

# ANNALES DE GEMBOUX

Journal de l'Association des Ingénieurs sortis de l'Institut agricole de l'État

18<sup>e</sup> ANNÉE

1<sup>er</sup> MARS 1908

3<sup>e</sup> LIVRAISON

## La productivité du sol

### III. — Facteurs bactériologiques

par ÉM. MARCHAL,

Ingénieur agricole

Professeur agrégé à l'Institut agricole de Gembloux.

Il m'est échu la tâche, dans cette étude collective des facteurs de la productivité du sol, d'examiner la part qui revient aux actions microbiennes. Mais il me semble indispensable, au préalable, de résumer brièvement l'état actuel de nos connaissances sur la spécialisation et la localisation des fonctions qu'accomplissent les microbes du sol.

#### *Spécialisation des fonctions microbiennes dans le sol.*

Le sol est un milieu vivant qui est le siège d'actions biologiques extrêmement variées et complexes.

Il constitue, comme l'a si bien dit Duclaux, le laboratoire de destruction de la matière organique, dont l'air est, par l'intermédiaire des plantes vertes, le laboratoire de construction aux dépens de l'énergie solaire.

Toutes les substances qu'édifient laborieusement, par voie de synthèses successives, les végétaux supérieurs se trouvent, dans le sol, plus ou moins rapidement dissociées, ramenées à l'état d'éléments plus simples et, finalement, complètement minéralisées. Il en est de même de la matière organique constitutive des animaux.

C'est cette destruction constante de la matière organique,

indispensable pour assurer la continuité de la vie sur notre planète, qui constitue la fonction essentielle des microbes dans la nature, et cette fonction a son siège principal dans le sol.

Chaque groupe de constituants organiques des êtres vivants, souvent même chaque espèce chimique possède dans le sol des agents de minéralisation tantôt très variés, tantôt au contraire, très étroitement spécialisés.

Le plus souvent, la minéralisation complète d'une substance exige le concours de toute une série d'agents microscopiques dont chacun lui fait franchir une étape dans la voie de la simplification moléculaire.

Il y a ainsi de véritables associations microbiennes formées d'espèces à fonctions bien déterminées, mais dont les activités s'harmonisent et qui se préparent mutuellement un terrain d'évolution favorable.

Etudions dans ses grandes lignes cette spécialisation des activités microbiennes et envisageons tout d'abord la destruction des matières carbonées. La minéralisation des hydrates de carbone diffère beaucoup suivant leur plus ou moins grande complexité moléculaire. En général, les termes inférieurs (sucres) et même moyens (amidon, inuline, etc.) sont très facilement et très rapidement oxydés par les microorganismes après être passés par un stade d'acide organique (acide lactique, acide acétique, etc.).

Suivant la nature de l'agent de destruction, prédomine ou existe même à l'exclusion de tout autre, tel ou tel produit intermédiaire caractéristique.

Les termes supérieurs doivent à une polymérisation plus accentuée une plus grande résistance à la destruction microbienne.

La décomposition de ces substances (celluloses, matières pectiques) présente, cependant, une importance capitale pour la bactériologie du sol, car ces corps constituent, en majeure partie, la matière organique végétale qui, naturellement (cadavres, débris de plantes), ou artificiellement (engrais), retourne à la terre.

Je ne m'appesantirai pas ici sur les variantes que comporte le processus biologique qui conduit des lourdes molécules de celluloses aux molécules gazeuses d'anhydride carbonique et

d'eau à travers des vicissitudes chimiques multiples. Mais, il est un groupe de produits intermédiaires de cette désintégration dont il convient de souligner et la signification physiologique et le rôle agricole important : ce sont les substances humiques.

Les corps humiques représentent une étape relativement stable dans la destruction de la matière organique carbonée.

Certains microbes terricoles mettent temporairement en réserve de la matière énergétique, sous cette forme susceptible de résister à l'action de beaucoup d'autres microgermes.

