

Revue de Botanique appliquée & d'Agriculture coloniale

ORGANE MENSUEL

de l'Agriculture scientifique pour la France & ses Colonies

PUBLIÉ PAR

le Laboratoire d'Agronomie coloniale de l'Ecole des Hautes-Etudes.

4^e année.

31 MARS 1924.

Bulletin n° 31.

ÉTUDES & DOSSIERS

Les organismes vivant dans la terre et leurs rapports avec la fertilité des sols.

Aperçu sur les travaux de Sir A. SCHIPLEY, Sir J. RUSSELL,
Dr J. STOKLASA, E. MIÈGE.

On a cru longtemps que le sol constituait une masse presque complètement inerte dans laquelle plongent les racines des plantes et où elles trouvent toutes les matières nécessaires à leur vie, sauf le carbone.

On pensait donc qu'il suffisait de faire l'analyse physique et chimique de ce sol, afin de déceler les éléments constitutifs et d'en établir la proportion pour déterminer le degré de fertilité de ce sol.

Le problème apparaît aujourd'hui infiniment plus complexe. Sans doute l'analyse chimique fournit des données utiles pour la pratique, par exemple quand elle démontre que le sol contient des quantités trop faibles de substances nutritives; l'analyse physique permet d'établir également le degré de compacité de la terre et elle montre si le sol est trop ou pas assez perméable et s'il a besoin d'être amélioré par des labours répétés plus ou moins profonds et par des amendements et des engrais.

Toutefois la fertilité du sol, c'est-à-dire son degré d'aptitude à

donner une végétation vigoureuse sans s'épuiser, dépend aussi d'autres facteurs.

Il faut d'abord se pénétrer de cette notion que la terre arable ne constitue pas une masse homogène, mais une substance poreuse dans laquelle les particules minérales sont séparées par des bulles d'air, puis par des substances à l'état colloïdal c'est-à-dire des pseudo-solutions aqueuses, ordinairement faiblement concentrées et fréquemment renouvelées de substances nécessaires à la vie de la plante et que les racines de celle-ci absorbent par osmose suivant leurs besoins.

Mais ce n'est pas tout : le sol héberge aussi outre les racines des plantes qui le pénètrent de toutes parts, une foule d'organismes : insectes, vers, schizomycètes, protozoaires, champignons, etc., qui s'unissent ou se concurrencent les uns les autres en formant des associations variées, plus ou moins harmoniques. Le plus souvent instables et évolutives. Le sol renferme par conséquent des groupements complexes d'êtres vivants, la plupart microscopiques, êtres se nourrissant aux dépens des matières minérales et humiques qu'ils transforment pour excréter ensuite des substances, les unes utiles aux plantes, les autres nuisibles. Mais en raison du principe dynamique qui règle la vie de toutes les associations, celles-ci ne peuvent être maintenues dans leur état d'où dépend la fertilité que par l'intervention constante de l'homme qui, par les façons culturales, les apports d'engrais, parfois de bactéries utiles, maintient ou crée un état artificiel favorable à la vie des microorganismes nécessaires au bon développement des plantes cultivées.

Quant aux phénomènes intimes qui s'accomplissent dans le sol, on en est encore réduit aux hypothèses.

Ce qui est certain c'est qu'il se produit constamment dans la terre arable si elle n'est pas à l'état de repos (un état de repos partiel existe par exemple en saison sèche dans les régions tropicales arides pour la couche superficielle), des phénomènes de combustion lente avec absorption d'oxygène et dégagement d'acide carbonique, dont le rôle utile et le pouvoir fertilisant sont incontestés.

LETTIER a montré que les gaz qui se trouvent au voisinage des racines possèdent un pourcentage élevé d'anhydride carbonique et un taux très faible d'oxygène.

L'atmosphère souterraine et les solutions aqueuses qui remplissent les interstices compris entre les particules de terre ont sans cesse leur composition modifiée. Or, c'est dans ce milieu que les

organismes vivants souterrains prennent les éléments nécessaires à leur vie.

Le milieu est plus ou moins favorable à certains, défavorable à d'autres. La vie des plantes supérieures qui enfoncent leurs racines dans ce sol se trouve ainsi subordonnée aux phénomènes qui s'accomplissent dans la terre, véritable matière vivante.

AUG. CHEVALIER.

