le pain mouillé de vinaigre, sur le jus ou les tranches de citron, en général sur les fruits et les liqueurs acides, et on pourrait croire que rien ne lui convient mieux que ces milieux complexes. M. Raulin a prouvé le contraire. Le milieu purement minéral qu'il a réussi à constituer

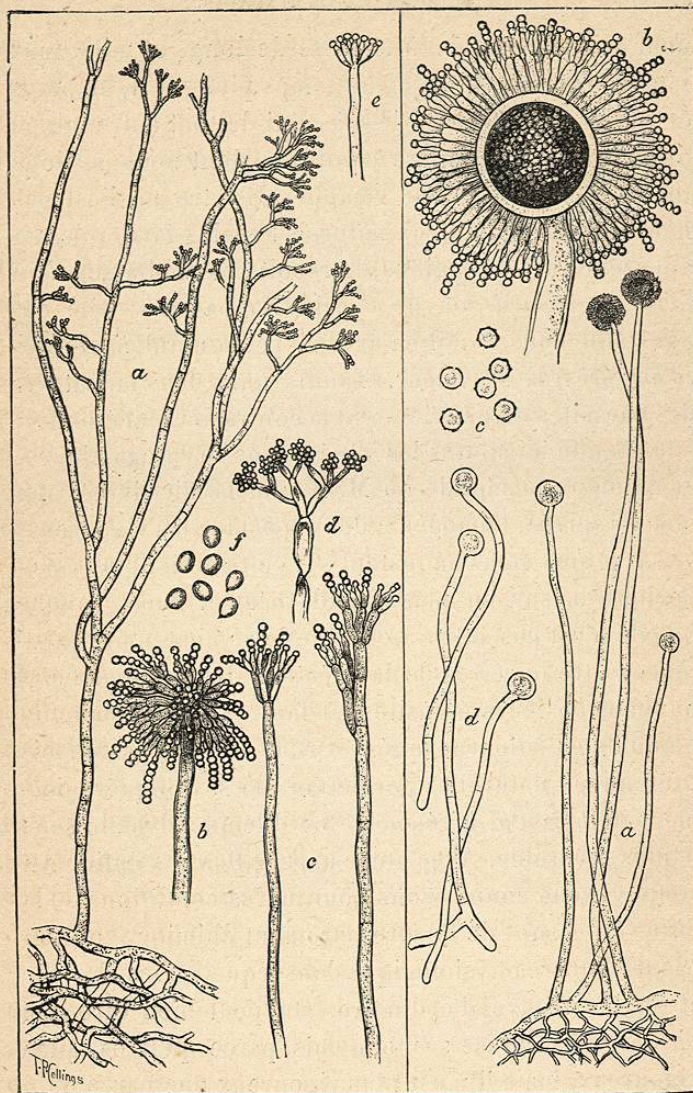


Fig. 6.

PENICILLIUM.

ASPERGILLUS NIGER.
(Sterigmatocystis niger.)

pour son aspergillus, à la suite de longs et minutieux tâtonnements, donne, en un temps plus court, un poids de plante vivante supérieur à celui de tout autre milieu organique. La première condition dont nous parlions tout à l'heure est donc remplie. L'autre ne l'est pas moins. Avec les milieux naturels les plus favorables en apparence à l'aspergillus, la récolte est soumise à une foule de hasards ou de caprices apparents; elle est constante dans le milieu artificiel et minéral, à *un vingtième* près de sa valeur. Tandis que, dans la nature, des parasites divers viennent la contrarier ou l'étouffer, elle étouffe ici toutes les végétations cryptogamiques, et recouvre le liquide où M. Raulin la fait vivre d'une couche serrée, homogène, de l'aspect le plus vigoureux.

Arrêtons-nous un instant sur cette notion, et transportons-la sur un plus grand théâtre. Nous voyons qu'elle n'est pas autre chose que le combat pour l'existence entre les êtres de la création. Ils ont tous leurs ennemis ou leurs parasites, il faut qu'ils les mangent ou qu'ils en soient mangés, et il ne manque pas de lois prétendues naturelles permettant de s'expliquer comment ils arrivent à résoudre ce dilemme dans le sens le plus favorable. Avec notre aspergillus la solution est simple. Nous connaissons pour lui les conditions de la lutte. Elles sont de l'ordre purement chimique, et non pas de l'ordre physiologique dans lequel on les cherche et on les trouve d'ordinaire. On peut bien dire que l'aspergillus écrase ses ennemis parce qu'il est plus vigoureux, mais il n'est plus vigoureux que parce qu'il trouve dans son milieu nutritif tous les éléments dont il a besoin. Si un de ces éléments lui manque, il vit encore, mais plus péniblement, et sa force de résistance

diminue. Si plusieurs lui font défaut, il s'étiole et cède la place à une espèce voisine, moins exigeante, ou ayant d'autres besoins qu'elle arrive à mieux satisfaire dans ce milieu appauvri pour l'aspergillus, et peut être enrichi pour elle. En deux mots, la santé et les maladies de notre aspergillus sont une question de nutrition.

