pédies d'hygiène de PETTENKOFER et de T. WEYR, il sera facile de trouver une bibliographie complète sur le sujet en cause, et notre but était avant tout d'indiquer des articles originaux, faciles à consulter.

J.-P. LANGLOIS.

Paris, le 1er novembre 1896.

PRÉCIS D'HYGIÈNE
PUBLIQUE ET PRIVÉE

CHAPITRE PREMIER
DU TERRAIN

L'homme vit sur la terre, tire d'elle, soit directement, soit indirectement, tout ce dont il a besoin pour son existence. Cette simple constatation montre quelle doit être l'importance de l'étude du terrain, du sol, en hygiène.

Les progrès incessants de la géologie ont multiplié les diverses zones qui constituent les formations successives du globe. Bien que l'étude de ces couches présente un intérêt réel, nous ne croyons pas devoir entrer dans l'exposition même sommaire des classifications géologiques actuelles, classifications, d'ailleurs, toujours sujettes à remaniements.

On peut diviser, en dehors de leur position géologique, les terrains en siliceux, argileux et calcaires, suivant que l'un de ces éléments domine dans la constitution des roches.

Les roches compactes, siliceuses, comme le granit, le gneiss et le grès, ou calcaires comme le marbre, les calcaires noirs, les craies ne se laissant pas pénétrer par l'eau ni par les souillures quelconques, constituent un sol salubre au premier chef. L'eau qui s'échappe des massifs granitiques est excellente, et les sources issues de la craie compacte, bien que trop chargées de sels calcaires, ne sont pas dangereuses.

Quant aux roches désagrégées, il y a généralement lieu de tenir compte de la situation qu'elles occupent, des rapports

qu'elles présentent avec les couches sous-jacentes. Les sables siliceux, un peu gros, sont généralement très salubres ; ils constituent d'excellents filtres pour les eaux, et nous verrons plus tard l'utilisation heureuse des couches de sable artificielles pour la purification des eaux, mais si le sable est à grains fins, si en dessous se trouve un terrain imperméable, roche dure ou argile, et que l'écoulement par suite de l'absence de pente est impossible, alors les matières organiques peuvent s'y accumuler, et transformer la couche siliceuse en une zone riche en matières organiques décomposées. Les mêmes remarques s'appliquent aux roches calcaires, gypseuses ou dolomiteuses (magnésie).

Les roches argileuses sont caractérisées par leur propriété énergique d'absorber l'eau et de la retenir.

Elles constituent alors une zone imperméable au-dessus de laquelle s'arrêtent les eaux et tous les détritus qu'elles entraînent. En principe, un sol argileux (argile plastique, argile marneuse, kaolin) est un terrain dans de mauvaises conditions au point de vue de l'hygiène.

Sous l'influence des divers agents atmosphériques, de l'eau, des plantes et de l'homme, le sol se modifie sans cesse. L'humus ou terre végétale se forme par suite du dépôt de matières organiques provenant soit des plantes poussant naturellement et laissant tomber leurs feuilles et leurs branches sur le sol, soit d'engrais apportés de mains d'homme. Autour des grands centres, le sol subit lentement un exhaussement par suite de l'apport continuel des détritus.

§ 1. — Rapports des terrains avec l'eau

Dans l'étude des terrains, on peut affirmer que tout est secondaire à côté de la question de l'eau. C'est l'eau, en effet, qui est le véhicule le plus fréquent des microorganismes pathogènes et c'est grâce à elle que ces êtres peuvent vivre et se développer dans le sol. Les roches compactes ne renferment guère que de l'eau de cristallisation ou à l'état de combinaison par suite d'affinités chimiques, et nous n'avons pas à nous en préoccuper au point de vue de l'hygiène ; les roches désagrégées, nécessairement poreuses, renferment par contre une certaine quantité d'air et d'eau dans leurs pores, c'est ce qui constitue l'air et l'eau telluriques. Les causes qui agissent sur la teneur en eau du sol, sur le degré hygrométrique d'un terrain sont multiples : 1° les précipitations aqueuses ; 2° l'évaporation ; 3° la capacité hygrométrique ; 4° la circulation capillaire ; 5° la perméabilité.