Dans un récent ouvrage intitulé « Life », Sir Arthur SCHIPLEY a consacré un chapitre spécial à l'examen de la vie dans le sol. La revue *Tropical Agriculture* de Trinidad, n° 1, janvier 1924, a reproduit des passages de ce chapitre, que nous traduisons ici :

« Le sol idéal n'est pas composé entièrement de sable, d'argile ou d'humus, mais il contient aussi une juste proportion des trois éléments : le sable, pour assurer la porosité et la libre circulation de l'eau, l'argile pour le rendre compact et pour empêcher une évaporation trop rapide, et l'humus pour donner à la plante des aliments riches en azote.

« Les particules formant le sol ont une densité d'environ 2,5, les sols sableux étant les plus lourds et les sols riches en humus les plus légers. Dans les sols ordinaires, de un tiers à la moitié du volume est occupé par les pores qui peuvent être remplis par de l'air ou de l'eau, suivant la fréquence des circonstances (chutes de pluie, efficacité du drainage). La surface totale des particules contenues dans un pied cube d'un limon léger, est estimée à environ 15 ares. Chaque granule ou particule du sol étant environnée d'espaces vides, excepté aux points où elle est en contact avec les autres particules ; il s'ensuit que l'espace vide, quoique très irrégulier en grandeur et en forme, doit former des tubes continus qui traversent le sol dans toutes les directions.

« Les matières organiques proviennent de deux sources. D'une part les plantes en décomposition et d'autre part la vie animale qui achève la pourriture et désagrège le sol. Ce qui a été créé à partir du sol y retourne à l'état de matières décomposées. Cette décomposition est accompagnée d'un certain dégagement de chaleur ; en fait, cette quantité de chaleur est la même que celle qu'on obtiendrait en brûlant ces matières, mais elle se dégage beaucoup plus lentement. Ce sont ces matières en décomposition qui rendent la vie possible dans le sol.

« Le sol d'un jardin est aussi débordant de vie qu'une grande ville. Il y a des millions de bactéries accomplissant des fonctions variées. Il y a des millions d'animaux unicellulaires de nature amiboïde et

flagellaire se déplaçant çà et là dans les interstices du sol. Les résultats de 363 observations faites journellement sur les bactéries et six espèces différentes de protozoaires dans un sol naturel, montrent que les proportions entre ces différents êtres, varient beaucoup d'un moment à l'autre, mais ne sont pas en rapport avec les conditions météorologiques.

« Des moyennes bimensuelles ont montré certains changements saisonniers : le nombre des bactéries et des protozoaires est maximum vers la fin de novembre, et minimum en février. Ces fluctuations saisonnières ressemblent à celles de nombreux organismes aquatiques, et sont indépendantes des pluies et de la température.

« D'une manière générale, les protozoaires du sol détruisent une grande quantité de bactéries nitrifiantes ».

Il est plus facile de tuer un amibe que de tuer une bactérie. On a découvert par accident à Rothamsted, que certains sols chauffés à 54°50 s'oxydaient plus rapidement que les sols ordinaires, et dans ceux-là, les bactéries se multipliaient d'une façon beaucoup plus rapide qu'à l'ordinaire; en même temps les nitrates et l'ammoniaque dans le sol s'accroissaient plus rapidement. Il y a évidemment des organismes vivant dans le sol qui consomment des bactéries et qui sont détruits à 54°50 tandis que les bactéries résistent. En utilisant des sols partiellement stérilisés on a montré qu'une récolte de Tomates qui normalement était de 32 t. 5 à 35 t. 5 pouvait s'élever jusqu'à 81 et 91 t.

« De minuscules petits animaux cylindriques grouillent et frétilent dans le sol. Quelques-uns y passent leur vie entière, d'autres n'y restent qu'à l'état larvaire, tandis que certains ne vont dans le sol que lorsqu'ils sont adultes.

« Il existe d'innombrables insectes — principalement à l'état de larves, qui rampent à travers le sol ameubli, et font des dégâts immenses aux arbres, aux plantes et aux récoltes en rongant les racines. Une cigale d'Amérique, en particulier, passe dix-sept ans sous la forme larvaire dans la terre, dans les Etats-Unis du sud.

« Les lombrics ou Vers de terre vivent aussi en grand nombre dans la terre. Le lombric perce continuellement son chemin à travers le sol; il « mange son chemin » extrayant pour sa nourriture les matières organiques se trouvant dans la terre ingurgitée, et il laisse les matières non digérées sous des formes vermiculaires rejetées à la surface de la terre.

