

des plantes saccharifères entières. Leur sucre se transforme encore partiellement en alcool et acide carbonique dans ces conditions de vie nouvelles. Leur seule différence avec la levure est qu'elles sont beaucoup moins résistantes à la vie sans air, qu'elles poussent moins loin la fermentation, qu'elles s'arrêtent ou meurent avant d'avoir transformé tout leur sucre. Mais ce sont là des différences du plus au moins. L'essentiel est d'avoir constaté que la corrélation entre la fermentation alcoolique et la vie sans air se manifeste pour une longue série d'êtres vivants. La levure est un des termes de cette série, et non encore le terme extrême; car nous venons de voir qu'en somme il lui faut un peu d'air, et nous trouverons des microbes auxquels cet air est non seulement inutile, mais nuisible.

Toutefois, généraliser les phénomènes que présente la levure n'est pas les expliquer. Comment comprendre qu'elle ait deux modes si différents d'existence? Comment comprendre qu'elle passe de l'un à l'autre sans effort apparent? Car dans une fermentation mise en train à la façon ordinaire, et où la vie aérobie devient peu à peu anaérobie, rien dans l'aspect des globules n'avertit du changement? C'est la même forme, ce sont aussi évidemment les mêmes besoins. Les besoins d'une cellule vivante sont le plus fondamental de ses caractères spécifiques. Heureusement, s'ils sont invariables, les moyens de les satisfaire ne le sont pas.

Cherchons un peu dans cette voie. Dans sa vie aérobie, la levure a un besoin d'air évident. Elle consomme l'oxygène à l'état libre. A-t-elle aussi besoin d'oxygène dans sa vie anaérobie? Sans aucun doute.

Mais à quoi peut-elle l'emprunter? Il n'y en a pas à l'état libre. Elle le prendra donc à un corps oxygéné, et comme il n'y en a pas d'autre que le sucre capable de fournir la quantité nécessaire, c'est au sucre qu'elle s'adressera. Les deux notions de fermentation et de vie sans air étaient déjà liées par l'expérience, contre laquelle rien ne prévaut. Les voici maintenant liées par un raisonnement qu'on peut discuter, mais dont il est impossible de méconnaître la solidité. La levure est un être vivant avide d'oxygène, possédant la faculté d'emprunter ce gaz au sucre, lorsqu'il n'en trouve pas ailleurs et transformant alors ce sucre en alcool et en acide carbonique. Elle emploie à cela, à l'abri de l'air, les  $\frac{69}{100}$  du sucre qu'on lui offre. Au centième restant, elle emprunte les autres matériaux de ses tissus. Au contact de l'air, 25 pour cent du sucre deviennent de la levure, et les 75 pour cent qui restent sont brûlés comme rançon. Il y a donc un trait d'union entre les deux vies de la levure, ce sont les besoins en oxygène. Entre les sources où il est puisé doit exister une équivalence dont, il est vrai, nous ne saisissons pas encore le mécanisme, mais que nous allons tâcher de deviner maintenant.

Le sujet est délicat, la marche peut sembler difficile et pénible. Mais dans la science, comme à la guerre, les difficultés ne sont rien, pourvu qu'on avance. Or le pas que nous allons faire est absolument décisif. Nous venons de découvrir une certaine équivalence entre deux phénomènes en apparence aussi différents que la combustion du sucre et sa fermentation alcoolique. Cherchons en quoi cette équivalence peut se manifester. Nous allons voir que c'est dans une production de chaleur.

La création, la construction d'une cellule quelconque exige une certaine dépense de force, représentée par la consommation d'une certaine quantité d'aliments. Une graine germant à l'obscurité consomme et brûle une partie de sa substance, pour en élever une autre partie à un niveau d'organisation supérieur. Elle produit ainsi de la chaleur dont une partie devient sensible au thermomètre, par exemple pendant le maltage de l'orge, dont une partie s'immobilise, sous forme de travail dépensé, dans les tissus de la jeune plante. La levure n'agit pas autrement. La fermentation alcoolique du sucre fournit de la chaleur, dont partie élève la température de la masse, partie sert à l'édification des globules nouveaux. Il en est de même encore, malgré les apparences, dans la plante complète munie de tous ses organes et garnie de sa *matière verte*. Ce qu'il y a en plus, c'est que celle-ci est chargée de se préparer à elle-même son aliment, que la gemmule trouvait tout fait dans la graine, que la levure trouvait tout préparé dans le moût. Mais cet aliment, une fois préparé et même mis en réserve dans le grand végétal, y est consommé d'une façon constante à mesure que de nouveaux tissus s'organisent. En un mot, il n'y a nulle part, dans le monde vivant, création d'une seule cellule sans une dépense alimentaire, c'est-à-dire sans une dépense de force; c'est ce qu'on pourrait appeler la dépense de construction.