1° Les précipitations aqueuses. — L'eau qui pénètre dans le sol provient des précipitations de la vapeur d'eau sous forme de pluie, de rosée ou de neige. On conçoit que la teneur en eau du sol soit influencée par le régime atmosphérique, toutefois ce n'est en général qu'une faible quantité de l'eau tombée à la surface du sol qui pénètre dans la profondeur ; une première partie est évaporée rapidement, une seconde gagne les cours d'eau sans pénétrer dans le sol, la troisième partie seulement imbibe ou traverse le sol, suivant la nature de ce dernier pour gagner la nappe d'eau souterraine. Les pluies d'été, tombant sur un sol desséché, atteignent rarement une certaine profondeur, car l'évaporation, dans les journées chaudes, reprend rapidement l'eau retenue à la surface. Pendant la saison froide, au contraire, l'air est rapidement saturé, l'évaporation faible ou nulle et la pénétration se fait. La richesse de la végétation a une importance énorme sur la pénétration de l'eau. Les forêts jouent un rôle de régulateur dans l'humectation du sol, et les déboisements irréfléchis ont souvent modifié les conditions générales d'une contrée.

2° Évaporation. — L'évaporation modifie encore la teneur en eau du terrain, et son action s'exerce non seulement sur les couches superficielles, mais aussi sur les couches plus profondes ; les premières, en se desséchant, appelant par capillarité l'eau des couches inférieures. Les terres chargées de matières organiques présentent une évaporation plus active que les sables. Ajoutons qu'il en est de même quand il s'agit non plus d'évaporation, mais d'absorption de la vapeur d'eau. Les sables quartzeux n'absorbent pas de vapeur d'eau, alors que l'humus en prend des quantités considérables.

3° Capacité hygrométrique. — Il y a lieu de distinguer la capacité maxima ou point de saturation et la capacité absolue. La première représente la quantité maximum d'eau qu'un terrain peut absorber et la seconde, la quantité minimum d'eau qu'il retient. Le point de saturation est réalisé, soit d'une façon intermittente à la surface du sol après des pluies, soit d'une façon permanente au contact de la nappe d'eau souterraine. Dans l'intervalle des pluies ou à une certaine distance de la nappe d'eau souterraine, le sol s'imbibant par capillarité et par adhérence, il était à prévoir que la teneur en eau serait d'autant plus élevée que les pores seraient plus petits, ou plus nombreux, c'est-à-dire que le grain serait plus fin. C'est ce que confirment les recherches de Hofmann : étudiant des sables de Leipzig, il a vu qu'un litre de grains au diamètre de 5 millimètres absorbait 55 centimètres cubes d'eau, alors que du sable aux grains très fins, D — $0^{mm},5$, retenait sept fois plus d'eau : 345 centimètres cubes.

En outre de la structure, mais secondairement, il faut faire intervenir la constitution chimique du terrain ainsi que le montrent les recherches de Meister.

Un sol gypseux renferme. . .	52,4	d'eau p. 100 volumes.
— calcaire.	55	—
— argileux.	60	—
— tourbeux	63	—
La terre de jardin	69	—
Le terreau	70	—

La présence des matières organiques augmente considérablement, comme on le voit, le pouvoir absorbant du sol, ce qui se conçoit si l'on songe que la paille absorbe le double et même le triple de son poids d'eau (226 à 281 d'eau p. 100), les feuilles de hêtre, plus de quatre fois leur poids (441 p. 100). Ce que résume la phrase d'Hofmann : protéger le sol contre les détritus organiques, c'est l'assécher.

4° Circulation capillaire de l'eau. — L'eau dans le terrain peut, soit gagner les parties inférieures quand elle provient de la surface, soit au contraire s'élever des régions profondes. On

conçoit dans ce second cas, que les forces capillaires entrent en jeu, et par suite que les conditions soient de même ordre que pour la capacité hygrométrique. Le déplacement horizontal de l'eau est produit également par la force capillaire.

Dans le mouvement de descente, l'eau obéissant surtout à la pesanteur, les considérations les plus favorables de rapidité et de pénétration sont inverses des conditions précédentes ; plus les grains seront gros, les interstices considérables, plus la circulation s'effectuera rapidement.

5° Perméabilité. — La perméabilité se confond en partie avec la circulation, du moins en ce qui concerne la circulation de haut en bas : c'est la propriété que possède le terrain de se laisser traverser par l'eau. On conçoit facilement que cette propriété est en raison inverse de la capacité hygrométrique. La perméabilité est d'autant moindre que les grains sont plus fins.

