souterraine peut varier considérablement suivant les points où on l'examine. Cette eau intimement incorporée aux pores du sol échappe d'ailleurs à la tendance à l'horizontalité de surface des eaux libres, et ce n'est que par des observations directes et multipliées pour chaque lieu qu'on peut connaître son niveau et sa configuration.

Mouvements de la nappe souterraine. — L'assise imperméable sur laquelle repose la nappe souterraine étant rarement d'une horizontalité continue, la collection liquide obéit aux lois de la pesanteur et se déplace en suivant la pente de cette assise. La progression est toutefois lente et presque insensible en raison de la résistance qu'oppose le sol et de l'adhérence du liquide aux canaux capillaires dans lesquels circule le liquide.

Comme les lits des fleuves sont ordinairement creusés dans la couche imperméable, c'est en général le long de leurs berges que la nappe souterraine vient déverser son trop plein. L'eau que l'on trouve à une profondeur plus ou moins grande en creusant des galeries ou des tranchées le long des rives des cours d'eau provient donc le plus souvent de la nappe d'alimentation, au lieu d'être, comme une observation superficielle l'avait autrefois fait admettre, le résultat des infiltrations du fleuve. Cette indépendance de la nappe d'eau à l'égard des rivières voisines a été démontrée bien des fois, non seulement par la discordance qui existe entre les oscillations des unes et des autres, mais aussi par la différence de température et de composition chimique de l'eau. Ce n'est que dans les crues exceptionnelles que l'eau du fleuve, rompant la résistance que lui oppose le

courant souterrain peut refluer dans la nappe d'eau et se mélanger avec celle-ci. Il n'est pas besoin d'insister sur l'importance qu'a ce fait au point de vue de la possibilité de contamination de l'eau des puits par l'eau du fleuve voisin.

Lorsque les vallées où les autres dépressions de terrain sont assez profondes pour atteindre le niveau de la couche imperméable, ou que celle-ci vient affleurer à la surface, par suite d'un soulèvement, l'eau de la nappe souterraine jaillit sous forme de source.

Oscillations de la nappe souterraine. — Ce sont les pluies qui, ainsi que nous venons de le voir, alimentent seules la nappe souterraine. La quantité d'eau qui tombe à la surface du sol étant pour une même région, un même bassin, très variable suivant les saisons, et les années, la nappe souterraine éprouve des oscillations dans son niveau. Celui-ci s'élève à la suite d'une pluie abondante, s'abaisse au contraire dans les temps de sécheresse. Il n'y a pas cependant concordance absolue entre les oscillations de la nappe et celles des eaux météoriques, car la portion de ces eaux qui s'écoulent directement à la surface vers les cours d'eau, ou qui est enlevée par l'évaporation, est fort variable suivant les lieux et les temps.

En s'abaissant, la nappe d'eau laisse une zone dans laquelle l'eau est remplacée dans les interstices non capillaires de la terre par l'air. Cette zone qui est non plus saturée, mais seulement humide, et dans laquelle peuvent se produire des conflits entre l'eau, l'air et la matière organique se trouve dans les conditions les plus favorables pour devenir un terrain de culture des micro-organismes.

sévérité de ces maladies, on ne saurait refuser tout rôle à l'infection par le sol.

En fournissant des indications sur l'état d'humidité des couches supérieures où se trouvent accumulées tant de matières fermentescibles plus ou moins suspectes, les oscillations de la nappe souterraine sont donc un élément dont il importe de tenir compte.

IV. Matières organiques du sol. — Leurs transformations. — Micro-organismes du sol. — Role épurateur du sol. — Le sol contient, outre l'eau et des gaz, une plus ou moins grande quantité de matières organiques.

Franklan d a trouvé à 1 mètre de profondeur :

	Mat. fixes	Azote organique	Azote total
Sol cultivé et très fumé...	143.512	0,3 — 3,3	1,3 — 27,5
Sol non fumé avec matières azotées.....	238.482	0,2 — 0,7	0,6 — 14.1
Sol en friche.....	186.326	0,2 — 1,16	0,5 — 26,8

C'est qu'en effet le sol est le réservoir, le *caput mortuum*, où viennent finalement aboutir tous les déchets de la vie organique animale et végétale, cadavres d'hommes et d'animaux, immondices, détritus de toutes sortes.

