

sont plus ou moins intoxiqués, anesthésiés, ils réagiront d'une manière insuffisante; il faut favoriser la dynamogénie, il faut éviter l'inhibition.

D'autres cellules, celles du sang, par exemple, méritent toute notre attention; l'isotonie des hématies, si délicate à apprécier⁽¹⁾, varie en plus ou en moins, ainsi que l'ont indiqué Bianchi-Mariotti, Langlois, Charrin, etc., sous l'influence des produits microbiens; ces produits attirent ou repoussent les leucocytes, dont l'abondance, suivant Chatenay, est d'un heureux augure. — L'oxygène aidera aux combustions; il peut agir sur les anaérobies; il peut exciter la vitalité des tissus; d'autre part, plus certaines toxines sont oxydées, moins elles sont nuisibles. — L'air pur, l'air renouvelé, les différents stimulants du système nerveux seront utilisés pour soutenir, pour relever les forces du malade; on sait leur bienfaisante intervention chez nombre de tuberculeux. — Il conviendra également de veiller à l'intégrité des défenses naturelles, de les renforcer, si la chose est nécessaire, d'appeler à l'aide des procédés artificiels, de rendre l'économie plus résistante, de la débarrasser des poisons bactériens ou cellulaires, tout en n'oubliant pas d'attaquer directement l'assaillant.

⁽¹⁾ Voy. GLEY et LANGLOIS, Recherches sur l'isotonie, en particulier chez les animaux privés de corps thyroïde. (*Soc. de biol.*, 27 juillet 1895. — Voy. HAMBURGER, *Arch. de Phys.*, Leip., 1891. — MARAGLIANO, CASTELLINO, *Arch. ital. de biol.*, 1892; AGOSTINI; GALLERANI. — Voy. HAYEM, Le sang.

LE SOL, L'EAU ET L'AIR

AGENTS DE TRANSMISSION DES MALADIES INFECTIEUSES

Par A. CHANTEMESSE

Professeur agrégé à la Faculté de médecine. — Médecin des hôpitaux.

LE SOL

Envisagé au point de vue de la pathologie et de l'hygiène, le sol est la partie de la surface terrestre qui manifeste une influence sur la santé de l'homme. Réservoir d'où toute chose provient et où tout aboutit, il décompose et rend de nouveau assimilable l'énorme masse de matière organique qu'il reçoit. Que son œuvre soit parfaite ou incomplète, qu'il fournisse les éléments d'une vie nouvelle ou qu'il donne naissance à des produits dangereux, le résultat de son travail est l'œuvre principale des microbes.

La constatation des influences du sol sur l'état de santé des hommes est trop évidente pour qu'elle n'ait point frappé les observateurs depuis les temps les plus reculés. A mesure que les connaissances étiologiques se sont précisées on a pu rapporter à l'infection du sol des maladies déterminées, la fièvre paludéenne d'abord et plus tard les éclosions des épidémies de choléra, de fièvre typhoïde, etc.

Ce n'est pas l'âge géologique d'un terrain quelconque, depuis le granite jusqu'à l'alluvion, qui fixe ses vertus hygiéniques. La nature de ses éléments, leur mode de groupement, la disposition de ses assises jouent un rôle bien plus important, parce qu'ils constituent le substratum sur lequel des germes peuvent se déposer, se multiplier ou périr. La porosité du sol, fonction de sa structure, sa perméabilité variable avec le degré de sécheresse ou d'humidité, l'air qu'il renferme, l'eau qu'il contient, sa température, sont encore des facteurs qui jouent un rôle dans la destruction des souillures du sol.

Il fixe une partie des matières organiques que l'eau introduit dans

son épaisseur, les unes, par attraction de surface, les autres, à la faveur de réactions chimiques; le fait capital de la transformation de ces matières aboutit à l'assainissement spontané du sol. La découverte de la métamorphose des matières organiques a été le corollaire des études faites sur l'épandage des eaux d'égout. L'analyse chimique, avant et après filtration, montra que l'eau filtrée avait perdu la majeure partie de son azote organique et de son ammoniac et qu'elle était enrichie à sa sortie d'une notable proportion de nitrites et de nitrates. Cet appauvrissement et cette richesse ne sont pas le fait du passage de l'eau chargée d'ammoniac à travers un terrain quelconque; ainsi, la filtration par le sable et la craie préalablement calcinés ne modifient aucunement une solution aqueuse très étendue d'ammoniac, tandis que cette ammoniac est brûlée et convertie en nitrate, dès qu'on mêle au sable une petite quantité d'humus ou terreau (Schlœsing).

