

Sols. 1. Biodynamique

Gwendal Monnier

► **To cite this version:**

Gwendal Monnier. Sols. 1. Biodynamique. Encyclopedia universalis. volume 14, Encyclopedia Universalis France, 1973. hal-02859521

HAL Id: hal-02859521

<https://hal.inrae.fr/hal-02859521>

Submitted on 8 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

l'application de la notion de système à l'étude des sols.

L'étude de ces dynamiques peut être abordée de différents points de vue, et les articles de cet ouvrage consacrés à ce sujet en sont des exemples caractéristiques. Pour le pédologue, au plein sens du terme, qui étudie l'ensemble des matériaux, c'est l'aspect géochimique qui domine (cf. PÉDOLOGIE). Les études pédologiques conduisent à l'établissement de cartes qui représentent la distribution des types de sols sous forme de surfaces relativement homogènes (pl. II). Envisagées d'un point de vue pratique, ces surfaces apparaissent comme des terrains, alors que chaque horizon peut être considéré comme constitué par une terre.

Deux chapitres de la rubrique SOLS traiteront de l'activité biologique. G. Manil, en utilisant une terminologie particulière, abordera les données du « bilan ». Y. Dommergues, en étudiant ces mêmes bilans, insistera plus sur les mécanismes élémentaires qui aboutissent en particulier à la libération des éléments minéraux : c'est un aspect important pour l'agronomie.

Mais tous les phénomènes biologiques qui se déroulent dans le sol sont assez largement déterminés par les propriétés physiques, étant donné que les activités biologiques — non seulement celles qui intéressent les micro-organismes, mais aussi celles qui concernent la faune et les développements des racines des plantes supérieures — sont liées à la présence d'air et d'eau. En considérant le sol comme un filtre, on peut faire commodément la synthèse de ces propriétés physiques et mettre en évidence leurs conséquences biologiques. Ce sera le propos d'un premier article de G. Monnier, qui montrera plus loin par quels moyens on peut modifier ce filtre pour qu'il présente des propriétés satisfaisantes. Il faudrait d'ailleurs rattacher à cette étude celle du contrôle de l'humidité par le drainage ou l'irrigation, qui a été abordée ailleurs (cf. EAU - L'eau en agriculture).

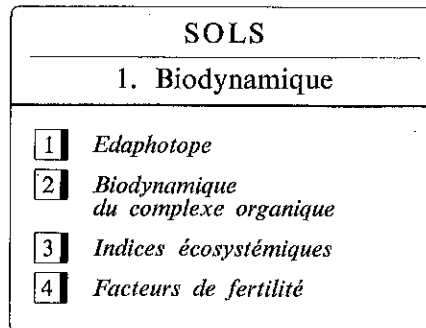
Si les propriétés physiques concernent les conditions permettant l'existence d'une activité biologique, les propriétés physico-chimiques assurent la nutrition minérale des êtres vivants. R. Blanchet rappelle que, par la capacité de fixation des anions et des cations, le sol constitue un réservoir qui est exploité par les racines des plantes, soit parce qu'elles sont en contact direct avec les surfaces adsorbantes, soit parce que des mécanismes tels que le *mass flow* ou la diffusion assurent le transfert des éléments nutritifs vers les racines. Les données dégagées par cette analyse représentent les éléments du diagnostic de la fertilité (cf. FERTILITÉ).

L'utilisation des sols par l'agriculture ne va pas sans inconvénient. Les réserves d'éléments minéraux servant à l'alimentation des plantes s'épuisent (cf. ENGRAIS); les propriétés physiques peuvent se dégrader — l'article de G. Monnier sur l'amélioration et le travail des sols l'aura montré; la terre dépourvue de végétation peut se trouver entraînée par l'eau ou par le vent : c'est le problème de la *conservation des sols*, qui sera abordé du point de vue de la lutte contre l'érosion par F. Fournier et S. Hénin dans le dernier article de cet ensemble.

Ces quelques considérations doivent

permettre de relier les différents sujets présentés ici puisqu'en définitive ils ne font que souligner les aspects complémentaires d'une même réalité : le sol, support d'une activité biologique.

S. H.



L'atmosphère et la biosphère agissant sur la partie supérieure de la lithosphère en arrivent progressivement à créer un milieu très particulier que l'on appelle sol ou pédosphère. De nombreuses disciplines, relevant de la science du sol, s'intéressent à la pédosphère. Parmi celles-ci, l'édaphologie, ou écologie édaphique, en tant que science écologique à part entière, s'applique à définir le sol sur une base essentiellement écosystémique. A ce titre, cette discipline développe des conceptions et utilise des méthodes et des techniques de recherche qui s'appliquent à trois étapes différentes de l'étude des écosystèmes terrestres.

