

EXEMPLAIRE RESERVÉ

FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE L'ETAT

GEMBOUX (BELGIQUE)

125<sup>e</sup> ANNIVERSAIRE

**INVERTEBRES MENAÇANTS — MENACES**

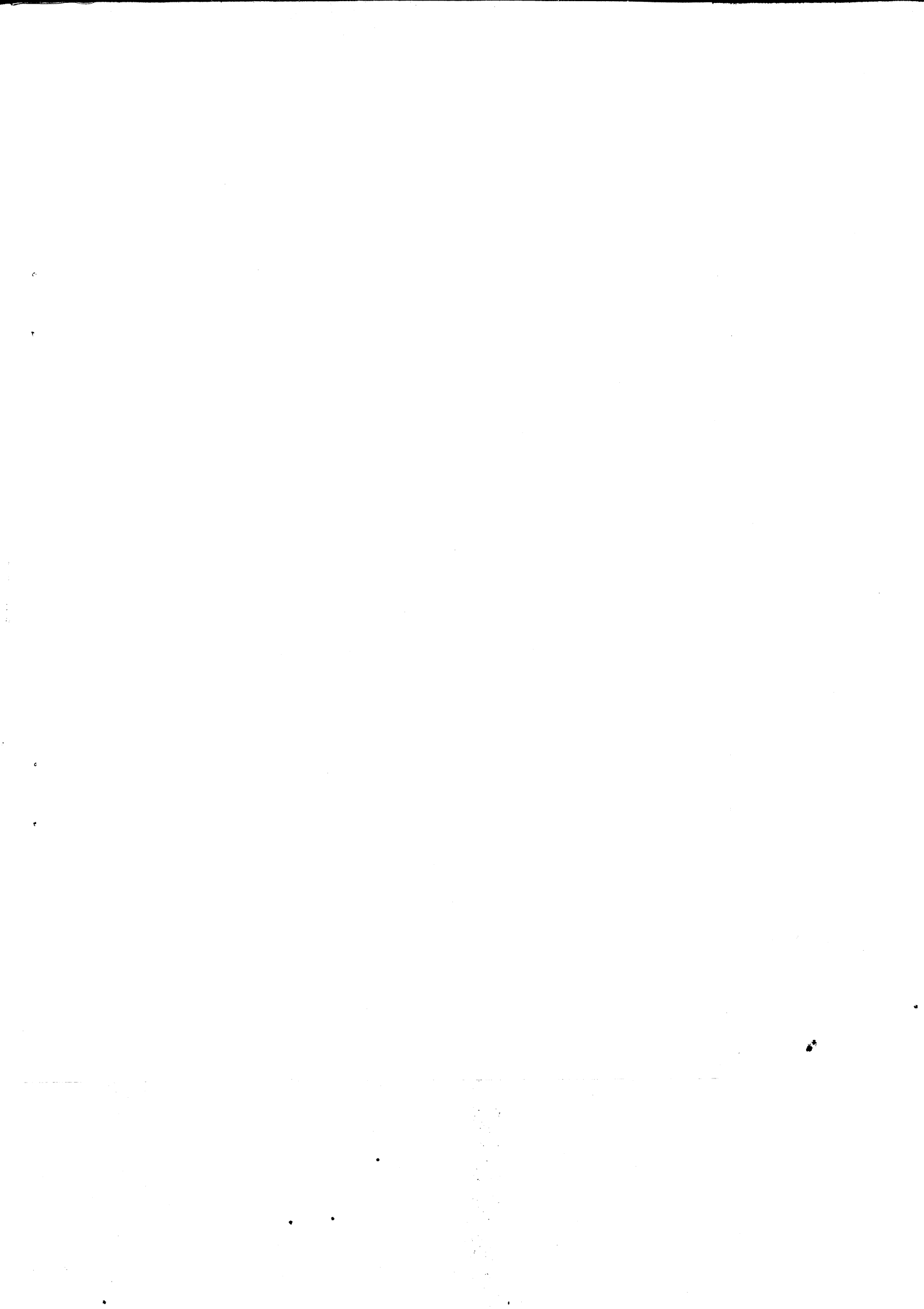
**Leur surveillance**

18 et 19 septembre 1985

CONFERENCE — DEBAT

COMPTE RENDU

---



## Une menace pour l'homme: la méconnaissance du sol et de ses invertébrés

par

M.B. BOUCHÉ (\*)

125 ans mesurent le chemin parcouru depuis la création au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle d'écoles d'agronomie — enseignement et recherche étant naturellement liés. La Science, qui portait encore une majuscule, source de Progrès, devait être soutenue pour être enseignée, améliorée, diffusée. Le spectre de MALTHUS [1803] et la loi mathématique liant la dépendance des populations humaines et celle des ressources alimentaires, édictée en 1838 par le belge VERHULST n'étaient pas loin; il fallait améliorer les ressources nutritionnelles notamment par une meilleure fertilité des sols.