Voilà ce que nous pouvons déjà conclure de l'observation générale et préliminaire que nous venons de faire; mais si nous entrons maintenant dans le détail, si nous cherchons quelle est la nature et le poids des aliments dont la présence ou l'absence se traduit par des effets si remarquables, nous allons trouver des faits encore plus curieux. Voici d'abord quelle est la composition du milieu nourricier de l'aspergillus, de ce que l'on désigne d'ordinaire sous le nom de *liquide Raulin*.

Eau	4 500 gr.
Sucre candi	70
Acide tartrique	4
Nitrate d'ammoniaque	4
Phosphate d'ammoniaque	0,6
Carbonate de potasse	0,6
Carbonate de magnésie	0,4
Sulfate d'ammoniaque	0,25
Sulfate de zinc	0,07
Sulfate de fer	0,07
Silicate de potasse	0,07

Si on compte les éléments divers introduits dans ce liquide, et si on y ajoute l'oxygène de l'air, dont la plante consomme de grandes quantités, on verra qu'il ne lui faut pas moins de douze substances chimiques pour son plein développement.

Elle a en outre besoin d'une température voisine

de 35°, d'un air humide et convenablement renouvelé. Elle pousse d'ailleurs mieux sur un liquide peu profond. On la cultive dans des cuvettes plates en porcelaine, qu'on laisse découvertes, et où le liquide occupe une hauteur de 2 à 3 centimètres. Lorsque toutes ces conditions sont réunies, si on sème à la surface du liquide des spores du végétal, on voit, au bout de 24 heures, une membrane blanchâtre et continue recouvrir le liquide. C'est le mycélium de la plante. La fructification commence le jour suivant. Au bout de trois jours, le cycle de végétation est complet. La plante est en possession de tous ses organes, sa construction est achevée; mais elle n'a pas épuisé le liquide nutritif de ses éléments assimilables, et si on l'y laissait vivre, elle en consommerait peu à peu le restant de sucre comme aliment d'entretien, sans augmenter beaucoup de poids. Comme il y a intérêt à obtenir le poids de récolte maximum pour une dépense déterminée de sucre, nous allons employer ces résidus à l'édification de tissus nouveaux. Pour cela, on enlève la plante, on sème de nouveau des spores sur le liquide restant, et trois jours après on obtient une nouvelle récolte un peu plus faible que la première. L'ensemble des deux récoltes équivaut à 25 grammes de plante pesée à l'état sec, et le liquide nutritif est alors complètement épuisé.

Avec ces éléments de succès, attaquons-nous au problème posé en commençant; cherchons, par exemple, par quel chiffre se mesure l'utilité de la potasse dans le liquide nourricier. Faisons vivre pour cela la plante dans deux cuvettes pareilles, renfermant l'une du liquide Raulin complet, l'autre, ce liquide sans

potasse. Dans le premier cas, il se produira, comme à l'ordinaire, à un gramme près, 25 grammes de plante. Dans l'autre nous en trouverons seulement 1 gramme. La récolte tombe donc au $\frac{1}{25}$ de ce qu'elle était. Elle tombe de même au $\frac{1}{200}$ quand on supprime l'acide phosphorique, au $\frac{1}{15}$ quand on supprime l'ammoniaque.

De cela, sauf la petitesse des chiffres, on n'a guère le droit de s'étonner. On sait depuis bien longtemps que la potasse, l'acide phosphorique, les sels ammoniacaux sont d'excellents engrais, et bien qu'ils n'aient jamais traduit leur absence, dans l'industrie agricole, par des diminutions aussi considérables de récolte, on est pourtant renseigné sur le besoin absolu qu'en ont les animaux et les végétaux. Mais voici un fait curieux. La suppression du zinc réduit la récolte au $\frac{1}{10}$ de ce qu'elle est dans le liquide normal, en d'autres termes, la ramène de 25 grammes à 2^{gr}5. Se serait-on attendu à trouver dans le zinc un élément physiologique de cette importance? Et la quantité de sulfate de zinc employée est de 7 centigrammes, renfermant seulement 32 milligrammes de zinc. L'action de cette faible quantité de métal suffit à produire une plus-value de 22^{gr}5 dans la récolte, c'est-à-dire qu'elle permet la formation d'un poids de plante sept cents fois supérieur au sien. Cela n'est-il pas singulier? Cela ne le devient-il pas encore davantage, quand on songe que la plante, si sensible à l'action du zinc, est obligée de le puiser dans un liquide où il est dilué à la dose homœopathique du $\frac{1}{50,000}$. De quelles proportions infinitésimales d'un élément utile peut dépendre la santé d'un être vivant, la prospérité d'une culture!

Enfin, si on songe que sur un liquide contenant seu-