Elle intervient en premier lieu dans la définition des facteurs primaires ou écotopiques qui ont présidé à l'installation des écosystèmes considérés. Son rôle consiste plus particulièrement à définir l'édaphotope, c'est-à-dire le facteur lithopédologique primaire examiné dans son environnement géographique.

Elle cherche en deuxième lieu à caractériser les propriétés induites dans un sol donné par l'ensemble des activités biocénétiques. A ce titre, l'édaphologie est la science du climat édaphique ou pédo-climax, qui fait partie intégrante de tout climat à côté du phytoclimax et du zooclimax. Dans cette optique, selon qu'elle s'attaque à des problèmes de description fonctionnelle d'écosystèmes ou à des problèmes d'écologie appliquée, l'édaphologie vise des objectifs à la fois théoriques et pratiques.

Elle prend enfin sa part dans l'étude des problèmes biogéographiques, quelle que soit l'échelle spatiale retenue : depuis les microsphères les plus modestes jusqu'aux biomes les plus vastes, en passant par les différents niveaux d'écosystèmes, chaque milieu comporte des caractéristiques édaphiques à signification biocénétique propre. A chaque unité de répartition correspond un régime pédogénétique (P. Dansereau) approprié, mieux connu dans le cas des sols correspondant aux grandes classes de formation végétale. C'est le régime de la podzolisation pour la forêt sempervirente acutifoliée boréale ou celui de l'isohumisme chernozémique pour la prairie et la steppe.

On traitera ici spécialement des deux premiers points de vue en tenant compte des enchaînements complexes de cause à effet qui s'établissent entre le sol et la

couverture vivante, et que l'on peut schématiquement grouper de la manière suivante, selon la terminologie de F.E. Clements reprise par G. Lemée : *action* de la végétation sur le sol → *coactions* entre caractères pédologiques → *réaction* sur la végétation; ou, inversement, *action* du sol sur la végétation → *coactions* entre végétaux → *réaction* sur le sol.

1 Edaphotope

Dans la définition d'un édaphotope, on retiendra deux éléments principaux : la constitution lithologique, en y incluant les effets éventuels de pédogenèses anciennes, et la situation géomorphologique, avec ses facteurs de pente, d'orientation et d'altitude.

De la nature de l'édaphotope, ou matériel parental primaire, dépend un ensemble de propriétés physiques, chimiques et physico-chimiques, selon les données classiques de la pédologie (cf. SOLS - Propriétés physiques et mécaniques, Physico-chimie).

Un certain nombre de paramètres de caractérisation du matériel parental primaire sont déterminés par les méthodes courantes d'analyses des sols, mais l'édaphologie s'intéresse particulièrement à deux aspects des problèmes analytiques. Le premier consiste à dégager des paramètres à signification écologique immédiate. Le facteur textural, ou de composition granulométrique, est en général un des premiers paramètres employés (cf. GRANULOMÉTRIE). Il permet de classer une terre selon les teneurs relatives en éléments granulométriques dans la catégorie des sols limoneux, sableux, sablo-limoneux, argileux, limono-caillouteux, etc. Du point de vue écologique, il y a tout intérêt à se servir d'autres expressions du facteur textural, par exemple, en dotant chaque fraction de la texture (argile, fractions limoneuses, sableuses et grossières) d'un coefficient exprimant la quantité d'eau utile retenue par unité de poids de terre; les corrélations entre facteur textural et productivité d'un écosystème deviennent en général nettement plus significatives quand on adopte un mode d'expression écologique.

Ainsi, pour l'Ardenne belge, F. Weissen précise l'intérêt écologique de la texture par l'expression : eau utile = $0,396$ (fract. 2 à 20μ) + $0,101$ (fract. 20 à 50μ) + $1,13$.

Un second paramètre fondamental est celui de la complexation organo-minérale. Dans tout édaphotope, de multiples liaisons physico-chimiques s'établissent entre certains produits de l'humification et les particules minérales les plus actives du sol telles que les minéraux argileux, les composés du fer et de l'alumine, la silice, etc. La formation et les propriétés des complexes organo-minéraux relèvent du domaine de l'humogénèse et de la maturation humique (P. Duchaufour).