« D'après Darwin ces excréments séchés et disposés à la surface

de la terre pourraient, en Angleterre, élever le niveau du sol de 2 mm. par an.

« Le sol, comme nous l'avons vu, est débordant de vie, mais lorsqu'il est fumé, la vie y est encore plus active. D'après des essais faits à Rothamsted, sur deux carrés de terrain — l'un n'ayant pas reçu d'engrais depuis l'avènement de la reine Victoria en 1837, et l'autre ayant reçu 14 t. de fumier de ferme par acre et par an depuis 1848, — ont montré qu'il y avait à peu près trois fois autant d'êtres vivants dans le deuxième que dans le premier. En chiffres ronds, il y avait 15 millions d'invertébrés par acre, parmi lesquels se trouvaient 7.720.000 insectes, pour le terrain fumé; les nombres correspondants pour le terrain non fumé étaient : 4.930.000 et 2.470.000 insectes. La plus grande partie des organismes se trouve dans les premiers centimètres du sol, mais il y a des exceptions.

« Beaucoup d'autres animaux fousseurs, comme le lapin, la marmotte, le renard, etc., vivent aussi dans le sol. L'effet de toutes les allées et venues de ces êtres est de permettre à l'air de pénétrer dans le sol, et quand la pluie vient, ces passages conduisent l'eau aux couches plus profondes. Nous avons dit que le sol est aussi grouillant de vie qu'une grande ville; les augmentations et les diminutions du nombre d'êtres qui y vivent, sont comparables aux augmentations et diminutions du nombre d'habitants d'une grande cité s'accomplissant de semaine en semaine ou d'année en année. Ces micro-organismes sont tellement nombreux qu'il a été établi que la contenance d'une cuiller à sel de sol contient des millions d'êtres vivants, les uns en activité, les autres au repos, et une grande quantité sous forme de spores.

*
* *

Au *Congrès international de Chimie industrielle* qui a eu lieu à Paris en octobre 1923, Sir JOHN RUSSELL, directeur de l'Institut de Rothamsted, a exposé dans une remarquable conférence, le rôle des micro-organismes dans la fertilité du sol.

Dans la *Revue scientifique* du 12 janvier, M. Maurice DESCHIENS résume ainsi les vues du savant anglais :

« Le rapport fondamental qui existe entre les microorganismes du sol et sa fertilité est simple; les microorganismes du sol contribuent aux phénomènes de décomposition et les produits finalement obtenus par la décomposition constituent la nourriture des plantes. La meilleure façon d'aborder le sujet est de considérer les changements qui se passent dans le sol comme un cycle d'énergie. Au cours de leur vie, les

plantes absorbent l'énergie du soleil, et construisent des composés énergétiques complexes ; après leur mort, les organismes du sol se servent de ces composés pour en tirer l'énergie qui leur est nécessaire.

« Le premier stade important de ce cycle est l'incorporation au sol de la matière énergétique du résidu des plantes. Quand ce mélange ne se fait pas, les résidus des végétaux s'accumulent simplement à la surface du sol, et l'on obtient ainsi, non pas une terre normale, mais une tourbe.

« Les principaux agents de ce mélange sont les vers de terre qui doivent être considérés comme ayant une importance fondamentale dans la fertilité du sol. La décomposition se fait immédiatement. Les détails chimiques n'en sont pas bien connus, mais les grandes lignes générales des changements qui se produisent le sont mieux. Il se forme du gaz carbonique, du carbonate de calcium, du nitrate de calcium et une substance noire, complexe, appelée « humus », alors que des produits intermédiaires qui pourraient avoir un effet toxique sur les plantes, sont décomposés.

« Des substances phénoliques toxiques pour les plantes sont probablement formées, elles se décomposent rapidement dans le sol, grâce à un groupe d'organismes actifs capables d'utiliser les phénols. Si d'autres corps toxiques sont formés, ils doivent probablement être aussi décomposés, car on n'en a encore découvert aucun dans des sols neutres normaux. Des transformations ont lieu parmi les composés azotés. La décomposition des composés azotés complexes avec formation de nitrates est une source de fertilité bien connue.