Le sable, les roches désagrégées à gros grains constituent des terrains très perméables.

L'argile, au contraire, forme des couches imperméables ; au contact de l'eau, elle s'imbibe, devient plastique et sous cette forme constitue un obstacle à la descente de l'eau.

Flugge a déterminé le coefficient de perméabilité des différents terrains dans une série de recherches intéressantes et faciles à répéter. Il plaçait dans un large cylindre un mètre de différentes terres bien tassées, et maintenait au-dessus une couche d'eau de 1 centimètre, il obtint les résultats suivants :

	Quantité d'eau écoulée par minute.
Gravier à gros éléments.	180
Sable grossier.	103
Sable fin.	26
3 parties de sable et 1 partie de limon	15
1 partie de gravier, 2 parties de sable, 1 partie de limon	7
1 partie de sable, 1 partie de limon	2
Limon argileux pur	0

La perméabilité du sol présente un intérêt important ; c'est

grâce à un sol perméable que les eaux peuvent gagner les profondeurs en se purifiant dans leur passage.

§ 2. — Oscillation de l'humectation

Les oscillations de l'humidité du sol varient nécessairement avec les variations mêmes des précipitations atmosphériques à la surface et les variations dans la hauteur de la nappe d'eau souterraine. Suivant la nature du terrain, ces oscillations sont plus ou moins rapides, mais en général elles sont assez lentes par suite de la capacité hygrométrique même que présentent les terrains. Il est évident que les terrains à capacité faible, sont ceux dont les oscillations sont les plus rapides.

Malgré l'opinion de Pettenkoffer, il paraît bien difficile de tirer des relations entre le niveau de la nappe d'eau, et l'humectation des couches susjacentes. Ces relations existent certainement, mais elles s'établissent si lentement qu'on ne saurait les utiliser.

Les forages qui ont été faits dans le but d'étudier les variations de l'humectation du sol à différentes profondeurs, et suivant des conditions variables ont montré l'irrégularité apparente qui préside à ces oscillations.

Fleck, dans un terrain où la nappe d'eau souterraine était à 8 mètres, trouve le maximum d'humectation à $3^m,10$, le minimum à 1 mètre. Dans un autre cas, avec la nappe souterraine à 18 mètres, le maximum est à 3 mètres et le minimum à 9 mètres. Aussi Hofmann écrit-il : « Celui qui penserait avoir une idée de l'humidité du sol, en examinant au hasard une couche ou deux dans son épaisseur, se ferait d'étranges illusions. »

Cette étude de la relation du sol avec l'eau, explique comment les pluies agissent lentement sur les oscillations du niveau de l'eau souterraine. Le terrain est toujours chargé d'une certaine quantité d'eau, presque toujours même saturé au niveau de la nappe et quand les pluies arrivent, la capacité hygrométrique agit pour retenir une partie de cette eau et empêcher son arrivée à la nappe. Un calcul pris à Hofmann est bien démonstratif. Au cimetière de Leipzig, la nappe d'eau est à 12 mètres de

profondeur. Or ces diverses couches de sable et d'argile qui forment le sol retiennent 1.900 kilogrammes d'eau par mètre carré. Si ce sable était complètement desséché, il faudrait pour l'hydrater à nouveau 1.900 kilogrammes représentant 1.900 millimètres de pluie (une hauteur de pluie de 1 millimètre sur 1 mètre de superficie répondant à 1 kilogramme d'eau). On voit que, Leipzig recevant 574 millimètres de pluie par an, il faudrait trois ans au moins (sans tenir compte de l'évaporation et de l'écoulement superficiel) pour ramener le sable à son degré d'humectation actuel.

Hofmann admet, au point de vue des oscillations de l'humidité des terrains, trois zones :

1° La *zone d'évaporation*, essentiellement variable, subissant toutes les variations atmosphériques, se desséchant rapidement sous le soleil et le vent, se saturant pendant les saisons pluvieuses ;

2° La *zone de transition*, presque immuable, sa capacité hygrométrique est presque saturée : par suite, elle ne peut bouger, surtout si elle jouit d'une certaine perméabilité, toute l'eau supérieure passant alors dans la zone inférieure ;

3° La *zone de la nappe de capillarité*, au contact immédiat avec la nappe d'eau souterraine. L'eau qu'elle renferme montant par capillarité, la hauteur de cette zone dépend surtout de la grosseur des grains du sol. Dans les sols à grains fins elle atteint plusieurs mètres ; dans les sols à gros grains, elle peut n'avoir que quelques décimètres.