Ces phénomènes de complexation organo-minérale ont pour conséquence de diminuer la biodégradabilité d'une fraction très importante des réserves organiques des sols, 50 à 80 p. 100 en moyenne. C'est ainsi que la plus grande partie de l'azote édaphique se trouve sous forme de « réserves azotées passives » n'intervenant qu'à longue échéance dans les processus de minéralisation (cf. AMMONIFICATION).

Tous autres facteurs étant égaux, le taux et le mode de complexation organo-minérale (analysés dans des conditions standardisées) sont des paramètres très utiles pour définir un édaphotope. On les détermine par les méthodes de fractionnement qui séparent les complexes humiques d'après leur énergie de liaison sur les surfaces minérales (cf. HUMUS).

A l'échelle mondiale, les paramètres précédents ont une signification taxonomique de premier plan, car ils permettent de caractériser certaines grandes classes de sols : par exemple, les andosols (sols volcaniques

groupements végétaux	retombées annuelles par rapport à la biomasse totale (%)	organes fins (feuilles) dans les retombées totales (%)
forêts équatoriales ...	8	64
forêts subtropicales ...	5	67
forêts tempérées feuillues ...	3 à 1,6	50 à 54
forêts résineuses boréales et tempérées ...	4 à 2	55 à 42
savanes et steppes arborées	55 à 43	20 à 58
semi-déserts à buissons ...	54 à 27	8 à 26
variantes salées de steppes et semi-déserts ...	39 à 55	11 à 33

tabl. 1 - Caractéristiques des retombées annuelles selon les grands biomes mondiaux (d'après L. E. Rodin et N. I. Bazilevich)

familles et groupes d'humification	indices de répartition verticale (I_{rv}), valeurs extrêmes observées
mull acide ...	1,84 à 6,95
moder mulleux ...	5,55 à 14,21
moder typique ...	7,12 à 13,52
dysmoder ...	15,83 à 25,83
dysmoder à tendance mor ...	37,80

tabl. 2 - Indices de répartition verticale (I_{rv}) de l'hydrogène échangeable entre les horizons A superficiel et A profond de sols acides sous hêtres naturels en relation avec la forme d'humification (d'après F. Delecour)

récents) et les vertisols qui sont très riches en argile gonflante du type montmorillonite. Mais c'est surtout à l'échelle locale ou régionale que l'étude de la complexation organo-minérale peut être la plus fructueuse.

2 Biodynamique du complexe organique

Un écosystème complet se caractérise par trois groupes d'activités selon le schéma classique suivant : la production ou l'élaboration de tissus végétaux par transformation directe de l'énergie solaire; la consommation des matières végétales par les animaux; enfin la bioréduction.

Cette dernière est presque exclusivement édaphique. Elle comporte un ensemble de processus biologiques de décomposition des déchets de métabolisme ou des résidus provenant de la production ou de la consommation : par exemple sous forme d'organes morts ou de retombées biocycliques (chute des feuilles mortes pour les végétaux; cadavres, sécrétions et excréments pour les animaux), sans compter les apports sporadiques lors d'accidents climatiques ou parasitaires.

L'édaphologie s'intéresse en premier lieu à la qualité des apports qui retournent au sol, y compris les apports radiculaires. La composition de ces matériaux possède une influence notable sur le déroulement des différentes phases de la bioréduction. Il suffit de noter l'importance du rapport carbone-azote ou facteur C/N. Ce paramètre est fréquemment employé pour déterminer la valeur améliorante des essences forestières ou les qualités relatives d'enfouissements verts et d'amendements organiques en sols agricoles.

La quantité des retombées annuelles est

également un facteur à grande signification biocénétique, et qui varie systématiquement selon les groupements végétaux. L. E. Rodin et N. I. Bazilevich ont tenté d'établir à l'échelle de la planète les relations quantitatives et qualitatives entre biomasses et retombées annuelles pour les principaux biomes naturels. Le tableau 1 donne les pourcentages des retombées par rapport à la biomasse totale et les pourcentages des retombées fines au sein des retombées totales. Les retombées fines comprennent les feuilles et autres organes facilement décomposables correspondant à la fraction la plus active dans le domaine des processus de la bioréduction.

La masse des éléments organiques qui retournent au sol constitue une réserve énergétique importante représentant jusqu'à 30 p. 100 et plus de l'énergie chimique accumulée en un an par la production. Il n'est pas étonnant que cette masse mette en branle toute une pyramide fonctionnelle très complexe comprenant plusieurs niveaux successifs d'activités, à la fois fauniques et microbiennes.