L'importance et la durée de l'immobilisation humique du carbone varient suivant les conditions de vie microbienne dans le sol.

Dans les terres arables, où une réaction alcaline, un état généralement grumeleux, bien aéré du sol favorisent à outrance la pullulation des bactéries, la concurrence vitale de ces organismes polyphages ne laisse pas subsister longtemps la matière humique qui ne s'accumule pas en grande quantité.

Dans le sol forestier, au contraire, une réaction acide, dont nous fixerons plus loin l'origine, favorise les champignons (moisissures, levures terricoles) au détriment des bactéries; l'humus y perdure et s'amasse souvent en abondance.

L'humus exerce, comme on sait, une influence très importante et presque toujours heureuse sur les propriétés physico-chimiques des sols et sa production est un des bienfaits importants à mettre à l'actif de la vie microbienne du sol.

A côté des hydrates de carbone, les matières grasses subissent également, dans le sol, des modifications chimiques qui ont pour résultat final leur minéralisation.

Toutefois, il semble établi que l'attaque des matières grasses débute par une saponification de nature purement chimique; les produits de cette dislocation (glycérine, acides gras) peuvent alors subir la combustion microbienne.

Telles sont, très sommairement exposées, les modifications que les microbes du sol font subir aux principaux éléments carbonés organiques. Beaucoup plus importantes encore, au point de vue de la nutrition des végétaux supérieurs, sont celles qui affectent les matières azotées.

Si l'on envisage, dans leur ensemble, les processus com-

plexes qui simplifient la molécule albuminoïde au point de la réduire aux produits d'oxydation de ses constituants immédiats (anhydride carbonique, eau, acide nitrique, acide sulfurique), on y reconnaît deux étapes principales.

La première comporte les dislocations successives qui ont pour résultat de transformer l'azote organique en azote ammoniacal.

C'est ce que j'ai proposé, il y a quinze ans déjà, d'appeler *l'ammonisation*.

Suivant les conditions (aéro ou anaérobiose, plus ou moins grande abondance de la matière organique), l'ammonisation prend les caractères de la *putréfaction* (minéralisation lente accompagnée d'une production abondante de corps à odeur fétide) ou de la fermentation ammoniacale (minéralisation plus rapide, faible production de corps à odeur fétide).

L'ammonisation n'est pas une fonction microbienne très spécialisée; la plupart des microgermes sont susceptibles d'y participer. Toutefois, le bacille mycoïde, espèce très répandue dans le sol, réalise le ferment ammonisant le plus énergique.

La seconde phase de la minéralisation de la matière azotée est caractérisée par la transformation de l'azote ammoniacal en azote nitrique ou *nitrification proprement dite* qui comporte la fermentation nitreuse (nitrosation) et la fermentation nitrique (nitratisation).

A l'encontre de l'ammonisation qui est l'œuvre collective d'espèces très diverses, la nitrification exige, pour s'effectuer, le concours d'organismes très spécialisés, dont la biologie aberrante nous a été révélée par les travaux de Winogradsky et de son école.

Les ferments nitrifiants (nitreux et nitriques) se singularisent dans le monde microbien par leur mode tout à fait particulier de nutrition carbonée.

Celle-ci s'effectue aux dépens des carbonates et emprunte l'énergie nécessaire à cette fin à l'oxydation de l'ammoniaque et des nitrites.

Adaptés à tirer ainsi leur aliment d'une source purement minérale, les ferments nitrifiants redoutent le contact de la matière organique.

De plus, leur évolution nécessite la présence d'une base neutralisante et d'un milieu très aéré.

Nous verrons plus loin combien ces exigences limitent, dans certains sols, la dispersion de ces organismes et y retentissent sur l'achèvement normal du cycle de l'azote.

Ainsi se trouve ramené à l'état de nitrates — aliments azotés par excellence des végétaux supérieurs — l'azote des matières organiques des animaux et des plantes, tandis que, par des actions latérales, le soufre et éventuellement le phosphore sont oxydés en sels et que le carbone est gazéifié en anhydride carbonique.