Le sol n'est pas seulement un réservoir où s'accumulent ces matières, c'est aussi un laboratoire où elles se transforment et se résolvent en leurs éléments simples, azote, acide carbonique et eau. (Duclaux). On voit donc quel rôle important joue le sol, tant au point de vue de la biologie générale qu'au point de vue de l'assainissement.

A part la matière organique directement et volontairement enfouie dans la terre, soit sous forme de cadavres d'hommes ou d'animaux, soit sous forme d'engrais, c'est l'eau météorique qui sert de véhicule à ces substances. C'est grâce à la pluie qui dissout les unes, entraîne mécaniquement les autres que ces souillures organiques dispersées à la surface pénètrent et s'infiltrent dans le sol.

La terre agit vis-à-vis de celles qui sont simplement tenues en suspension dans l'eau comme un ensemble de filtres plus ou moins serrés qui retiennent dans leurs mailles les particules solides. Ce n'est pas tant l'étroitesse des pores que l'action de la capillarité et d'attraction moléculaire qui agit ici. Des corps beaucoup plus petits que le diamètre des pores, tels que les microbes sont en effet arrêtés au passage. Miquel a constaté que l'eau d'égoût qui contient en moyenne 23 millions de bactéries n'en contient plus que 1.600 environ après son passage à travers les champs d'épuration de Gennevilliers. Falk, en filtrant à travers une couche de sable de $0^{m}60$ d'épaisseur une dilution de sang charbonneux, n'a plus trouvé de bactéridies dans le liquide après sa sortie du filtre.

Ce pouvoir de filtration du sol varie nécessairement dans d'assez larges limites suivant la nature, la constitution physique des terrains, leur degré d'humidité. Ainsi dans un sol sec, l'eau et les matières qu'elle tient en suspension s'arrêteront dans les couches superficielles tant que celles-ci n'auront pas atteint leur degré de saturation. Si au contraire la capacité d'absorption est satisfaite, les matières organiques pénètreront dans des couches plus profondes. Les fissures qui se produisent

dans certains terrains après les longues sécheresses pourront aussi annihiler, ou du moins diminuer dans une large mesure cette action filtrante du sol et permettre aux matières organiques de la surface d'aller souiller la nappe souterraine.

Le rôle du sol vis-à-vis des eaux chargées de matière organique ne se borne pas à une simple action mécanique. Il agit aussi sur les matières dissoutes. Falk, en faisant passer à travers une couche de terre de 0,60 centimètres de hauteur des solutions de divers composés organiques définis, ne les a plus retrouvés dans le liquide filtré. Soyka, de son côté, en arrosant le sol avec des solutions suffisamment diluées de strychnine, de morphine, de quinine, d'atropine a constaté la disparition de ces alcaloïdes. La plupart des ferments solubles perdraient aussi leurs propriétés par le passage à travers une couche de terre. Certains principes cependant paraissent plus stables et Falk a retrouvé inaltérés après la filtration la naphthylamine, le thymol, la salicine, l'asparagine.

Les substances dissoutes cheminent du reste très lentement dans les couches du sol. Dans les expériences d'Hoffman, à Leipzig, il a fallu de 482 à 713 jours pour qu'elles pénètrent à 3 mètres de profondeur.

D'après les recherches poursuivies à Berlin par R. Koch, une très grande épaisseur de terre ne serait pas nécessaire pour obtenir une filtration et une oxydation complète de la matière organique. Le savant de Berlin a constaté qu'à la profondeur de 1 mètre, l'eau est complètement débarrassée de ses souillures.

La matière organique ainsi absorbée et retenue par le sol y subit, avons-nous dit, des transformations et

des décompositions qui la ramène à ses éléments simples. Ces transformations sont l'œuvre des micro-organismes du sol.

V. Micro-organismes du sol. — L'existence des microbes dans le sol a été démontrée directement par la méthode des cultures. Si l'on mélange en prenant toutes les précautions convenables une parcelle de terre avec de la gélatine nutritive, selon le procédé de Fraenkel, on ne tarde pas à voir se développer sur cette gélatine des colonies nombreuses et variées.