La bioréduction conduit en fin de compte à deux grands groupes de processus : la minéralisation et l'humification, qui ont été spécialement étudiés sous d'autres rubriques (cf. AMMONIFICATION, FERMENTATION, HUMUS).

La minéralisation remet dans le circuit biocénétique une série d'éléments, tels le carbone, l'azote, le phosphore, le soufre, etc., qui étaient bloqués dans la matière organique.

L'humification au sens strict se définit schématiquement par un ensemble de processus selon lesquels la matière organique se transforme en substances plus ou moins résistantes aux actions microbiennes, de teinte souvent sombre et dont une partie au moins atteint des poids moléculaires très importants, leur conférant des propriétés colloïdales. De plus, une fraction se lie aux colloïdes minéraux sous forme des complexes déjà mentionnés.

Toutefois, le terme « humification » est le plus souvent utilisé dans son acception la plus large, c'est-à-dire dans le sens de l'évolution d'ensemble de la matière organique édaphique, depuis les premières phases d'attaque jusqu'aux stades de la maturation humique la plus accentuée.

Pour caractériser l'état humique d'une terre, on fait usage de plusieurs paramètres, les principaux étant :

— le *taux d'humification* ou pourcentage de matières organiques humifiées de néoformation et à propriétés colloïdales par rapport aux quantités organiques totales (Duchaufour);

— le *statut humique* identifié, entre autres, par le profil humique, c'est-à-dire le mode de répartition quantitative et qualitative des composés humiques, de haut en bas du profil pédologique;

— la *forme d'humification*, notion essentiellement biodynamique, qui englobe trois aspects complémentaires : le statut humique, les rythmes d'évolution et de transformation, l'ensemble des effets écologiques, même très momentanés, liés aux différents stades de l'évolution organique.

On conçoit aisément que la forme d'humification constitue un indice à signification biocénétique privilégiée.

Examinées à l'échelle mondiale, les formes d'humification se classent en quelques grandes familles dont les termes d'identification le plus souvent cités sont *mull*, *moder* et *mor*, en conditions de bonne aération, *anmoor* et *tourbes*, pour les formations humides (Duchaufour).

Chaque famille renferme un certain nombre de groupes ou de sous-groupes selon les conditions écologiques régionales ou locales.

L'étude spatiale des formes d'humification amène à découvrir un certain nombre de traits et de lois. Comme en tout domaine de l'édaphologie, on peut se placer à un point de vue théorique et écosystémique, ou à un point de vue d'écologie pratique.

3 Indices écosystémiques

Les indices écosystémiques expriment le rôle des organismes et des micro-organismes dans le cycle de la vie (Y. Dommergues) et celui des « coactions » pédobiologiques face aux actions de la végétation ou du sol.

Indices de répartition horizontale ou spatiale

De tels indices ont été mis au point par différents auteurs, dont le but était de découvrir des lois de répartition le plus souvent climatique, parfois lithologique de la matière organique des sols.

Une des conclusions les plus générales qui ont été élaborées peut être résumée de la manière suivante : en considérant des états d'équilibre (états stationnaires), la relation entre les teneurs en matières organiques des sols et la température moyenne annuelle (l'humidité étant supposée normale et constante), s'exprime par une loi exponentielle. Toutefois, les paramètres des relations sont différents selon les climats. Et même une anomalie apparente existe pour les régions tropicales. Au-delà de la limite climatique marquée par la *frost free line*, les valeurs sont supérieures à celles qu'on obtient par extrapolation en partant des régions tempérées (H. Laudelout). Plusieurs explications ont été proposées, mais aucune n'est entièrement satisfaisante. A titre d'exemple, l'une d'entre elles fait intervenir l'action homogène de la faune édaphique, qui ne subit pas en régions chaudes l'action déprimante du froid hivernal.

Un autre aspect intéressant de l'étude des lois de répartition horizontale concerne l'évolution du statut humique et de la forme d'humification consécutive à la mise en culture d'une formation naturelle. On constate, en gros, une diminution du taux humique du milieu édaphique, taux qui est souvent, en terres cultivées, de l'ordre de 70 p. 100 de celui de l'état naturel. En conditions normales tout au moins, il ne s'agit pas d'une dégradation, mais d'une altération au sens étymologique, c'est-à-dire d'un changement adaptatif à de nouvelles conditions biocénétiques.

Mais, d'autre part, si l'on impose aux sols des facteurs de dégradation de quelque nature que ce soit, cela se répercute immédiatement sur la forme d'humification et sur son statut humique.