Toutefois le cours normal de ces phénomènes peut être contrarié dans le sol par des processus antagonistes : telle est la *dénitrification*.

Nous savons aujourd'hui que la dénitrification est l'œuvre d'espèces bactériennes très variées qui décomposent très diversement les nitrates. Ces derniers se trouvent réduits, tantôt en nitrites et ammoniaque, tantôt en nitrites accompagnés de  $Az^2O$  et  $AzO$ , parfois en nitrite avec dégagement d'azote libre.

Ce sont là des fermentations plutôt anaérobies, favorisées par l'humidité et surtout par la présence, en grande quantité, de matières organiques carbonées (celluloses).

Lorsque ces conditions sont réalisées, la dénitrification peut contrarier sérieusement la nitrification : elle apparaît alors comme un phénomène nettement nuisible.

Toutefois, dans les sols arables normaux, où elle se produit dans les couches profondes, elle prend au contraire, comme nous le verrons plus loin, les caractères d'un phénomène utile, conservateur de l'élément azoté.

Nous disions plus haut que certains microbes dénitrificateurs décomposent les nitrates avec dégagements d'azote libre.

Un phénomène compensateur contribue à niveler ces pertes et assure la régularisation du cycle de l'azote libre dans la nature.

C'est l'emprunt d'azote élémentaire effectué à l'atmosphère par le sol et par la végétation. Ici encore, nous avons affaire à un processus essentiellement biologique.

En dépit des théories contradictoires grotesques émises récemment par certain agronome anglais — et dont la presse agricole belge s'est faite malheureusement fort à la légère l'écho — la théorie microbienne de la fixation de l'azote par

les Légumineuses est aujourd'hui admise comme une vérité inattaquable en physiologie végétale.

S'il le fallait encore après les magistrales recherches de Th. Schloesing fils et de mon si regretté et éminent prédécesseur feu Emile Laurent, les études de Mazé, où l'emprunt d'azote libre a été rendu plus tangible par des essais *in vitro*, ont levé les dernières hésitations des savants.

Les Légumineuses doivent donc leurs propriétés améliorantes à l'emprunt d'azote libre effectué à l'atmosphère du sol par les microbes de leurs nodosités radicales.

Les autres cas de mutualisme racinaire (plantes à mycorhizes) constituent aussi des procédés de nutrition générale et en particulier de nutrition azotée basée sur le travail des microbes.

La propriété que possède le sol nu, dépourvu de toute végétation supérieure, de fixer l'azote libre atmosphérique est également à mettre à l'actif des microorganismes.

Winogradsky, le premier, a reconnu le pouvoir d'assimiler l'azote libre à une bactérie anaérobie : le *Clostridium Pasteurianum*.

Depuis, Beyerinck a décrit plusieurs espèces d'*Azotobacter* fixateurs et les découvertes se succèdent rapidement dans cette voie. On comprend l'intérêt puissant qui s'attache à l'étude de ces organismes qui emploient l'énergie produite par la combustion de certains matériaux carbonés (sucres, mannite, pentoses, etc.) pour organiser l'azote élémentaire.

Ils semblent être très variés et présents, en plus ou moins grande abondance, dans tous les sols.

On est en droit d'attendre beaucoup de l'étude de leur dispersion, de leurs mœurs et des conditions qui influent sur leur propriété d'extraire de l'atmosphère le plus précieux des engrais.

#### *Localisation des fonctions microbiennes dans le sol.*

Nous venons de passer rapidement en revue les principales fermentations microbiennes dont le sol est le siège.

Un nouveau problème se pose maintenant à nous. Comment ces fonctions microbiennes sont-elles localisées dans le sol? S'accomplissent-elles indifféremment dans toute l'épaisseur

de la couche exploitable, ou bien les microbes sont-ils plus ou moins stratifiés à des niveaux correspondant à des activités déterminées.