Cette méthode de cultures permet en outre de procéder à la numération de ces micro-organismes et les intéressantes recherches de Koch, Beumer, Maggiora, Fraenkel ont montré que leur distribution était loin d'être uniforme dans toutes les couches du sol. Le nombre des bactéries, très grand dans les couches superficielles, diminue rapidement à mesure qu'on s'enfonce dans la profondeur. Cette décroissance se fait, non graduellement, mais brusquement et irrégulièrement, et l'on arrive à une couche située à une profondeur, variable suivant les localités où il n'y a plus traces de microbes. Comme on pouvait s'y attendre, le nombre des germes dans les sols incultes et les forêts est beaucoup moins considérable que dans les terrains cultivés, et surtout que dans les lieux habités. Les sables sont plus pauvres en bactéries que les terrains composés d'humus ou d'argile.

Quelque intérêt que présentent ces résultats, ils n'ont toutefois qu'une valeur très relative. On n'a pas tenu compte en effet des microbes anaérobies qui échappent aux procédés habituels de culture et qui,

suivant Duclaux, jouent peut-être le rôle le plus important dans les processus de fermentation et de putréfaction dont le sol est le théâtre : témoin le vibrion septique qui n'est pas même mentionné par Fraenkel.

La plupart de ces microbes sont des microbes saprophytes dont la fonction est de dissocier la substance organique qui a cessé de vivre et de la rendre propre à entrer dans la construction de nouveaux organismes. Duclaux a montré que les plantes placées dans un sol pourvu de tous les éléments nécessaires à la végétation, mais préalablement stérilisé, se développaient incomplètement et ne tardaient pas à languir et à dépérir. D'un autre côté, les recherches de Schlœsing, et Muntz ont établi que la nitrification des matières organiques du sol était l'œuvre d'un ferment auquel ils ont donné le nom de *ferment nitrique*.

Les espèces saprophytes qui vivent dans le sol paraissent être très variées. Parmi les formes assez nombreuses décrites par Adamets, nous citerons le *bacillus subtilis* et le *b. amylobacter*, le *vibrio rugula*, plusieurs *mucédinées* et *saccharomycètes*. Chacune de ces formes a sans doute, comme le pense Duclaux, une action élective sur les substances organiques très variées qu'elles sont chargées de détruire. « Ce n'est » pas d'ordinaire en une seule fois, et sous l'influence » d'une espèce unique que ces substances sont ame- » nées à l'état élémentaire où leur hydrogène a pris la » forme d'eau, leur azote, celle d'ammoniaque, et leur » carbone, celle d'acide carbonique. D'ordinaire les » produits intérimaires sont respectés par l'espèce qui » les a produits et sont destinés, à être repris en » sous-œuvre par une espèce différente qui, elle-même, » les abandonne à une troisième et ainsi de suite ». (Duclaux).

La plupart de ces espèces sont inoffensives. On en rencontre cependant quelques-unes qui ont une action pathogène. Tel est, par exemple, le *vibrion septique* (*bacille de l'œdème malin de* Koch) découvert par Pasteur et dont les germes se trouvent en si grande abondance dans la plupart des terres. Inoculé aux animaux, souris, cobayes, moutons, porcs, il détermine rapidement la mort avec des symptômes de septicémie, et chez l'homme, il paraît être l'agent de cette redoutable complication que l'on nomme la gangrène gazeuse. Tel est encore le bacille dénommé par Nicolaïer, qui l'a signalé le premier, *Bac. tetani*, en raison des accidents tétaniformes que provoque son inoculation aux animaux. Il est malheureusement fort mal connu ; il n'a pu être encore cultivé et sa présence dans le sol n'a pu être démontrée que d'une façon indirecte ; mais la constatation d'un pareil microbe dans les terres offre un vif intérêt en présence des tendances actuelles à rattacher le tétanos aux maladies infectieuses et à chercher en dehors de l'économie l'agent spécifique.

Quant à l'origine tellurique du charbon, à la possibilité pour la bactéridie de se développer et de parcourir toutes les phases de son existence en dehors de l'organisme et dans les couches du sol, elles ne sont plus guère contestées, et Koch considère même la terre comme l'habitat normal du *bacillus anthracis*, et le parasitisme de ce dernier, comme une sorte d'accident.