§ 3. — Nappe d'eau souterraine

Pettenkofer définit ainsi la nappe d'eau souterraine : cette couche aqueuse, souterraine, plus ou moins haute, existant dans le sol poreux, qui nous est accessible par le forage des puits. Les eaux existantes sous nos surfaces terrestres peuvent être considérées comme des étangs et des fleuves souterrains, remplis par des alluvions et plus ou moins comblés, de telle sorte que nous habitons et cultivons la terre par-dessus leur niveau. Si nous établissons un puits, nous pratiquons une ouverture à

travers la couverture de cette eau souterraine ; arrivés au niveau de l'eau, nous enlevons encore quelques mètres de matériaux de remplissage, de sorte que le bassin est déblayé et que l'eau s'y collectionne, pour être ramenée à la surface par la pompe élévatoire.

L'existence de la nappe d'eau souterraine comprend donc nécessairement une assise imperméable qui arrête les eaux pénétrant profondément dans le sol. Il est évident que, suivant la constitution géologique et la disposition stratigraphique d'une contrée, la profondeur de la nappe d'eau souterraine et son épaisseur varient dans de grandes limites. Dans quelques cas même, il est facile de comprendre que cette eau souterraine peut sourdre spontanément à la surface sous forme de véritables sources, quand le niveau de cette nappe est coupé, par exemple, par une vallée, une dénivellation quelconque.

La surface du sol, surtout lorsqu'il s'agit de transformation du relief due à des érosions et à des travaux atmosphériques, est souvent en désaccord avec la stratigraphie des couches profondes. On conçoit ainsi que l'aspect du sol ne peut permettre de juger de la configuration de la nappe d'eau souterraine, et il est absolument nécessaire de déterminer par un certain nombre de puits ou de forages, les différents niveaux de cette nappe, pour établir sa situation réelle dans une région. Ce travail a été fait méthodiquement à Munich.

Les bancs de suintements que l'on trouve dans certaines régions, quand on veut tenter des subconstructions, se trouvent précisément à la hauteur de la nappe d'eau souterraine. Dans certains cas, il peut s'agir d'infiltration réelle des cours d'eau avoisinants, mais souvent aussi le cours d'eau est absolument étranger à ce suintement et il est facile de l'établir par l'analyse de l'eau recueillie qui diffère complètement de celle du fleuve ou de la rivière.

Dans quelques cas, les rivières disparaissent de la surface du sol, soit brusquement pour former en dessous une véritable rivière souterraine qui reparaît après un certain parcours, comme l'Iton à Evreux, et un grand nombre de rivières algériennes, soit au contraire lentement, par une infiltration pendant

une partie de leur cours, comme l'historique Leitha, qui perd en quelques kilomètres la moitié de son débit, et comme l'Ain près Pont-de-l'Ain. Dans ce cas, il s'agit bien d'un appoint de la rivière à la nappe d'eau souterraine.

1° Mouvements de la nappe d'eau souterraine. — Il existe néanmoins une grande cohésion entre la nappe d'eau souterraine et les cours d'eau de son bassin. Le fleuve, suivant l'expression d'Arnould, est la nappe visible. Par suite, si le fleuve coule dans des rives encaissées, à pentes très rapides, il se peut que les variations de son étiage influent peu sur le niveau de la nappe souterraine. Mais si la vallée est large, à déclivité faible, il n'en est plus ainsi ; et les variations de hauteur de la nappe sont liées alors aux variations du fleuve. Quand les eaux sont basses, on note souvent un abaissement du niveau des puits, même quand l'analyse chimique dénote l'indépendance immédiate entre le puits et le fleuve. Mais c'est surtout quand il y a des crues, que l'on peut observer plus facilement le phénomène inverse.

Peu de temps après la crue, les sous-sols des environs du fleuve sont inondés, telles par exemple les caves de Bercy au moment des crues de la Seine.

La connaissance de l'existence de la nappe d'eau souterraine et du rôle de la capillarité qui s'y exerce si activement, permet de comprendre comment l'influence de la crue d'une rivière s'exerce bien au-dessus du niveau même du fleuve.