Une distinction importante s'impose dans l'examen de cette question entre les sols arables et les sols forestiers.

*Sols arables.* — Le sol arable constitue un milieu généralement bien aéré; il n'est, tout au moins dans les couches superficielles, compatible qu'aux actions aérobies.

Le sol arable reçoit périodiquement, sous formes d'engrais et spécialement de fumiers, des matières riches en azote organique (urée, amides, albuminoïdes, etc.) dont la minéralisation produit des quantités importantes d'ammoniaque. Cette circonstance jointe à l'existence de calcaire, en proportion toujours notable, explique la réaction normalement alcaline du sol arable.

Grande aération, alcalinité, tels sont les caractères du sol arable envisagé comme milieu de culture pour les microbes.

Ces conditions sont éminemment favorables à la multiplication des bactéries saprophytes les plus variées; aussi la minéralisation de la matière organique y est-elle très active, l'accumulation d'humus réduite et la nitrification complète, les phénomènes de dénitrification d'ordinaire peu importants.

Quant à la localisation de ces phénomènes, on peut la schématiser comme suit.

La couche la plus superficielle du sol, soumise à l'action antiseptique de la lumière, exposée par intermittences à la dessiccation, est relativement très pauvre en microbes.

Vient ensuite la couche généralement la mieux pourvue en matières organiques et qui nourrit la flore microbienne la plus riche et la plus variée.

On peut y rencontrer plusieurs millions de germes par centimètre cube.

Ce sont les phénomènes d'ammonisation qui constituent la caractéristique de cette tranche du sol.

Faisant suite à la zone d'ammonisation, se présente la zone de nitrification. Ici, la matière organique s'est raréfiée, le milieu est encore suffisamment oxygéné, l'humidité est convenable à l'évolution des ferments nitrifiants. Il va sans dire qu'il y a pénétration mutuelle des zones d'ammonisation et de

nitrification, car, bien que les ferments nitrifiants redoutent la matière organique, ils peuvent se développer sur des particules minéralisées voisines de particules encore organiques; un volume extrêmement limité suffisant pour l'évolution de ces êtres microscopiques.

Si l'on s'enfonce encore plus profondément dans le sol, on constate que, faute d'oxygène, les phénomènes d'oxydation font place à des activités réductrices.

C'est la zone de dénitrification, les nitrates produits dans les couches superficielles et entraînés par les eaux météoriques peuvent être saisis partiellement au passage par les ferments dénitrificateurs qui les font rétrograder à l'état de composés moins oxygénés et mieux retenus par le pouvoir absorbant du sol.

Quant elle s'opère dans ces conditions, la dénitrification constitue un phénomène utile qui diminue les pertes en nitrates par entraînement. Il n'en est malheureusement pas toujours ainsi. Dans certaines conditions déterminées (surabondance de matière organique carbonée; milieu insuffisamment aéré, humidité trop forte), ce phénomène peut se produire dans des couches moins profondes et contrarier, par son antagonisme fonctionnel, le cours normal de la nitrification; on sait, de plus, qu'il peut donner lieu à des pertes en azote libre.

Dans les terres arables normales, la flore microbienne s'appauvrit très rapidement à partir de 70, 80 centimètres et, vers 2 mètres de profondeur, le milieu devient presque complètement aseptique.

*Sols forestiers.* — Les conditions de la vie microbienne sont ici toute différentes.

L'absence de travail du sol crée un milieu peu aéré où prédominent les actions anaérobies.

Celles-ci portent sur de la matière organique exclusivement d'origine végétale (feuilles, fleurs, brindilles d'arbres) très abondante, mais très pauvre en azote.

La minéralisation est très lente et s'accompagne de la production, en grande quantité, d'acides (acides humiques) qui donnent au sol une réaction très nette.