Beaucoup de chemin a été parcouru; les rendements à l'hectare ont considérablement augmenté mais la science a perdu sa majuscule. Apportant une capacité technique indéniable, elle ne pouvait seule servir de garant... d'autant que son itinéraire intrinsèque ne pouvait *ipso facto* être le meilleur pour le bien-être humain. Des insuffisances fâcheuses, des relations science-société inharmonieuses, ont entraîné des rejets se fondant sur des carences évidentes ou des arguments irrationnels témoignant de réelles difficultés.

Pendant ces 125 années, la science a considérablement évolué et augmenté ses acquis. Pour pouvoir se tenir au courant d'un domaine de plus en plus riche, le spécialiste a dû réduire son champ personnel d'observation. En 1860, physique, chimie et histoire naturelle avaient largement acquis leur autonomie. Néanmoins, les grands naturalistes pouvaient traiter de sujets divers ayant trait à la zoologie, la géologie, la botanique sans rejeter les outils mathématiques et les connaissances physico-chimiques de l'époque. DARWIN, par exemple, a écrit des livres spécifiques sur des sujets aussi divers que la fécondation des orchidées, les cirripèdes fossiles, la formation de récifs coralliens, les plantes insectivores et l'origine des espèces.

Cette œuvre, si variée et s'intéressant à l'économie de la Nature, n'a pas pu ignorer l'importance du sol que nous définirons ici comme la partie de la géosphère colonisée par la vie. Le jeune DARWIN revenant le 10 octobre 1836

---

(\*) Laboratoire de zooécologie du sol. INRA, CEPE/CNRS. BP 5051. 34033 MONTPELLIER Cédex (France).

d'un voyage circummondial de 5 années sur le H.M.S. Beagle, au cours duquel il a accumulé une énorme masse d'observations, trouve le temps de focaliser son attention sur quelques terrains du Staffordshire et d'y effectuer une étude qu'il présente le 1er novembre 1837 devant la «Geological Society» de Londres. Cette étude porte sur la formation de la terre végétale dont il reconnaît la dynamique grâce aux traces laissées par les amendements agricoles pratiqués alors, marne, chaux ou cendres en surface des champs. Ces traces lui permettent d'attirer l'attention sur les lombriciens, qui, en labourant le sol et en remontant exclusivement les éléments fins, assurent ce que nous appelons aujourd'hui une pédogenèse. DARWIN [1837] devait conclure son article sur le rôle pédologique du transit intestinal des vers de terre en suggérant qu'à certains égards, le terme «terre animale» serait plus approprié que celui de «terre végétale». Il devait consacrer des observations à ce sujet tout au long de sa vie et publier en 1881 — peu avant sa mort — un ouvrage entier y consacré. Le centenaire de la mort de DARWIN a été en 1982 l'occasion de mises au point qui, lorsqu'elles portent sur l'ensemble de son œuvre, n'analysent jamais ce travail. Ceci ne serait pas pour surprendre le grand naturaliste qui, dans son livre sur les vers de terre, fustige nombre de ses contemporains. Par exemple «en 1869, M. FISH rejeta mes conclusions en ce qui concerne le rôle joué par les vers dans la formation de la terre végétale, et cela purement parce qu'ils seraient, suppose-t-il, incapables de fournir un aussi grand travail... Voilà bien un exemple de cette impuissance à évaluer les effets d'une cause se répétant d'une façon continuelle, impuissance qui a souvent retardé le progrès de la science; jadis elle s'opposait à la marche de la géologie et récemment elle a tâché d'entraver celle des principes de l'évolution» [DARWIN, 1882]. C'est que l'un des traits constants de pensée de DARWIN, trait lui aussi fort peu perçu, a été de ne pas se laisser impressionner par le visible, l'évident et le spectaculaire; que ce soient la modeste croissance des coraux, le faible écart de probabilité d'arriver à l'acte de reproduction pour transmettre ses caractères à la génération suivante ou l'insignifiante crotte d'un ver de terre, c'est toujours un mécanisme discret qui, par accumulation des effets, engendre soit des îles coralliennes, soit des espèces, soit un sol fertile.