Indices de répartition verticale

Ce sont des traductions du profil humique, défini comme le mode de répartition quantitative et qualitative des composés humiques selon la verticale d'un profil pédologique. Chaque couche de sol se caractérise par un bilan spécifique au point de vue de l'évolution organique et de ses facteurs associés.

Plusieurs paramètres permettent de caractériser ce mode de répartition verticale. Un exemple est reproduit dans le tableau 2. Il s'agit de l'indice de répartition relative I_{rv} , qui compare le statut de deux couches différentes de sol choisies en fonction de leur caractère significatif. Il a trait à l'hydrogène échangeable, qui est un des éléments les plus caractéristiques des sols acides et dont les teneurs correspondent à une forme typique des coactions édaphiques en relation avec le mode d'évolution organique. A chaque endroit du sol, il se manifeste à tous moments un bilan particulier entre l'apparition et la disparition des ions H^+ .

Les indices de décomposition organique et de circulation biocyclique sont eux aussi fort importants.

La nature et la vitesse des échanges énergétiques et chimiques entre la végétation et le sol représentent un des aspects les plus importants du fonctionnement interne des écosystèmes. A l'état stationnaire et en conditions naturelles, il existe un rapport constant entre les quantités d'éléments énergétiques et chimiques, ramenées au sol

par les retours annuels, et les quantités déterminées dans le sol considéré sur une épaisseur significative.

Le coefficient de décomposition organique intéresse spécialement les nombreuses formations végétales des aires marquées par la persistance de couches organiques en surface. C'est le cas de sols à litière forestière permanente ou de sols à feutrage organique superficiel sous prairies et steppes.

H. Jenny a proposé le coefficient K défini, en pourcentage, par la formule : $K = A/(A + L)$, dans laquelle A représente l'ensemble des retours annuels et L la litière permanente, tous deux exprimés en poids par surface. Le tableau 3 donne quelques applications de cette formule.

D'autres auteurs prennent en considération la vitesse de circulation biocyclique de l'azote et des autres éléments biogènes, les variations des équilibres ioniques édaphiques, les processus d'acidification, la minéralisation-réorganisation de l'azote, etc.

4 Facteurs de fertilité

Parmi les multiples processus qui se manifestent entre le sol et la végétation, interviennent toute une série de « réactions » de la végétation à des modifications édaphiques de nature biodynamique. L'étude de ces réactions fait partie de l'écologie édaphique appliquée aux problèmes de fertilité des sols. Elle apporte ainsi sa contribution à des sciences comme l'agrorologie, pour les terres agricoles, et l'édaphologie forestière, pour les forêts de production. Pour des raisons à la fois logiques et didactiques, il convient de subdiviser les problèmes de fertilité d'après la nature des facteurs le plus immédiatement en cause, sans ignorer cependant leurs multiples corrélations.

L'état de fertilité physique dépend de trois facteurs principaux : l'économie en eau, l'économie d'aération et l'économie thermique. Ces facteurs sont directement influencés par la forme d'humification et par le mode de colonisation racinaire, par l'intermédiaire de la biostructure ou mode d'arrangement intime du sol. La biostructure apparaît comme une des coactions les plus caractéristiques accompagnant les actions de la végétation sur le sol.

La fertilité chimique est à son tour influencée à de multiples points de vue, parmi lesquels on note la production de substances acides agressives à l'égard des minéraux du

sol, la production de cations et d'anions pour les échanges radiculaires, l'installation d'un complexe absorbant organique particulièrement actif, la libération au cours de la bioréduction d'ions nutritifs, spécialement de l'azote minéral, etc.

La fertilité physico-chimique comporte deux volets principaux définis respectivement par le potentiel protonique (acidité-alcalinité) et le potentiel électronique (potentiel d'oxydoréduction). La forme d'humification intervient activement pour régler la quantité, la nature ou le degré de biodégradabilité de métabolites divers, porteurs de groupements acides ou doués de propriétés réductrices. La nature des débris qui retournent au milieu édaphique est un facteur important de cette forme de fertilité.

Le problème de la fertilité biochimique est en réalité celui des substances biochimiques actives dont l'origine relève de causes multiples : pluviolésivage aux dépens de la couverture vivante, bioréduction microbienne des débris morts, sécrétions radiculaires ou produits d'activités microbiennes (cf. sols - Microbiologie). Leur action synergique ou antagoniste se marque directement soit sur le comportement des végétaux supérieurs, soit sur celui des composants fauniques et microbiologiques des terres. On connaît, par exemple, des substances de croissance, des vitamines, des antibiotiques, etc. L'étude de ces substances et de leur action s'intègre dans le double problème de la fertilité biologique des sols et de la lutte biologique contre les actions parasitaires, dont l'importance n'est plus à démontrer pour les applications agronomiques.