Milieu peu aéré, acide, saturé de corps organiques, tels



sont les caractères de la couche superficielle des sols forestiers. Ces propriétés ne sont pas compatibles avec le développement des bactéries en général et tout spécialement des ferments nitrifiants. En revanche, les champignons (moisissures, levures) trouvent, dans l'humus forestier, un excellent milieu de culture; aussi y constituent-ils les agents essentiels — bien que beaucoup moins actifs que les bactéries — de la destruction lente de la matière organique.

Celle-ci reste, toutefois, pour ce qui concerne l'azote, incomplète; elle s'arrête à la production d'ammoniaque, la nitrification étant impossible. Aussi les arbres forestiers ont-ils dû s'adapter à emprunter leur azote sous la forme ammoniacale. Les activités microbiennes du sol forestier sont donc beaucoup moins complexes que celles qui siègent dans le sol arable; les espèces inférieures où prédominent, comme nous l'avons dit, les moisissures sont peu variées, leur nombre décroît régulièrement vers les couches profondes. Les sols très humifères des vieilles prairies peuvent être assimilés aux sols forestiers au point de vue des conditions d'existence des microbes.

#### *Intervention des microbes dans la productivité des sols.*

En possession de ces données sur la spécialisation et la localisation des fonctions microbiennes dans le sol, nous pouvons mesurer la part d'intervention des infiniments petits dans la productivité des terres, de la terre arable en particulier.

La flore microbienne du sol constitue-t-elle un facteur important de sa fertilité? L'homme peut-il intervenir pour modifier dans un sens favorable à ses spéculations l'activité de ses collaborateurs microscopiques?

Tels sont les aspects réellement pratiques, pour l'agronome, de la question des microbes du sol.

Il sera facile de se rendre compte, par ce qui précède, du rôle essentiel que jouent les microbes dans la nutrition des plantes cultivées. C'est grâce à leur travail complexe et incessant que les éléments inassimilables des engrais organiques sont transformés en matières minérales susceptibles de pénétrer à nouveau dans la circulation végétale. Les microbes sont ainsi les grands moteurs du cycle de l'azote combiné.

L'emprunt d'azote libre effectué à l'atmosphère par les microbes fixateurs de cet élément, soit en vie autonome, soit en vie symbiotique, n'est pas non plus négligeable, étant donné surtout la cherté de cet élément fertilisant.

A côté de cette intervention directe dans la nutrition, les microbes agissent encore indirectement par les produits intermédiaires ou définitifs de leur travail chimique.

On connaît l'influence extrêmement favorable de l'humus, sur les propriétés des terres.

L'anhydride carbonique et même, comme l'a démontré tout récemment Stoklasa, l'eau oxygénée, produits microbiens sont des agents puissants de digestion et de solubilisation des roches et contribuent ainsi activement à la mise en œuvre des réserves alimentaires insolubles du sol.

Enfin, les dégagements gazeux auxquels les fermentations terrestres donnent lieu et spécialement la production d'anhydride carbonique séparent les particules terreuses par un phénomène comparable à celui de la levée de la pâte et font ainsi prendre au sol un état grumeleux favorable à la végétation.

Ces diverses actions utiles varient naturellement en quantité et en intensité avec la constitution de la flore microbienne terrestre.

Toutefois, les corrélations qui existent entre la fertilité du sol et sa population microbienne ne sont pas encore suffisamment précisées pour que la détermination de celle-ci puisse faire augurer de celle-là.

On ne peut donc guère à l'heure actuelle parler d'*analyse bactériologique du sol* comme critérium de détermination de sa productivité.

Faute de la connaissance suffisante des conditions d'existence et surtout de concurrence vitale des microbes dans le sol, l'homme n'est pas encore en mesure de modifier à sa volonté, la microflore terrestre dans un sens favorable, d'imposer telle ou telle espèce utile, d'écarter telle ou telle autre désavantageuse.

C'est cependant vers ce but que doivent tendre et que tendent en effet les efforts des bactériologistes agricoles. Examinons ce qu'il est déjà possible de faire dans cette voie et

quelles sont les perspectives que nous ouvrent les résultats d'investigations toute récentes.