L'eau souterraine, obéissant aux lois multiples de la pesanteur et de la capillarité, est donc presque continuellement en mouvement, soit, ce qui est le cas normal, qu'elle marche des points les plus élevés vers le thalweg de la rivière, soit dans le cas de crue, qu'elle remonte du fleuve dans les terrains avoisinants. On a cherché à déterminer qu'elle pouvait être sa vitesse de translation et la formule suivante a été donnée :

$$V = K \frac{h}{l}$$

V, étant la vitesse, h, la pression, l, la longueur parcourue et K

un coefficient dépendant de la nature du sol. Mais ce coefficient est si variable, ne pouvant jamais être déterminé qu'expérimentalement pour un même lieu, que cette formule est beaucoup plus théorique que pratique. Les chiffres obtenus, en étudiant les élévations de niveau des eaux des puits en cas de crues, en versant du sel, ou des matières colorantes dans des trous de forages disposés à des distances variables d'un puits, varient de 1 à 10 mètres et dans certains cas on a noté des vitesses beaucoup plus grandes.

2° Puissance et profondeur de la nappe d'eau souterraine. — Le niveau supérieur de la nappe d'eau souterraine est nécessairement très variable, puisqu'il dépend de la profondeur de la zone imperméable. Si par exemple l'argile affleure, il peut ne pas y avoir de nappe d'eau souterraine, ou bien encore, le niveau peut être, au contraire, trop profond, pour que la nappe d'eau puisse jouer un rôle utile ou nuisible, et par suite intéresser l'hygiène. Les conditions les plus avantageuses sont vers 5 à 6 mètres. Quant à la puissance même de la nappe d'eau, question très importante, quand on veut demander à cette nappe les approvisionnements d'eau, elle dépend nécessairement de la configuration du bassin et de la nature du sol, de son mode de culture, de la pente vers le fleuve.

La nappe d'eau souterraine ne recueille, en effet, qu'une partie de l'eau tombée sur le sol. Une partie s'évapore à la surface et dans la zone dite d'évaporation, une seconde partie coule directement à la surface pour gagner les cours d'eau, et c'est le reste seul qui pénètre dans le sol. Dans le bassin parisien, un tiers seulement de l'eau tombée, indiquée par la météorologie, arrive à la mer par la Seine ; la Garonne, au contraire, en conduit les deux tiers. Cette différence tient au relief si différent du sol. Et encore dans ces quantités faut-il tenir compte des eaux de seconde catégorie, c'est-à-dire de celles allant directement au cours d'eau. C'est ainsi que les pluies violentes, torrentielles, exercent une faible influence sur le niveau de la nappe d'eau souterraine, parce que leurs eaux s'écoulent directement sans pénétrer dans le sol.

C'est en hiver que le niveau s'élève, parce qu'à cette époque la perte par évaporation est réduite à son minimum. En été, au contraire, et surtout dans certains pays très secs comme Madrid, le Caire, l'évaporation à la surface du sol est supérieure de beaucoup à la quantité d'eau tombée, et l'eau évaporée est alors empruntée à la nappe d'eau souterraine.

3° Etude des variations de la nappe d'eau souterraine. — L'importance attribuée aux variations de la nappe d'eau souterraine dans l'étiologie des maladies infectieuses par l'école de Munich a entraîné de nombreuses recherches sur les oscillations de cette nappe. On peut utiliser, dans ce but, un puits ordinaire dans lequel on ne puise pas constamment de l'eau pour les usages ordinaires, ou bien faire un trou de forage.

Pour mesurer la hauteur de l'eau, il suffit de descendre un ruban métrique muni d'un plomb et on note le point supérieur d'humectation ; Pettenkofer adapte des godets sur le ruban de distance en distance et il suffit de noter le chiffre du premier plein d'eau. Enfin au laboratoire d'hygiène de Munich, un appareil enregistreur des plus simples : un flotteur plongeant dans le puits et dont le fil passe sur une poulie munie d'un style enregistreur, permet d'inscrire automatiquement les variations de la nappe.

4° Le rôle joué par la nappe d'eau souterraine dans les épidémies. — Longtemps avant que les découvertes de Pasteur aient précisé nos connaissances sur les causes réelles des maladies transmissibles, on avait pu constater que certaines contrées, parfois certaines villes présentaient une immunité toute particulière. Tels, le massif granitique du Morvan, les quartiers de la Croix-Rousse, de Fourvières à Lyon, la ville de Versailles, en ce qui concerne le choléra.