Schlœsing et Müntz (1877) constatèrent que l'eau d'égout traversant lentement du sable quartzeux, stérilisé par la chaleur, se chargeait de nitrates; elle apportait donc avec elle quelque chose qui remplaçait l'humus des expériences précédentes et ce quelque chose devait être vivant, puisque l'addition au filtre de vapeurs de chloroforme paralysait entièrement le processus de la nitrification. A cet agent inconnu de l'oxydation de l'ammoniac dans le sol, ils donneront le nom de ferment nitrique. Quelques années après, M. Pasteur (1880) trouvait dans la terre des *champs maudits* de la Beauce les spores de la bactérie charbonneuse. Désormais, la présence dans le sol de microbes, dont quelques-uns jouaient un rôle assez puissant pour détruire la matière organique était établie; le problème se posait d'étudier leur rôle dans la souillure des eaux qui sortent de la terre, dans la nocuité des poussières qui s'élèvent de sa surface; de connaître cette influence mystérieuse des oscillations de la nappe souterraine, auxquelles l'École de Pettenkofer, rapportait tant de méfaits. L'orientation était fixée et l'intérêt des microbes du sol devenait prédominant. Malheureusement la seule méthode d'investigation qui pouvait être mise en jeu était radicalement imparfaite. Impuissante à déceler les germes de maladies infectieuses inconnues (variolo, scarlatine, rougeole, cancer, etc.), ou réfractaires à nos cultures artificielles (hématozoaire de Laveran), elle se montrait encore incapable d'atteindre nombre d'espèces pathogènes ou saprophytiques, rebelles aux milieux choisis, aux températures offertes, aux promiscuités imposées (bacille de la tuberculose, ferments nitreux et nitriques, bacilles d'Éberth et coli-bacille, etc.). On conçoit que les renseignements fournis par les études des microbes du sol soient encore incomplets, insuffisants et quelquefois trompeurs; qu'on ne puisse les envisager sans tenir compte de leur contingence et que les affirmations absolues sur la destruction ou la persistance des microbes pathogènes dans le sol ne doivent être acceptées que sous le couvert du scepticisme.

Ceci dit sur l'imperfection des méthodes d'analyse, nous allons énu-

mérer les résultats obtenus qui représentent, sinon toute la vérité, au moins une de ses parties intéressante.

Les premières recherches ont porté sur la notion des microbes siégeant à la surface ou dans une faible profondeur du sol. En 1879, Miquel (*Ann. de l'Observatoire de Montsouris*) faisant la numération des germes de la terre du parc de Montsouris trouvait le chiffre de 700 000 par centimètre cube à vingt centimètres de profondeur, tandis que la terre de Gennevilliers, soumise depuis dix ans aux pratiques de l'épandage, en renfermait à dix ou douze centimètres de profondeur 870 000 et une terre arable ordinaire 900 000.

Koch (1881) indiqua le premier⁽¹⁾ la rapide diminution du nombre des germes vivants, étagés de la surface de la terre, dans sa profondeur. Cette notion fut confirmée, dans sa signification générale, par Beumer à Greiswald (1886) et Maggiora à Turin (1887). Les recherches les plus complètes sur ce sujet appartiennent à C. Fränkel⁽²⁾. Puisant dans des sols divers, et à profondeurs variables, à l'aide d'une sonde, assez analogue au harpon de Duchenne (de Boulogne), des échantillons de terre, il les délaya dans la gélatine liquide et les enroba autour de la surface interne d'un tube de culture suivant la méthode d'Esmarch. Il a noté tout d'abord la pullulation extrêmement rapide des germes contenus dans un échantillon de terre, tiré de la profondeur et exposé, à l'abri des souillures extérieures, aux conditions de température et d'aération de la surface terrestre. Un centimètre cube d'un bloc de terre pris à un mètre et demi de profondeur dans la Leipsigerstrasse à Berlin, renfermait, en juillet 1885, 70 colonies; sept jours plus tard un centimètre cube de cette même terre conservée, en renfermait 5700 et le onzième jour 15800. Cette prodigieuse multiplication s'exécute dans les premiers jours de l'extraction de la terre, puis elle décroît assez rapidement. Parfois une seconde végétation microbienne apparaît, de sorte qu'au bout de plusieurs mois le nombre des germes est encore très grand, mais alors deux ou trois espèces, particulièrement adaptées au milieu, ont pris le pas sur toutes les autres. On peut invoquer, pour expliquer cette prolifération, deux influences: celle de la température et celle de l'air ambiant. La température n'est certainement pas le facteur principal parce que, pendant les mois d'été, la pauvreté microbienne des régions profondes est aussi marquée qu'en hiver. L'influence de l'atmosphère terrestre est plus efficace, comme on devait s'y attendre, puisque la richesse en acide carbonique de l'air du sol atteint 17 pour 100 à quatre mètres de profondeur (Fodor). Plaçant en présence d'un échantillon de terre, pris à cette profondeur, de l'air ordinaire tamisé par la ouate, Fränkel constate la prolifération suivante. Le 2 octobre, 12 germes développés dans la gélatine; — le 5 octobre, 40 000; — le 6 octobre, 12 000; — le 8 octobre, 18 000.