« La quantité de nitrates dans le sol ne se maintient pas sans altérations. Elle croît lorsque des matières énergétiques azotées sont ajoutées au sol, ou lorsque le nombre de bactéries augmente sans qu'il y ait eu d'apport de matière énergétique au sol. Elle diminue quand on ajoute au sol des matières énergétiques carbohydratées, qui permettent ainsi aux bactéries de se développer en grand nombre, sans production d'ammoniaque.

« Le dégagement de l'azote gazeux et sa fixation se produisent tous deux pendant l'oxydation. La fixation est l'action d'un organisme spécifique, le dégagement ne l'est probablement pas.

« La matière organique d'un sol arable paraît avoir une tendance à descendre à un rapport constant : C/N, en Angleterre ce rapport est de 10/1.

« Les organismes du sol furent étudiés par sir John RUSSELL de trois manières distinctes : séparation et étude bactériologique ; groupements

physiologiques et méthodes statistiques. La méthode statistique fut employée au cours d'une étude approfondie de la parcelle de terre fumée au fumier de ferme au champ de Barnfield, par prises d'échantillons à la même heure pendant une période de 366 jours consécutifs. Le nombre des bactéries varia de jour en jour, et l'on ne trouva aucun rapport entre les variations de leur nombre et les variations de la température et de l'humidité. Les nombres bactériens sont élevés au printemps et à l'automne, et bas en été et en hiver. Mais dans chacune de ces périodes, le nombre des bactéries varie énormément d'un jour sur l'autre. Même des numérations faites à deux heures d'intervalle montrent des fluctuations ; il y a un maximum et un minimum définis au cours de vingt-quatre heures, mais le maximum ne se produit pas toujours au même moment et l'on ne peut le rapprocher de la courbe de température journalière. Les protozoaires ainsi que les bactéries varient numériquement de jour en jour, et leurs fluctuations ne montrent aucun rapport apparent avec celles de l'humidité et de la température. Mais protozoaires et bactéries ont toujours un rapport inverse : lorsque le nombre de protozoaires est élevé, celui des bactéries est bas, et *vice versa*. Une étude minutieuse des graphiques montre que les protozoaires sont la cause des fluctuations des nombres bactériens, et ce résultat est confirmé par l'inoculation des organismes dans un sol complètement stérilisé. Lorsque l'on ajoute seulement des bactéries, leur nombre demeure élevé et ne varie pas énormément ; mais lorsque on ajoute bactéries et protozoaires, les nombres bactériens s'abaissent et montrent le même genre de fluctuations que dans le sol. Nous en concluons que les variations journalières des nombres bactériens dans le sol sont causées par les fluctuations des nombres des protozoaires. Cependant, nous ne pouvons pas nous baser sur ces derniers.

« La proportion des nitrates dans le sol varie également, même lorsqu'il n'y a ni chutes de pluies, ni végétation qui les déplacent ; on ne peut pas représenter par une ligne uniformément droite l'accumulation des nitrates dans le sol ; mais ainsi que la multiplication des bactéries et des protozoaires, cette proportion varie avec des hauts et des bas, résultant d'actions que nous ne comprenons pas.

« Est-il possible d'agir sur ces phénomènes, afin d'augmenter la fertilité du sol ? Il existe deux possibilités : on peut diminuer l'absorption des nitrates par les microorganismes, ou la cause qui la favorise, ou l'on peut augmenter le taux de production des nitrates.

« On connaît si peu le mécanisme de l'absorption des nitrates, que

l'on ne peut, pour le moment, suggérer aucune façon de l'effectuer. Le taux de production des nitrates est augmenté par l'accroissement des nombres bactériens, sans qu'il y ait d'apport de matières énergétiques non azotées au sol ; c'est ce qui se passe dans la stérilisation partielle.

« Cette méthode fut étudiée à Rothamsted, et en France par M. MIÈGE et M. TRUFFAUT. Ce dernier fit faire des progrès aux applications pratiques de cette méthode en horticulture, et il indiqua des antiseptiques qu'il emploie sur une grande échelle. En Angleterre, où les engrais azotés sont meilleur marché que les antiseptiques, il n'a pu être trouvé de substance qui augmente la proportion des nitrates dans le sol, plus économiquement que ne le font les engrais azotés. Le problème y fut donc combiné avec un autre, qui est une source de graves difficultés pour les fermiers et les maraîchers, la destruction des parasites et prédateurs.