Les notions de fertilité sont inséparables, en fin de compte, de celles de la conservation des sols, car les données de l'écologie édaphique obtenues sur une base biodynamique trouvent un terrain privilégié d'application dans les domaines complémentaires suivants : la définition des différentes formes de la dégradation des terres, la découverte des facteurs responsables et de leurs effets réels, la recherche de moyens efficaces autant qu'économiques de restauration des terres dégradées, le maintien en état d'équilibre ou l'amélioration de la fertilité des sols non dégradés.

G. M.

Bibliographie et corrélats

Voir la bibliographie générale et les corrélats généraux, pages 138 et 139.

SOLS	
2. Microbiologie	
1	Rôle et activité des micro-organismes Cycle de la matière Interactions dans l'écosystème
2	Facteurs régissant l'activité microbienne dans les sols Facteur « plante » et facteur « climat » Facteur « sol » Facteurs biologiques autres que le facteur « plante »
3	Microbiologie du sol appliquée à l'agroronomie Techniques indirectes Action directe sur la microflore
4	Autres applications

La microbiologie du sol est une des branches de l'écologie microbienne qui a essentiellement pour objectif l'étude du rôle des micro-organismes vivant dans les écosystèmes terrestres et plus particulièrement dans les sols. Les micro-organismes du sol — ou micro-organismes telluriques — appartiennent à tous les groupes connus (bactéries, actinomycètes, champignons, algues, virus, protozoaires); leur biomasse (cf. BIOCÉNOSES) est considérable puisque, pour les seules bactéries, elle atteint fréquemment 1 000 à 2 000 kg/ha. L'étude de la microflore du sol est fondée sur différents types de classification. Certains auteurs utilisent la taxonomie classique; d'autres distinguent des « groupes fonctionnels » rassemblant les souches ayant en commun une même propriété physiologique (par exemple, groupe des bactéries non symbiotiques fixatrices d'azote); d'autres étudient des groupes nutritionnels caractérisés par les mêmes exigences (par exemple, chimolithotrophes). Une connaissance approfondie de la physiologie des micro-organismes telluriques est la base indispensable des recherches autécologiques, recherches portant sur les relations entre les micro-organismes isolés (cultures microbiennes pures) et les différents facteurs du milieu. L'autécologie microbienne ouvre elle-même la voie à la synécologie microbienne ou étude des interactions entre les micro-organismes et les autres composantes du milieu (cf. *infra*).

1 Rôle et activité des micro-organismes

Cycle de la matière

Dans tout écosystème terrestre, les éléments nécessaires à la vie (éléments biogènes) sont successivement incorporés dans les différentes composantes vivantes (plantes, animaux, microflore), puis libérés. On dit qu'il y a renouvellement ou *turnover* des éléments. Ces transformations cycliques subies par les éléments constituent le cycle de la matière (cf. GÉOBIOLOGIE).

localisation et type de végétation	K	sources de renseignements
Colombie		
1. rain forest	62,8	Jenny et al. (1949)
2. broad leaved forest	39,1	<i>idem</i>
États-Unis d'Amérique, Californie		
1. forêt de <i>Quercus kelloggii</i> (alt. 1 200 m)	11,7	<i>idem</i>
2. <i>idem</i> (alt. 1 500 m)	5,6	
3. forêt de <i>Pinus ponderosa</i> (alt. 1 200 m)	2,9	
4. <i>idem</i> (alt. 1 800 m)	1,5	
5. forêt à <i>Pseudotsuga taxifolia</i>	3,3	d'après Heilman et Gessel (1963)
Belgique		
6. forêt de <i>Fagus sylvatica</i> , région à influence atlantique réduite	20	Centre d'étude des sols forestiers de Gembloux
7. <i>idem</i> , région à influence atlantique	10	
8. plantation d'épicéas âgés de soixante-dix ans de substitution aux hêtraies	3,2	
Canada		
9. érablière à mull	34,6	Maldague (1967)
10. érablière à moder	8,03	
11. érablière à mor	4,91	
Zaïre		
12. forêt à <i>Scorodophleus zenkeri</i>	37,5	<i>idem</i>
13. jachère à <i>Musanga cecropioides</i> (parasoleraie)	48,37	