Dans les industries qui mettent en œuvre l'activité des microbes, en brasserie par exemple, le technologiste ensemence l'organisme approprié dans le milieu fermentescible et obtient ainsi, en quelque sorte à coup sûr, la transformation désirée.

Cette *inoculation* n'est guère réalisable quand il s'agit du sol, pour diverses raisons : volume extrêmement considérable de la masse à inoculer dans lequel la semence se raréfie à l'infini, et, surtout, concurrence des espèces innombrables qui occupent déjà le milieu. Néanmoins différentes tentatives ont été faites pour inoculer le sol. Déjà en 1888, Salfeld en Allemagne préconisait, sur la foi d'expériences très concluantes, l'introduction, dans les sols de tourbières améliorées à ensemercer de Vesce ou de Féverole, de quelques tombereaux de bonne terre ayant porté ces Légumineuses.

Ce procédé qui nécessite une coûteuse manutention a été singulièrement amélioré par les inoculations de cultures des diverses races du microbe des nodosités, préparées sur les indications de Hiltner et livrées par le commerce sous le nom de *nitragine*.

L'emploi de la nitragine et celui des préparations similaires (telles que celles de l'Américain Moore), s'il ne s'est pas montré utile dans les terres cultivées de longue date, donne d'excellents résultats dans les sols vierges et lors de l'introduction d'une nouvelle Légumineuse, spécialement pour l'établissement de cultures de Lupin et de Serradelle.

Le succès de cette inoculation en Allemagne est remarquable. En 1905 (1), 5,220 cultures ont été livrées aux agriculteurs, dont 1,812 pour Serradelle, 685 pour Lupin et 1,354 pour Pois, Vesce et Féverole.

L'idée, d'ailleurs très séduisante, d'inoculer à la terre, des microbes fixateurs d'azote libre, afin de renforcer le pouvoir du sol d'emprunter ce coûteux engrais à l'interminable source que représente l'atmosphère passionnée, en ce moment, à juste titre, les chercheurs.

Ce sont surtout les *Azotobacters* qui sont l'objet de la sollicitude des expérimentateurs.

---

(1) D'après VOGEL. *Das neue Nitragin. Illust. Landw. Zeit.* 1907, n° 2.

Des essais faits à Rothamsted par le professeur Hall ont déjà donné des résultats encourageants, mais il serait encore téméraire de se prononcer sur la valeur pratique du procédé.

Signalons encore l'essai d'inoculation d'organismes transformateurs énergiques de l'azote organique (*alinite*, de Caron), qui s'est heurté aux difficultés qui accompagnent toute tentative d'ensemencement du sol.

S'il est encore impossible, à l'heure actuelle, de constituer, au gré des besoins, par voie d'inoculation, la flore microbienne du sol, ne peut-on pas, par des pratiques déterminées, favoriser la pullulation de certaines espèces utiles et restreindre en revanche la multiplication des germes indifférents ou nuisibles?

La constance relative de la flore microbienne du sol est due à un état d'équilibre entre les divers groupes d'organismes terricoles qui est la résultante de l'action de facteurs variés.

C'est en agissant sur ces facteurs que l'on peut modifier les conditions de la concurrence vitale des germes et assurer la prédominance de telle ou telle espèce.

Rappelons tout d'abord, à ce propos, les influences bien connues. L'aération est peut être de tous les facteurs celui qui agit le plus énergiquement sur la végétation microbienne.

Essentiellement favorable aux phénomènes de minéralisation (ammonisation et nitrification) elle paraît aussi activer l'énergie fixatrice des *Azotobacters*; en revanche, elle contrarie la dénitrification.

Toutes les opérations culturales qui contribuent à faciliter l'accès de l'oxygène au sein de la terre sont donc éminemment favorables. C'est, comme nous l'avons vu, l'aération du sol qui détermine aussi sa réaction, autre facteur très important de la répartition des microbes dans ce milieu.