« En résumé l'enrichissement du sol en azote assimilable par des procédés biologiques artificiels paraît dès maintenant possible. »

*
* *

D'autre part le D^r J. STOKLASA, professeur à l'Ecole technique supérieure de Prague, a montré l'importance en agriculture de la production d'acide carbonique par les bactéries du sol et de son utilisation ultérieure par les plantes supérieures. Dans un récent mémoire publié par la *Revue internationale de renseignements agricoles (Institut intern. de Rome)*, vol. I, déc. 1923, p. 895, il a résumé ainsi ses idées à ce sujet :

« En ajoutant au sol un grand nombre d'éléments biogènes : du phosphore, de l'azote, du potassium, etc., dans la terre, sous forme d'engrais chimiques, nous avons déjà atteint les effets les plus grands. Si nous devons augmenter encore les rendements et rendre la qualité meilleure, il est indispensable que nous nous arrangions pour que l'organisme ait à sa disposition plus de carbone sous forme d'acide carbonique ; c'est ce qu'on peut atteindre par une grande augmentation de l'activité biologique dans le sol, à savoir qu'un kg de terre, compté en matière sèche, produit 100 à 130 mg de CO² en vingt-quatre heures. Nous voyons en effet que tous les meilleurs sols à Betterave sont caractérisés par une grande activité biologique et par une grande production d'acide carbonique.

« Par des expériences continues, nous avons réussi à amener au sol des quantités certaines d'azote, de phosphore et de potasse sous les formes où ces éléments biogènes entrent en combinaison organi-

que aisément décomposable, et avec un plus grand nombre de bactéries actives.

« Ce sont l'*humus azoté* et l'*humus phosphaté*.

« L'humus phosphaté contient 13 à 14 % d'acide phosphorique soluble dans l'eau, une plus grande proportion de matières organiques, et environ deux milliards de bactéries actives par gramme. On le fabrique avec du phosphate naturel pulvérisé.

« Cette circonstance a pour la France une importance particulière, étant donné que ce pays possède en grandes quantités diverses sortes de phosphates naturels qui se transforment par dissolution biologique. Le phosphate pulvérisé est mêlé avec de la tourbe préparée, qu'on inocule ensuite avec des cultures de bactéries. On applique des bactéries existant sur la surface de la racine de la betterave à sucre. On cultive ces bactéries artificiellement et l'on applique cette culture en masse à l'inoculation de la tourbe préparée qui est sous forme colloïdale. Ce mélange reste quinze jours en fermentation.

« C'est par cette méthode qu'il est facile de préparer l'humus phosphaté, lequel est employé avec le plus grand succès au lieu du superphosphate. L'humus azoté est préparé avec de la chaux azotée (cyanamide de calcium), qui est transformée par l'enzyme uréase en carbonate d'ammoniaque. En présence d'acide carbonique, il se forme alors du bicarbonate d'ammoniaque.

« La richesse en éléments fertilisants de l'humus azoté est la suivante :

Azote ammoniacal.....	8.40 %
Matière organique.....	23.30 %

« Les bactéries actives dans 1 g. atteignent presque 1 milliard.

« C'est avec ce fertilisateur qu'on a fait, à notre Station d'expérimentation de l'Etat, à l'association des agriculteurs de la République de Tchéco-Slovaquie, à la Chambre d'agriculture régionale de Brunn et à Prague, en tout 320 expériences ayant donné des résultats excellents.

D'après les résultats publiés on a augmenté les récoltes de nos plantes de culture de 55.70 et 120 % en employant 600 à 800 kgs du fertilisateur biologique par hectare.

« Ces fertilisateurs biologiques produisent l'effet du fumier et celui des engrais chimiques, mais ils peuvent rapporter de plus grandes récoltes. Dans les fertilisateurs humiques, non seulement les bactéries sont plus nombreuses que dans le fumier, mais encore il s'agit de bactéries qui provoquent un très bon effet de fermentation dans la terre.

« De tout cela, nous voyons que nous avons vraiment sous la main le moyen de réaliser une forte augmentation de nos produits de culture, en faisant attention à la circonstance que le sol doit se trouver en état de fermentation en pleine présence d'oxygène. »

*
* *

Enfin M. E. MIEGE, chef du service de l'Expérimentation agricole au Maroc, après avoir passé en revue dans une note récente (1), les diverses opinions émises pour expliquer la fatigue des terres et les phénomènes qui se passent dans la terre à la suite des fumures, a été amené à dire qu'il existe une certaine corrélation entre l'absorption de l'oxygène par le sol et la fixation de l'azote et que ces deux phénomènes en quelques sorte concomitants sont favorisés par la présence des alcalins.