tabl. 3 - Valeurs du coefficient de décomposition K dans différentes régions

L'importance de l'intervention des micro-organismes dans ces cycles varie suivant l'élément considéré. Dans le cas de C, N, S, elle est capitale, puisque l'absence, voire l'inactivité des micro-organismes, entraînerait un arrêt de l'approvisionnement naturel des sols en azote et un blocage du turnover de C, N, S se traduisant par l'accumulation de ces éléments sous forme organique inutilisable par les végétaux. Dans le cas des autres éléments, tels que P, l'intervention microbienne est beaucoup plus discrète. Lorsque l'on fait le bilan d'un élément dans le cadre d'un écosystème sol-végétation (atmosphère non comprise), on constate que les transformations microbiennes peuvent contribuer à l'enrichir ou à l'appauvrir; à ces gains et pertes d'origine biologique peuvent s'ajouter des gains ou pertes d'origine non biologique. Lorsque l'écosystème est à l'équilibre, les gains d'origine biologique et non biologique compensent les pertes.

Cycle du carbone

Le CO₂ atmosphérique est fixé essentiellement par les organismes autotrophes photosynthétiques (végétaux chlorophylliens) et accessoirement par les micro-organismes chimiosynthétiques; les résidus et les cada-

vres de ces organismes s'ajoutent à ceux des animaux pour retourner au sol et y constituer le *pool* de la matière organique fraîche. Sous l'action de la microflore, cette fraction organique du sol donne naissance à des composés de néosynthèse et à des composés résiduels (fig. 1). Actuellement, on s'intéresse de plus en plus à l'étude de ces composés, car certains sont des précurseurs de l'humus (cf. HUMUS), d'autres sont des agents complexants très actifs, dont le rôle en pédogenèse et dans la nutrition végétale est considérable. L'oxydation microbienne de l'humus jusqu'au stade CO₂ est beaucoup plus lente que celle de la matière organique fraîche. Dans l'écosystème sol-végétation, les gains de carbone résultent essentiellement de l'activité photosynthétique, alors que les pertes proviennent de la respiration (ou des phénomènes de fermentation) des agents (plantes, animaux, micro-organismes) qui constituent la biocénose; à ces pertes peuvent s'ajouter des pertes d'origine non biologique: exportation par les récoltes et les feux, le lessivage, l'érosion.

Cycle de l'azote

L'atmosphère constitue la principale réserve azotée utilisable par la biosphère. Mais l'azote atmosphérique ne peut être

utilisé tel quel par la plupart des organismes vivants qui ont besoin d'azote combiné, minéral ou organique. Seuls font exception à cette règle les micro-organismes fixateurs d'azote, micro-organismes qui vivent soit à l'état libre, comme *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Clostridium*, soit à l'état symbiotique, par exemple *Rhizobium* des légumineuses (cf. AZOTE). Comme les plantes ne peuvent utiliser que l'azote combiné sous forme nitrrique ou ammoniacale, il est nécessaire que l'azote du sol, qui, à l'exception des engrais minéraux, y est incorporé presque exclusivement sous forme de matière organique fraîche, soit au préalable minéralisé: ce sont uniquement des micro-organismes qui effectuent cette minéralisation; celle-ci comporte deux étapes: l'ammonification et la nitrification (cf. AMMONIFICATION). Parallèlement, une fraction des micro-organismes entre en compétition avec les plantes pour consommer l'azote minéral du sol: c'est le processus d'*immobilisation*, aussi appelé *réorganisation*. L'azote nitrifié peut être réduit en N₂ ou N₂O par les micro-organismes de la dénitrification, l'azote gazeux ainsi formé rejoignant le pool de l'azote atmosphérique. Ces différentes transformations microbiennes contribuent à l'enrichissement ou à l'appauvrissement en azote de l'écosystème sol-végétation; les gains résultent de la fixation de N₂ par la micro-