Enfin s'il est un micro-organisme tellurique par excellence, à supposer que ce soit un micro-organisme, (schizomycète ou protozoaire) comme tout tend à le

faire admettre, c'est bien l'agent encore insuffisamment connu de la malaria.

Outre les micro-organismes qui ont le sol pour habitat, la terre reçoit incessamment dans son sein les agents de toutes les maladies infectieuses, soit qu'ils y soient directement déposés avec les cadavres des animaux et des hommes, soit qu'ils soient entraînés avec l'eau de pluie qui les a recueillis à la surface.

Une fois enfouis dans le sol, que deviennent ces germes infectieux ? S'y détruisent-ils comme la matière organique morte ? Y trouvent-ils au contraire un terrain favorable à leur culture et à leur multiplication ? ou bien encore y conservent-ils, à la façon des graines des végétaux supérieurs, une vie latente en attendant le moment où ils seront ramenés à la surface et disséminés de nouveau dans l'atmosphère ? Cette question qui a le don de passionner partisans et adversaires de l'infection par le sol, et qui est au point de vue pratique d'un si haut intérêt pour l'application du système de l'épuration des eaux d'égout par les irrigations est encore controversée.

Il est probable, comme le font observer R. Koch et Flugge, que la plupart des bactéries pathogènes rencontrent dans le sol la redoutable concurrence des bactéries saprophytes et que la plupart succombent dans cette lutte. Mais il est possible, ainsi que l'objecte Pasteur, que certaines d'entre elles ayant la faculté de former des spores aient plus de résistance et puissent à la façon des graines, des végétaux plus élevés sommeiller plus ou moins longtemps, et recommencer, dès que les conditions sont favorables, leur évolution. Pasteur a démontré le fait pour la bactéridie charbonneuse

dont le germe peut rester inaltéré des années entières dans la terre où ont été enfouis des animaux charbonneux. Soyka a même constaté que dans certains cas, non seulement cette bactérie pouvait accomplir toutes les phases de son existence dans le sol et y donner des spores, mais qu'encore son développement était plus rapide, quand la terre offrait un degré d'humidité convenable, que dans le liquide de culture lui-même.

Tout récemment enfin Grancher et Deschamps sont arrivés à des résultats analogues pour le bacille typhique qui, enterré dans de la terre, à 40 ou 50 centimètres de profondeur, a conservé sa vitalité plus de 5 mois et demi, plus longtemps que dans une culture sur gélatine peptone laissée à l'air libre.

CHAPITRE II

ATMOSPHÈRE.

De tous les modificateurs dont l'hygiène à étudier l'action, il n'en est pas qui soit en rapports plus intimes, plus continus avec l'organisme que l'atmosphère. La vie est avant tout un conflit incessant entre l'élément anatomique, la cellule, et l'air. Nous faisons passer par nos poumons 540 litres d'air par heure, 7 à 8 mètres cubes par jour et il est difficile de supposer en présence de ces chiffres que toute modification dans sa composition, dans ses propriétés physiques et chimiques n'ait pas un retentissement sur l'économie. Aussi les croyances populaires ont-elles cherché de tous temps dans le plus ou moins de pureté du fluide gazeux qui nous entoure la cause de la plupart des maladies populaires.

I. — Composition chimique de l'air.

L'air présente la composition suivante.

	En volume	en poids p. 100.
Oxygène	20.99	23.01
Azote	78.98	75.99
Acide carbonique	0,03 à 0.04	
Vapeur d'eau	0.96	

Cette composition, sauf pour la vapeur d'eau dont la proportion varie dans de larges limites, se montre à peu près constante, quel que soit le point du globe où le gaz a été recueilli, à la condition qu'il ait été pris à l'air libre et à la pression normale de 0,760. Les variations un peu considérables de la pression atmosphérique, telles que celles déterminées par les différences d'altitudes, les obstacles apportés au renouvellement de l'air des espaces clos peuvent en revanche, ainsi que nous le verrons plus loin, modifier notablement la proportion de ces divers éléments.