« On peut, dit-il, supposer que sous l'influence des réducteurs et en présence d'alcalins, l'air du sol est dissocié en ses deux éléments ; l'oxygène qui est fixé et l'azote qui entre en combinaison avec certains éléments. Cette hypothèse permettrait d'expliquer un certain nombre de faits restés jusqu'ici assez mystérieux, tels que l'enrichissement spontané de terres de forêts, l'action favorable des engrais verts et végétaux, la nécessité de la matière organique, la fertilité considérable du terreau (reconnu déjà par DE SAUSSURE, HUMBOLDT... comme la substance qui absorbe le plus d'oxygène) ; elle donne une explication satisfaisante de l'utilité du travail du sol et de la jachère, qui doivent, non seulement améliorer les propriétés physiques et le régime de l'eau, mais aussi assurer son aération et les oxydations sous l'influence desquelles l'azote libéré entrerait en combinaison. Mieux que toute autre, elle fait comprendre l'action fertilisante de certains produits non alimentaires, de certains antiseptiques comme le charbon de bois, le pyrogallol, le formol, etc., action qui se manifeste encore dans des sols préalablement stérilisés.

« Enfin, il est certain que les connaissances actuelles sur la nutrition végétale ne permettent pas d'expliquer tous les faits observés, en particulier les variations du rapport des bases salifiables et de l'azote existant dans les plantes, variations qui laissent supposer, ainsi que l'explique G. ANDRÉ, que les végétaux supérieurs peuvent prendre leur azote en dehors des nitrates et sous une forme inconnue.

« Cette forme correspond-elle à l'azote libre de l'atmosphère du sol ;

- (1) Sur une hypothèse relative à la fertilisation des terres par la stérilisation partielle, *Onzième Congrès intern. d'Agriculture*, 1923.

celui-ci pénètre-t-il dans les racines à l'état gazeux, dissous dans l'eau du sol et est-il fixé ultérieurement dans les tissus eux-mêmes. Ou bien, dégagé pour ainsi dire à l'état naissant, entre-t-il en combinaison avec certains éléments de la terre arable: alcalins, alcalino-terreux, etc., grâce au pouvoir catalytique connu des colloïdes minéraux par exemple ?

« Il est certain que cette hypothèse de l'utilisation directe de l'azote atmosphérique par l'intermédiaire de la stérilisation partielle du sol peut paraître audacieuse ; on ne peut nier, toutefois, qu'elle repose sur des observations assez troublantes. Elle ne supprime aucunement le rôle considérable de la microflore du sol, ni les hypothèses déjà existantes qui concernent les bactéries et l'antisepsie des terres, elle se juxtapose simplement à elles.

« Quelle qu'en soit la valeur réelle, nous croyons devoir la soumettre à tous ceux qui s'intéressent à la question de la fertilisation des terres, dans l'espoir que sa vérification provoquera les recherches scientifiques indispensables à la solution de cet important problème ».

*
* * *

De toutes ces observations, il apparaît de plus en plus que les sciences biologiques sont réellement à la base de toute l'agriculture. Les vieilles méthodes d'analyses de sols ne peuvent donner que des approximations sur la valeur des terres et sur leur aptitude pour telle ou telle culture. Le problème de la fertilité est en réalité très complexe. Il est essentiellement subordonné à des phénomènes biologiques ; et on doit considérer tous ces phénomènes comme constituant un cycle d'énergie. Au cours de leur vie les plantes absorbent l'énergie du soleil et construisent des composés énergétiques complexes ; les animaux à leur tour utilisent les plantes : après la mort des plantes et des animaux les organismes du sol se servent des composés formés par les précédents pour en tirer l'énergie qui leur est nécessaire ; en un mot, ce qui a été créé à partir du sol y retourne à l'état de matières végétales et animales décomposées constituant l'humus, les sels solubles, les gaz dégagés, tous produits qui seront réemployés, au moins en partie ; le cycle se poursuit indéfiniment, plus ou moins actif suivant les circonstances climatiques, l'approvisionnement en matières utilisables, enfin suivant la concurrence vitale des organismes vivant sur la terre et dans le sol et formant des associations plus ou moins harmoniques.