Le cultivateur peut accentuer la réaction normalement alcaline des terres arables par le chaulage, par l'emploi d'engrais phosphatés très basiques et d'engrais potassiques : il accélérera ainsi la décomposition des matières organiques et favorisera la nitrification. *A fortiori* l'application de chaux transforme-t-elle complètement les conditions de la minéralisation dans les sols acides de forêts et de vieilles prairies.

Cette modification de la réaction est, comme on le voit, une

des armes les plus puissantes dont dispose l'homme pour changer le cours des phénomènes biologiques du sol.

La teneur en eau de la terre agit surtout par sa répercussion sur la circulation de l'air.

On sait qu'une humidité modérée favorise la nitrification, que la saturation assure la prédominance du phénomène inverse de dénitrification.

La dessiccation active singulièrement les décompositions microbiennes à condition toutefois qu'elle ne dépasse pas une certaine limite qui rendrait le milieu incompatible avec la multiplication des bactéries.

A côté de ces actions relativement simples et déjà bien connues, il en est d'autres plus intimes, plus compliquées et encore très obscures qui règlent les conditions de la lutte pour l'existence entre les innombrables formes inférieures du sol.

Leur étude a suscité l'éclosion de toute une série de travaux qui ouvrent à la bactériologie du sol des horizons pleins de promesses.

L'analyse des effets bienfaisants du traitement du sol par le sulfure de carbone sur la végétation des plantes cultivées a conduit Hiltner et Störmer (1) en Allemagne, à admettre qu'ils résultent d'une modification profonde dans la flore microbienne du sol.

A la suite de l'injection de sulfure de carbone, l'analyse bactériologique montre tout d'abord une diminution de près de 75 p. c. du total des germes du sol, suivie d'une multiplication très active et prépondérante de certaines espèces non liquéfiantes. Quant aux organismes de la dénitrification, ils sont complètement éliminés.

D'autre part, Heinze (2) a démontré que le traitement par le sulfure de carbone agit d'une façon nettement favorable sur les *Azotobacters* fixateurs d'azote, il paralyse momentanément la nitrification qui reprend ensuite plus énergiquement.

Le sulfure de carbone produit donc une véritable sélection

---

(1) HILTNER et STÖRMER. *Arbeiten a. d. Biol. abt. f. Land- und Forstwirtschaft, a. Kais. Gesundheitsamte.* 1903, p. 3.

(2) HEINZE. *Centralbl. f. bakteriologie.* 2<sup>e</sup> abt. 1907, p. 56.

dans la population microbienne du sol, sélection qui apparaît comme très avantageuse pour augmenter sa fertilité.

D'après Fr. Darbishire et Ed. Russell (1), la stérilisation fractionnée par la chaleur agit dans le même sens.

Enfin, les essais de divers expérimentateurs tendent à prouver que les engrais (phosphates, chaux) eux-mêmes contribuent à activer certaines fonctions microbiennes au détriment d'autres et agissent, par cette voie indirecte, sur la fertilité du sol.

C'est à mon sens par la recherche de ces actions sélectives qui rompent dans le sol l'équilibre microbien, par l'étude des sympathies qui rapprochent les espèces et des incompatibilités qui les éloignent que l'on sera mis en possession des moyens de modifier la composition de la flore microscopique terrestre, dans un sens utile à l'agriculture.

Ce doit être le but de l'expérimentation dans le domaine de la bactériologie du sol.

Et je n'hésiterai pas à dire, en manière de conclusion, que si, dans le cycle normal de la vie organique, les microbes constituent déjà des facteurs très importants de la productivité des terres, on peut augurer que leur étude méthodique permettra de transformer cette intervention inconsciente et plus ou moins aléatoire en une collaboration réglée par l'homme et des plus fécondes.

---

(1) FR. DARBISHIRE et ED. RUSSELL. *Oxidation in soils, and its relation to productiveness. The Journ. of. Agricult. Science*, décembre 1907.