Pettenkofer, étudiant la fièvre typhoïde et le choléra à Munich et comparant la marche de l'épidémie avec les oscillations de la nappe d'eau souterraine, vit que la recrudescence de l'épidémie coïncidait avec un abaisssement du niveau, quand cet abaissement avait été précédé d'une élévation insolite de la nappe. La célèbre

théorie du professeur de Munich, telle qu'elle a tout d'abord été rigoureusement émise, peut se résumer ainsi : « Les épidémies de fièvre typhoïde, et aussi celles du choléra coïncident avec l'abaissement du niveau de la nappe d'eau souterraine, surtout quand il y a eu au préalable élévation. Elles atteignent leur maximum d'intensité pendant le temps où le niveau est le plus bas, et décroissent quand ce dernier remonte. Le typhus monte, comme le grundwasser descend ». En 1854, date de la naissance de la *Grundwasser theorie*, il fallait se contenter d'admettre que les miasmes morbides, humectés par la nappe d'eau souterraine, restaient à l'état latent pendant tout le temps qu'ils étaient noyés par la nappe et prenaient leur virulence ou s'échappaient du sol quand ce dernier commençait à se déshydrater.

Le grand tort de Pettenkofer, c'est d'avoir voulu faire de sa théorie une loi exclusive, et après s'être appuyé sur des observations fort intéressantes, sans doute appliquables « à tous les lieux où les propriétés du sol sont les mêmes qu'à Munich », de s'être laissé entraîner dans des hypothèses utiles pour sa théorie, mais ne s'appuyant sur aucune données réelles. Telle l'hypothèse de la génération alternante des germes : emprunt par trop hypothétique à nos connaissances sur les parasites intestinaux : le germe existant chez le malade ne pourrait contaminer un second sujet qu'après un passage dans le sol, où il devenait le poison cholérique. Aujourd'hui la théorie s'est légèrement modifiée avec les découvertes récentes, c'est ainsi qu'en étudiant la composition du terrain à Hambourg avant l'épidémie de choléra de 1892, Pettenkofer, ayant trouvé une grande quantité d'ammoniaque et de matières azotées organiques, attribua le développement rapide et brusque de cette épidémie à cette accumulation anormale de matières organiques dans le sol.

Enfin l'opinion du professeur Cornil peut être donnée comme une concession dernière aux idées de l'école de Munich. La théorie de Pettenkofer, dit Cornil, ne contient qu'une partie de la vérité au sujet de l'étiologie de la fièvre typhoïde, mais cette partie de vérité est incontestable. Un abaissement de la nappe souterraine, c'est la diminution d'une rivière ou d'une source, c'est l'accumulation, sous un petit volume, des germes nocifs

qu'elle peut contenir. D'autre part, dans un terrain perméable, c'est l'attraction des microbes vers les parties déclives, c'est-à-dire vers les origines de la collection des eaux. Le contraire a lieu naturellement, quand la nappe s'élève ; la quantité de l'eau dans les sources ou les rivières est augmentée et, pour un même poids, sa virulence est détruite ou affaiblie. Les organismes pathogènes, au lieu d'être attirés vers ces sources, sont alors projetés loin d'elles par l'ascension de l'eau souterraine.

A côté de la *Grundwasser theorie* s'est élevée la *Trinkwasser theorie* qui attribue le *contage* presque exclusivement à l'eau de boisson. Nous reviendrons plus loin (p. 71) sur cette importante question. Défendue par Budd en Angleterre, par Wdlfmeister en Bavière, devenue la théorie officielle en France, la théorie de la contagion par l'eau est aujourd'hui dominante.

§ 4. — Air tellurique

L'air tellurique est celui qui est contenu dans les pores du sol, au-dessus de la nappe souterraine. C'est Pettenkofer qui attira l'attention sur l'importance hygiénique des variations de composition de l'air du sol et fit des recherches méthodiques. Son dispositif consiste en un puits permettant d'aller chercher de l'air jusqu'au voisinage de la nappe souterraine. Dans le trou de forage, on enfonçait des tubes de plomb portés à des profondeurs variables, et on comblait avec de la terre le vide laissé entre les tubes.

On admet que l'air existant autour des tubes est de même composition que celui de l'intérieur des mêmes conduits.