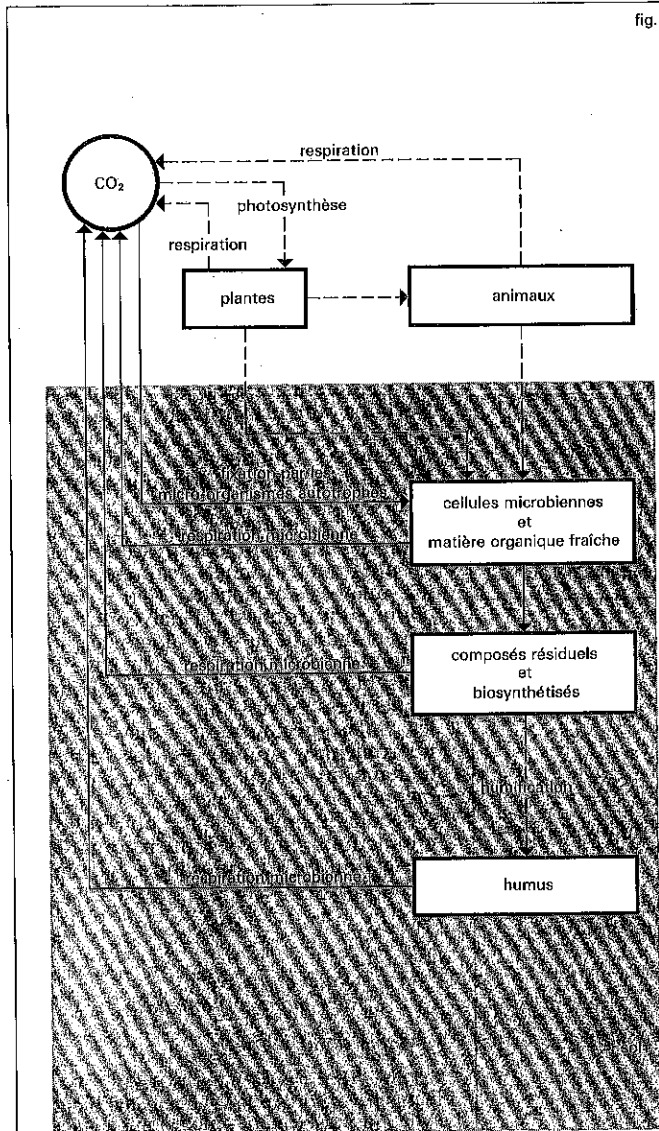


fig. 1

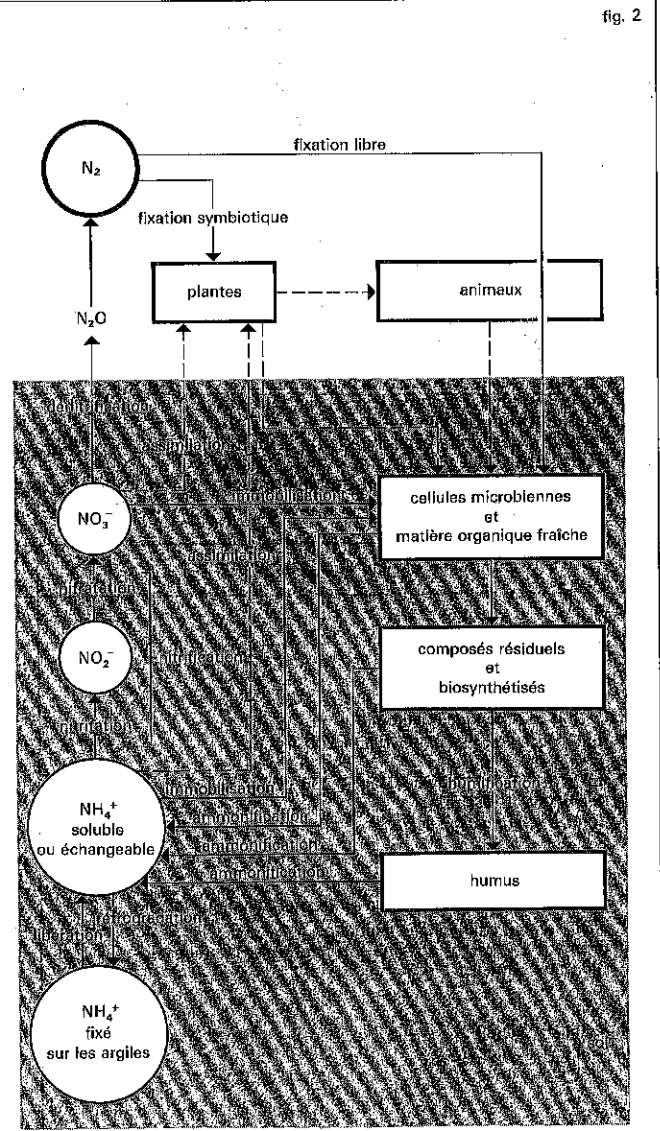


fig. 2

Cycle du carbone. On a représenté par un trait plein les transformations de nature microbienne et par un trait interrompu les transformations non microbiennes.

Cycle de l'azote