Ce n'est pas tout. La cellule une fois formée est faite pour vivre, c'est-à-dire pour résister aux causes de destruction, devenir le siège d'une rénovation incessante, accomplir enfin un travail continu. De là une nouvelle dépense nécessaire, proportionnelle à la durée

et à l'intensité de la vie. Nous pourrions l'appeler dépense d'entretien. Il est bien entendu que la distinction que nous faisons ainsi entre la dépense de construction et la dépense d'entretien ne se fait pas dans la nature. Il y a entretien pendant la construction, il y a reconstruction pendant et pour l'entretien. On ne peut jamais observer que la combinaison de ces deux phénomènes. Mais l'esprit de l'homme souffre du grave défaut de ne pouvoir arriver à la synthèse que par l'analyse. C'est pour obéir à cette tendance que nous faisons notre distinction, à laquelle on ne saurait dénier du reste sa raison d'être. Si on veut une image grossière, la dépense de construction représente les frais de premier établissement d'une maison, la dépense d'entretien les frais quotidiens nécessaires pour en assurer la bonne tenue.

Que faut-il pour subvenir à cette double dépense? Un aliment fournissant de la chaleur et de la force. Dans le cas de la vie à l'air, cette source d'énergie n'est pas difficile à trouver: elle réside dans le conflit du sucre consommé avec l'oxygène atmosphérique. Les 25 grammes de levure qu'on obtient alors, en 2 ou 3 jours, avec 100 grammes de sucre, trouvent leur dépense de construction dans la chaleur développée par la combustion libre et complète des 75 grammes qui restent.

Dans la vie à l'abri de l'air, il y a moins de levure produite aux dépens de 100 grammes de sucre: 1 gramme au lieu de 25. La dépense de construction est donc plus faible, mais le phénomène est lent à s'accomplir, et la dépense d'entretien, négligeable tout à l'heure vis-à-vis de la dépense de construction, prend maintenant de l'importance. En tout cas, il y a dépense. Il

faut donc qu'il y ait quelque part une source de chaleur. Or, il n'y a pas d'autre phénomène pouvant en fournir que la décomposition du sucre en alcool et en acide carbonique.

Il faut donc que cette dislocation soit une source de chaleur. Il faut, plus généralement, qu'une substance fermentescible dégage de la chaleur en fermentant à l'abri de l'air. Voilà une première conséquence importante que nous aurons bientôt à utiliser. En voici une autre. Ces fermentations ne peuvent jamais être des sources de chaleur bien puissantes. Le sucre, par exemple, y donne bien de l'acide carbonique identique à celui qu'il fournit dans une combustion complète au contact de l'air, mais il en donne moins : le tiers de son carbone prend cette forme au lieu que ce soit la totalité. Première cause d'infériorité. De plus, la fermentation laisse comme résidu de l'alcool, substance encore combustible, renfermant encore à l'état disponible une partie de la chaleur de combustion du sucre. En somme on peut calculer que 100 grammes de sucre, en se transformant en alcool et en acide carbonique, dégagent 10 fois moins de chaleur qu'en subissant une combustion au contact de l'air. De là résulte que, pour obtenir une même quantité de chaleur, la levure devra détruire 10 fois plus de sucre, en le faisant fermenter dans sa vie anaérobie, qu'elle n'en détruirait dans sa vie à l'air pour accomplir le même travail physiologique. D'une manière plus générale, une substance fermentescible est décomposée par son ferment en quantités d'autant plus grandes que la quantité de chaleur résultant du mode de décomposition est plus faible. Et ici, nous touchons du doigt le secret de la

disproportion entre la quantité de ferment actif et la quantité de matière fermentescible détruite, disproportion que nous avons fait entrer dans la définition du mot *ferment* sans en bien saisir le mécanisme, mais que nous nous expliquons maintenant. Pour employer encore une comparaison vulgaire, il y a entre les ferments anaérobies et les cellules aérobies la différence qu'il y a entre deux machines à vapeur identiques dont l'une utilise bien et l'autre mal son combustible. Cette dernière en consommera 20, 30 fois plus que l'autre pour suffire au même fonctionnement.

En résumé la fermentation a cessé pour nous, je l'espère, d'être un acte isolé et mystérieux, sans explication possible. Elle est la conséquence de la nutrition et de la vie des cellules dans des conditions spéciales, différentes, pour la plupart d'entre elles, de celles de leur vie ordinaire, et que la levure semble accepter comme normales pendant le cours de sa carrière comme ferment. Mais nous avons pu, en faisant vivre la levure à l'air, la rapprocher des végétaux ordinaires ; nous avons pu, en faisant vivre ces végétaux dans l'acide carbonique, leur donner les propriétés de la levure. Une chaîne continue réunit donc toutes ces cellules en apparence si dissemblables, et elles ne se distinguent que parce qu'elles manifestent, à des degrés divers, les deux aspects fondamentaux de la vie avec air et de la vie sans air.

J'ai tenu à poser et à résoudre avec le plus de précision possible ce problème délicat, parce que son intérêt n'est pas seulement théorique. Nous avons vu, dans le premier chapitre, par quels liens étroits le caractère ferment d'un microbe se rattache à son caractère

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