⁽¹⁾ *Mittheilung aus der kais. Ges.*, t. I.

⁽²⁾ *Zeitschrift für Hygiene*, t. I, 1887.

Dans la même terre mise en communication non plus avec l'air ordinaire mais avec de l'air du sol puisé à quatre mètres de profondeur, il compte : le 5 octobre, 1800; — le 6 octobre, 4500; — le 8 octobre 2800. L'air atmosphérique et la température à la surface de la terre restituent donc aux germes tirés de la profondeur, les moyens d'utiliser les aliments qu'ils avaient à leur portée.

Les constatations de C. Fränkel, faites il est vrai, sur des saprophytes banals, nous font toucher du doigt le danger des grands remuements du sol, exécutés sur des terresensemencées depuis longtemps de germes pathogènes, tels que ceux du paludisme. On sait combien les travaux de terrassement pratiqués autour de Paris ont reveillé de foyers de fièvre intermittente.

De ces terrains divers, les uns souillés depuis des années par les impuretés d'une grande ville, les autres situés en rase campagne à l'abri des fumures artificielles, quels sont les plus riches en germes, les plus contaminés par la multiplication microbienne? C. Fränkel a soumis à son analyse un terrain de Potsdam, qui depuis trente ans ne nourrissait que des arbres fruitiers, une terre de Berlin où des maisons s'étaient élevées pendant un siècle, et le sol du jardin du laboratoire de la Klosterstrasse. Les résultats ont été sinon identiques, au moins très comparables. A la surface du terrain vierge et surtout des sols souillés par les habitations humaines, le nombre des germes cultivables dans la gélatine a toujours été très considérable. Par centimètre cube, il s'est élevé ordinairement à 100 000, il a atteint quelquefois 550 000; rarement il s'est abaissé au-dessous de 50 000. Le fait principal, constaté dans l'analyse de ces divers sols, a été la brusque diminution du nombre des microbes à mesure qu'on pénétrait dans la profondeur de la terre. Les régions les plus peuplées siègent à un quart ou un demi mètre au-dessous de la surface, c'est-à-dire en un point où les germes échappent à l'action destructive de la lumière. Au-dessous d'un mètre, la chute brusque du nombre des microbes se fait sentir dans tous les terrains, si bien que vers trois mètres et demi, quatre mètres ou cinq mètres, la terre est vierge de microbes et reste stérile dans les milieux de culture. D'une façon générale, le nombre des germes est plus grand pendant les périodes chaudes et humides de l'année.

Reste une question essentielle pour le sujet qui nous occupe : quelle est la nature de ces germes enfouis dans le sol? quelles sont leurs propriétés? quelle influence peuvent-ils exercer sur la santé de l'homme? Les résultats, encore bien incomplets des expérimentateurs, s'accordent à mentionner, dans les régions superficielles, la présence d'une énorme proportion de bactéries, surtout de bacilles qui fluidifient la gélatine, et d'une quantité notable de champignons et de levures. Les microcoques sont relativement en petit nombre. L'abondance des formes sporulaires varie avec les espèces de terrains. La recherche des microbes anaérobies a été pratiquée d'une façon très sommaire dans le travail de C. Fränkel. Son procédé d'étude n'était guère favorable à leur décou-

verte. Il n'a jamais trouvé le microbe du tétanos et n'a rencontré qu'une fois le vibron septique dont l'abondance est pourtant si considérable à la surface de la terre. D'autres microbes encore sont passés sous silence, qui jouent dans le sol un rôle d'une extrême importance : les ferments qui produisent les nitrates assimilables et ceux qui les réduisent; les bactéroïdes qui créent dans les légumineuses les nodosités des racines.