Mais l'«impuissance» intellectuelle décriée par DARWIN a une autre conséquence: les générations de chercheurs suivantes ont surtout retenu de l'œuvre du grand naturaliste son travail sur l'origine des espèces qui bouleversait les idées reçues mais offrait en outre l'avantage de porter sur le seul domaine des biologistes... par contre, l'œuvre sur des animaux souterrains aussi modestes et répugnants que les vers de terre est tombée dans l'oubli: elle était déjà interdisciplinaire: agronomie, pédologie et zoologie s'y mêlaient. C'est que la recherche, et la recherche agronomique entre autres, s'est au cours de ces 125 ans morcelée en de multiples disciplines. L'histoire naturelle s'est éclatée en spécialités telles la biologie ou mieux la zoologie, la botanique, la microbiologie, l'océanographie, la pédologie,... et scindée à nouveau en biochimie, herpétologie, entomologie, etc. Le ver de terre n'a pas engendré

sa science en zoologie et a été évacué d'une pédologie devenue essentiellement physico-chimique et de l'agronomie appliquée car il ne fait ni dégâts, ni récolte et ne se voit pas. L'impuissance intellectuelle à percevoir l'importance d'un phénomène discret mais additif est ici aggravée par l'éclatement de la science.

La science éclatée a fait dans les domaines restreints et bien définis des spécialistes de remarquables découvertes conduisant à des applications spectaculaires. Dans le domaine des sciences agronomiques par exemple, qui nierait les apports de la chimie, permettant entre autres une fertilisation en partie raisonnée et d'écarter les ravageurs les plus prégnants. Qui n'utilisera pas les travaux des pédologues pour asseoir un aménagement rural? Qui ne se servira pas des progrès de la biologie, de la génétique notamment, qui donne un guide à la sélection de variétés performantes? Qui enfin écarterait les nouveaux outils permettant d'améliorer les techniques agro-industrielles ou la qualité des produits? L'émergence des biotechnologies, mêmes balbutiantes, témoigne présentement de ces évolutions.

Mais à côté de cela, quelle impuissance! La famine sévit dans une grande partie de la terre. L'UNESCO fait savoir que le globe perd annuellement l'équivalent de la Belgique en terre cultivable. Pris dans une fuite en avant, nous «résolvons» des problèmes techniques en en créant d'autres, parfois plus préoccupants. Par exemple, l'introduction des pesticides, en réduisant temporairement les ravageurs, facilite la pullulation d'autres déprédateurs, tout en créant un risque environnemental, voire industriel, très mal appréhendé: nous n'hésitons pas à utiliser les molécules complexes dans des milieux complexes sans avoir d'abord créé les moyens de comprendre leurs conséquences dans cette complexité.

Des «accidents» en découlent et entraînent des réactions, pas toujours rationnelles, mais révélatrices; la prise de conscience publique des risques découlant de procédés, efficaces dans le domaine étroit de leur conception, mais employés en aveugles dans un vaste domaine, a provoqué des mesures techniques qui souvent ne donnent que l'illusion de solutions. Par exemple, la Belgique s'est couverte de stations d'épuration pour limiter les pollutions des nappes d'eau... Oui, mais que faire des boues d'épuration ayant concentré une étonnante diversité de contaminants de façon si variable? Ces boues, véhicules d'éléments dangereux, aboutissent souvent aux sols agricoles en tant qu'amendements organiques. Ce problème inquiétant est d'ailleurs remarquablement abordé dans cette Faculté.

Le morcellement des sciences, le caractère ponctuel des actions techniques conduisent à une nécessité de globalisation, de vraie synthèse. Cette nécessité a été fort bien perçue par un grand naturaliste du XIX<sup>e</sup> siècle. Six ans après la fondation de cette Faculté, Ernst HAECKEL définissait une science nouvelle, l'écologie qu'il dit être «La Science globale des relations des organismes avec leur monde extérieur environnant dans lequel nous incluons, au sens large, toutes les conditions d'existence». A-t-on réellement développé

une telle science — au sens moderne du mot qui est le sens de HAECKEL — couvrant l'étude des organismes dans leur environnement, et qui soit globale (c'est-à-dire où les données analytiques seraient acquises non pour elles-mêmes mais pour une synthèse dans la nature)? Il est permis d'en douter; si le mot écologie, galvaudé, a fait fortune dans le grand public, la discipline scientifique reste à naître.

Regardons le cas particulier de l'écologie du sol. Le sol, à la différence de l'atmosphère ou de l'hydrosphère, ne s'homogénéise pas comme un fluide et interdit la pénétration par observation visuelle. L'agencement actuel des éléments hétérogènes de ce milieu reflète à la fois le passé géologique qui a fourni les éléments minéraux et les successions d'organisation biologique. Ces éléments biologiques ont eux-mêmes remodelé les éléments minéraux, contribué à leur dissolution, fractionnement et réorganisation en y apportant les caractéristiques de la matière organique morte et vivante. Cette vie du sol, qui nous échappe largement est loin d'être négligeable. Pour les terres émergées c'est en moyenne environ la moitié de la masse végétale, et au moins 90% des micro-organismes qui s'y développent. Les animaux — essentiellement invertébrés — ne sont pas en reste: c'est une myriade de Nématodes, d'Annélides et d'Arthropodes qui y vivent ou y trouvent refuge. Si de petits animaux comme les Nématodes, les Collemboles, les Acariens font le nombre, les vers de terre font la masse et représentent plus de la moitié de la biomasse animale émergée.