A. — **Oxygène**. — L'oxygène est, au point de vue biologique, l'élément actif de l'air. C'est lui qui se fixe sur les globules du sang pour former avec l'hémoglobine une combinaison instable, l'oxyhémoglobine. Celle-ci est réduite dans les capillaires et cède aux éléments anatomiques son oxygène destiné à subvenir aux combustions organiques. La quantité d'oxygène absorbé dans un temps donné dépend de l'activité des échanges interstitiels. Un homme adulte bien portant et au repos consomme en moyenne 822 grammes, ou 575 litres d'oxygène dans les 24 heures. Cette proportion s'élève à 1010 grammes ou 700 litres si l'individu se livre à un travail musculaire. (Voit et Pettenkofer).

A l'air libre et à la pression normale les variations dans la proportion d'oxygène se maintenant dans d'étroites limites et ne dépassant pas 0,81 0/0, l'hygiène n'a pas à en tenir compte. Il n'en est pas de même dans les espaces clos où l'air se renouvelle difficilement. Dans les grottes naturelles, dans les mines la proportion d'oxygène descend parfois à 16 et 15 0/0. Nous avons vu plus haut que l'air du sol est en effet beau-

Si la nappe vient à monter, cette zone sera de nouveau inondée, l'air sera expulsé, et le développement des bactéries qui ont besoin d'oxygène sera entravé. En d'autres termes, l'abaissement de la nappe souterraine étendra les limites de la zone humide dangereuse, son élévation les restreindra au contraire.

Ces oscillations pourront donc, suivant Pettenkofer et l'école de Munich, donner la mesure de l'humidité des couches situées au-dessus de la nappe aquifère et des conditions plus ou moins favorables qu'elles offrent au développement des microbes. Elles ont de plus une influence marquée sur les courants aqueux et gazeux du sol auxquels cette école, nous l'avons dit plus haut, attribue un rôle important comme agents de transport et de diffusion dans l'atmosphère des germes pathogènes enfouis dans le sol.

Relations des maladies épidémiques avec les oscillations de la nappe souterraine. Théorie de Pettenkofer. — Pettenkofer étudiant la marche de la fièvre typhoïde et du choléra à Munich a constaté qu'il existe des relations étroites entre le développement et la marche de ces maladies et les oscillations de niveau de la nappe souterraine. Le début des recrudescences annuelles de la fièvre typhoïde aurait lieu au moment où le niveau s'abaisse, l'acmé coïnciderait avec le moment où ce niveau est le plus bas et la période décroissante arriverait quand la nappe d'eau s'élève. Nous avons vu plus haut comment l'illustre hygiéniste de Munich explique cette influence des oscillations de la nappe souterraine. L'agent infectieux, soit qu'il ait son origine et son habitat dans le sol, soit qu'il vienne du dehors, trouverait dans les couches laissées à sec et simplement humides des conditions éminemment favorables à son développement. Il subirait dans le sol une sorte d'élaboration qui lui communiquerait toute son activité, toute sa virulence.

Cette théorie, dite théorie du *Graundwasser*, a eu un grand retentissement et a trouvé de fervents adeptes et de non moins ardents contradicteurs. Les discussions auxquelles elle a donné lieu sont loin d'être apaisées et le débat continue encore, les adversaires à la tête desquels se trouve R. Koch, déniant tout rôle au sol dans la genèse et la propagation des maladies infectieuses, les partisans considérant au contraire celui-ci comme le point de départ, ou du moins l'intermédiaire obligé de l'infection.

Il semble à bien des esprits impartiaux que la vérité se trouve entre les deux opinions. Evidemment la loi posée par Pettenkofer est beaucoup trop absolue. Les relations entre la marche de la fièvre typhoïde et les oscillations de niveau de la nappe, bien que vérifiées dans un grand nombre de localités, ne sont pas constantes et les phénomènes se produisent parfois en sens inverse. D'ailleurs les données que nous possédons actuellement sur le mode de transmission des deux maladies sont là pour prouver que le sol n'est pas l'intermédiaire nécessaire de l'infection et que celle-ci se fait même le plus souvent par d'autres voies.

Mais il n'est pas moins certain d'autre part que le plus ou moins de souillure des couches du sol exerce une influence manifeste sur le développement des épidémies de choléra et de fièvre typhoïde, et en présence des faits aussi nombreux que décisifs qui attestent les heureux effets de l'assainissement du sol sur la fréquence et la