L'expérience de Schlösing et Müntz, sur la nitrification des substances ammoniacales avait imposé l'hypothèse de l'existence d'un agent vivant, d'un ferment nitrique. Ce ferment a été découvert et cultivé avec une ingéniosité admirable par Winogradsky. On sait qu'un grand nombre d'espèces banales, saprophytes du sol, ont la propriété de vivre aux dépens des substances albuminoïdes en produisant de l'ammoniaque. L'oxydation de cette ammoniaque dans le sol avait été constatée depuis longtemps et Dumas l'avait attribuée à l'influence de l'oxygène de l'air en présence des matières poreuses du sol. Winogradsky a montré que le processus de la nitrification des substances ammoniacales était double. Dans une première étape, sous l'action d'un petit microbe arrondi, muni d'un cil extrêmement long, et dont la morphologie est un peu variable dans l'ancien et dans le nouveau monde, l'ammoniaque passe à l'état d'acide nitreux et dans une seconde étape sous l'influence d'une petite bactérie (nitro-bactérie) que l'on trouve semblable à elle-même dans les deux hémisphères, l'acide nitreux passe à l'état d'acide nitrique.

Gayon et Dupetit ont établi que certains microbes, incapables d'attaquer les nitrates lorsqu'ils vivent à l'air libre, ont, au contraire, le pouvoir de les détruire activement si on les oblige à mener une vie anaérobie. Ils empruntent à la combustion des matières hydrocarbonées, l'énergie nécessaire à la décomposition des nitrates, et ils dégagent, suivant la convenance des milieux, du protoxyde et du bioxyde d'azote.

Grâce à la présence du *Bacillus subtilis* le fumier laissé à l'air s'échauffe jusqu'à 80 degrés et se couvre d'une vapeur d'eau et d'ammoniaque, qui est abattue par les pluies ou emportée par les vents, causant à l'agriculture des pertes d'une valeur inestimable. Si l'on prend 2 mètres cubes de fumier⁽¹⁾, l'un conservé à l'air libre et l'autre à l'abri de l'air, le premier perd son ammoniaque, le second le conserve et ne laisse échapper que de l'acide carbonique et du carbure d'hydrogène que l'on peut utiliser pour l'éclairage (Gayon). Ce gaz provient alors de la cellulose attaquée par ces germes anaérobies que M. Gayon a isolés et étudiés. Cultivés sur le papier filtre, ils dégagent de l'acide carbonique et du carbure d'hydrogène et transforment ce papier en une substance noire comme le fumier. Les tourbières du sol n'ont pas d'autre origine que la

(1) Cours de M. Roux à l'Institut Pasteur.

destruction de la cellulose, laquelle, sous l'influence de semblables microbes, a perdu de l'hydrogène et accumulé du carbone.

La houille dans laquelle Van Tieghem a découvert des traces de bacilles n'est que le résultat de la transformation de forêts immenses, ensevelies sous l'eau et modifiées par l'activité des microbes.

Nous avons vu que les nitrates produits dans le sol par les actions microbiennes fournissent l'azote à la plupart des éléments du règne végétal. Certaines cultures, au contraire (petits pois, luzerne, etc.), sous l'activité d'autres germes empruntent directement à l'atmosphère l'azote de leurs tissus, et sont capables d'en faire bénéficier la terre dans laquelle on les enfouit. Telle est la raison de cette pratique de la culture qu'on nomme assolement et qui fait semer sur le même terrain successivement le blé, la betterave et une légumineuse.

Le pouvoir d'assimiler l'azote atmosphérique est le résultat, comme l'avait soupçonné Lachmann et l'ont montré Hellriegel et Wilfarth, de l'apparition de petites nodosités sur les racines des légumineuses⁽¹⁾. Un plant de petits pois qui s'élève dans un terrain constitué par du sable stérilisé et de l'eau, a bientôt utilisé tout l'azote du terrain et se développe très mal; si l'on ajoute à ce sol artificiel une trace impondérable de terre arable dissoute dans l'eau, le pois grandit vite et accumule dans ses feuilles une énorme quantité d'azote. C'est que les racines de la plante se sont tout à coup chargées de nodosités qui manquaient avant l'addition d'un peu de terre arable. Ces nodosités sont le produit de la végétation de certains microbes nommés *bactéroïdes*, isolés en cultures pures par Laurent et Schlösing fils, et dont la multiplication se fait par division longitudinale. La fonction de favoriser la fixation de l'azote atmosphérique dans les feuilles des plantes n'est pas l'apanage exclusif d'une seule espèce bactérienne; Winogradsky a fait connaître récemment une autre bactérie qui jouissait de cette propriété.