Fodor opère autrement. Au lieu de faire des puits il enfonce directement dans le sol des tubes résistants, percés de trous, leur extrémité inférieure se termine par une pointe d'acier vissée ; à leur extrémité supérieure sont fixés des tuyaux de plomb qui aboutissent dans le laboratoire. On relie ces tuyaux avec un aspirateur dont le plus simple est une bouteille fermée par un bouchon à deux ouvertures ; d'un côté passe un tube en verre qui s'arrête au-dessous du bouchon, de l'autre côté un tube qui descend jusqu'au fond de la bouteille. Après avoir mesuré

le contenu de la bouteille, on la remplit d'eau, on aspire l'air du grand tube de manière à faire monter l'eau dedans et l'on pince le tuyau en caoutchouc qui le prolonge. On relie les tuyaux de la station avec le tube en verre le plus court, on enlève la pince qui fermait le long tube. L'eau s'écoule et l'air tellurique entre dans la bouteille. L'air aspiré est analysé suivant les procédés ordinaires.

1° Acide carbonique et oxygène. — La quantité d'acide carbonique trouvée dans l'air du sol varie suivant le lieu, l'époque et la nature ou mieux la structure du terrain. Dans les couches supérieures l'acide carbonique peut s'échapper en s'élevant, et le courant d'oxygène et le courant d'acide carbonique vont en sens inverse, l'acide carbonique doit augmenter de haut en bas et l'oxygène diminuer.

C'est par suite de l'oxydation des substances carbonées que l'acide carbonique se forme dans le sol ; en effet, si l'air tellurique est riche en acide carbonique, il est pauvre en oxygène. L'analyse de Boussingault donne un chiffre d'acide carbonique très élevé, comparé à ceux de Pettenkofer cités plus loin.

Oxygène	10,35
Acide carbonique	9,74
Azote	79,91
	100,00

(Boussingault.)

On voit que la quantité d'azote est égale à celle de l'azote atmosphérique et que les volumes additionnés d'O et de CO^2 correspondent exactement au volume de l'O dans l'atmosphère.

La décomposition des carbonates ne saurait donc entrer comme cause dans la formation de l'acide carbonique, car dans ce cas il ne remplacerait pas l'oxygène, mais se mêlerait à ce gaz et à l'azote.

La quantité d'acide carbonique varie aussi suivant l'époque. En hiver, on trouve moins d'acide carbonique dans l'air tellurique que pendant l'été, excepté pourtant quand une épaisse couche de neige couvre la terre, les échanges entre l'air atmosphérique et l'acide carbonique sont diminués, la neige retient l'acide carbonique dans la terre et en augmente la proportion dans l'air tellurique.

ACIDE CARBONIQUE DE L'AIR TELLURIQUE

Hiver	4 à 5	p. 1 000	vol. d'air tellurique.
Printemps	5 à 12	—	—
Eté	12 à 21	—	—

(Pettenkofer.)

2° Nature des échanges dans le sol. — Il se produit peu de réactions chimiques au niveau de la nappe souterraine, l'éloignement du sol empêchant l'action de l'oxygène ; mais dans les pores des couches supérieures, l'action de l'oxygène n'étant plus entravée, il peut agir sur le liquide et amener des décompositions chimiques. Au niveau des couches moyennes, le sol est partout humide, l'eau ne se trouve plus en nappe, mais en couches, elle adhère aux parois des espaces capillaires, et c'est dans ces couches que les substances organiques sont oxydées.

Le carbone se change en acide carbonique, tandis que l'azote se transforme en acide nitrique et en ammoniaque ; l'air terrestre diffère donc de l'air atmosphérique en ce qu'il contient peu d'oxygène et beaucoup d'acide carbonique.

Il est à peu près certain que la formation de l'acide carbonique dans le sol provient de l'oxydation des matières organiques, aux dépens de l'oxygène ; il est à remarquer que, là où il y a peu de substances organiques, il y a peu d'acide carbonique, et qu'il augmente en présence des souillures des matières organiques. Ainsi, si on dose l'acide carbonique dans le terrain sous-jacent d'une fosse à purin, on trouvera que ce gaz atteint son maximum dans les couches en contact avec la fosse.

3° Ammoniaque et hydrogène sulfuré. — Il peut se trouver dans le sol d'autres substances gazeuses. Les matières azotées produisent de l'ammoniaque, qui se combine avec l'acide carbonique, en formant du carbonate d'ammoniaque. Pour prouver la présence de l'ammoniaque, on peut faire barboter l'air du sol