L'étude des saprophytes dont je viens de parler, a abouti à quelques conclusions qui intéressent la connaissance des microbes pathogènes du sol. Nous savons que dans la terre, non fissurée, les microbes ne pénètrent pas au delà de quatre ou cinq mètres, parce que, à cette profondeur, les conditions favorables de température et d'aération font défaut. Nous savons aussi qu'un nombre immense de germes se trouve à un demi, un, deux et quelquefois trois mètres de profondeur où ils rencontrent les éléments d'une alimentation suffisante et que ces germes peuvent jouer un rôle dans le développement des maladies infectieuses, par un acte de symbiose, capable de multiplier le pouvoir pathogénique d'un virus. Or, les microbes pathogènes pullulent à la surface du globe. Une parcelle d'un terrain quelconque, terre arable, terre de jardin ou terre de rue, recueillie à quelques centimètres de profondeur et insérée sous la peau

⁽¹⁾ Traduction dans annales de la science agronomique française et étrangère, t. I, 1890. — Chez Berger-Levrault. Voyez sur ce sujet les Revues agronomiques de M. Grandea.

d'un animal, produit généralement une maladie grave, septicémie aiguë, tétanos, quelquefois le charbon, plus rarement une simple ulcération ou une suppuration.

On rencontre surtout, répandus d'une façon profuse, les germes qui, sous la forme sporulaire, résistent aux causes de destruction. Schottelius a enfoui dans la terre des lapins morts de tuberculose et les a exhumés au bout d'un an; leurs cadavres renfermaient encore des bacilles vivants et virulents.

Bien d'autres microbes pathogènes rebelles à nos cultures de laboratoire se conservent et se multiplient dans le sol. L'exemple le plus typique est celui de l'hématozoaire de la fièvre paludéenne que certains sols peuvent recéler, vivant, pendant des siècles. Le germe de la dysenterie, de la fièvre jaune, peuvent conserver leur vitalité dans le sol comme en témoignent des centaines d'observations épidémiologiques.

Le vibron cholérique vit et pullule dans certains terrains. L'influence nocive du sol du delta du Gange est connue depuis longtemps, et la récente épidémie espagnole semble avoir eu pour point de départ des remuements de terrains contaminés peu d'années auparavant par des germes cholériques. Même observation pour la fièvre typhoïde. La démonstration de l'influence cholérique ou typhogène du sol s'appuie sur deux sortes d'arguments tirés les uns de constatations épidémiologiques, les autres d'expériences de laboratoire. Il est à remarquer tout d'abord que les premiers indiquent une durée de conservation des germes pathogènes dans le sol bien autrement étendue que ne semblent le constater les seconds. Ce sont ceux-là qui méritent créance. En effet, des expériences de laboratoire faites sur un terrain choisi, avec un degré de tassement, d'aération, d'humidité, de température donné, avec un germe virulent d'une résistance spéciale et dans un sol où la concurrence des saprophytes est aussi particulière à ce milieu, ces expériences, dis-je, ne peuvent s'appliquer que d'une manière très relative à un sol quelconque où les facteurs que je viens d'énumérer interviennent différemment. Soit, comme exemple, la fièvre typhoïde. Nous savons par les ingénieuses expériences de MM. Grancher et Deschamps que dans le terrain d'Achères arrosé à sa surface de bacilles typhiques, les microbes ont pénétré à une profondeur de cinquante centimètres, vivant encore au bout de cinq mois. La constatation est intéressante, mais permet-elle d'assurer que le bacille typhique ne peut franchir une limite plus profonde ou vivre plus longtemps dans le sol? Certes non. Il n'est pas certain tout d'abord que le fait de ne les avoir pas trouvés dans les cultures d'échantillons de terre situés plus profondément, suffise pour affirmer que les bacilles typhiques étaient absents.

J'ai signalé antérieurement, que dans une culture de laboratoire, la présence simultanée de certains microbes mettait obstacle à la pullulation de certains autres. Tel le coli-bacille dans les cultures, qui gêne le