Parler d'écologie du sol n'est donc pas une mince affaire. C'est une part prépondérante des végétaux, animaux et microbes qui vivent dans un milieu extraordinairement structuré, où la disposition des éléments et leur organisation commande la pénétration de l'air, de l'eau et des aliments et la fourniture aux plantes des éléments nutritifs, gages de récoltes et d'élevages de bétail florissants. Mais attention, ces éléments minéraux, organiques, zoologiques, botaniques et microbiens forment un tout fonctionnel que chaque discipline ne peut aborder par elle-même. La difficulté de pénétration du milieu a en outre freiné, si ce n'est découragé les recherches, de sorte que ce sol, qui joue un rôle important dans l'économie de la Nature et dans l'économie tout court, est *sensu stricto* une *terra incognita*.

En schématisant quelque peu abusivement, on peut dire que les zoologues sont encore largement empêtrés dans l'inventaire des espèces souterraines (souvent encore inconnues), que les microbiologistes doivent soit étudier hors sol, des cultures de bactéries, protozoaires ou champignons, soit attribuer sans certitude aucune aux micro-organismes des fonctions globalement perçues au terrain; quant aux études sur les racines aux champs, elles restent des curiosités. Certes des progrès sont en cours mais la compréhension du système-sol reste à acquérir très largement.

On peut considérer cette situation de trois façons:

— soit regarder ces constats comme négligeables, puisque perturbant l'acquis des disciplines orthodoxes. Cela revient à nier les faits au nom d'académismes;

- soit faire un constat amer d'impuissance : toute technique agissant sur un sol largement inconnu est un danger potentiel ;
- soit enfin, regarder avec intérêt ce domaine encore mal compris pour en dégager les mécanismes profonds et permettre ainsi de nouveaux progrès là où il y a présentement difficultés.

J'adopterai ce dernier point de vue en montrant comment les problèmes difficiles pourraient trouver leur solution si l'on développe des techniques d'études agro-écologiques sur les phénomènes réels dans leur situation. Je prendrai trois exemples à cet effet : l'un sur les éléments nutritifs, l'autre en physique des sols, le dernier sur les contaminants.

### Les engrais

Un travail considérable a été développé pour tirer le meilleur parti possible des engrais. Empiriquement, il a été possible d'utiliser des quantités croissantes d'engrais — et notamment d'azote — sur des variétés sélectionnées capables de produire toujours plus. Présentement, on est toutefois obligé d'apporter des engrais essentiellement hydrosolubles — la forme assimilable par les plantes — soit hors des périodes de croissance (avant semis) soit sur le sol et non pas au niveau racinaire. Mais entre l'engrais apporté avant culture ou sur le sol et la racine, il y a la *terra incognita*. Si le cycle des éléments nutritifs a été décrit au laboratoire, force est de constater que dans la nature, les mécanismes internes au sol nous échappent : en culture céréalière seulement 30 à 40 % de l'azote marqué par l'isotope  $^{15}\text{N}$  se retrouvent dans les plantes. On constate, par ailleurs, qu'une partie de l'enrichissement excessif en azote des cours d'eau (eutrophisation) provient de ces engrais hydrosolubles de grande culture : l'azote d'importance économique devient ici un polluant.

Maintenant, pénétrons dans cette «*terra incognita*». FERRIERE [1986], pour étudier le débit d'azote d'un lombricien adulte, a mis au point une technique permettant de charger un ver de terre en azote  $^{15}\text{N}$ . Il est possible de remplacer ces animaux dans un sol non perturbé : par exemple, une prairie permanente où depuis des siècles, racines, matières mortes, micro-organismes et invertébrés vivent en échanges réciproques équilibrés et structurés. L'animal chargé de  $^{15}\text{N}$  pénètre dans ce système au niveau racinaire. Notre surprise a été grande de constater que, au printemps, lorsque les plantes accumulent l'azote dans leurs tissus en croissance, tout l'azote excrété par les lombriciens passait dans les plantes pratiquement sans perte (96 % ont été retrouvés !). Cet excellent transfert se fait vite (en 10 jours environ) et assure environ 25 % de l'assimilation azotée des plantes prairiales dans cette expérience. Il ne s'agit que du stade d'une seule espèce de lombriciens... extrapolé à tous les vers de terre présents, ce serait au moins 80 % de l'azote parvenant aux végétaux qui transiterait d'abord par le métabolisme des lombriciens. Ce mécanisme, probablement très ancien mais nouveau pour la science, n'est pas contradictoire avec les connaissances antérieures et pourrait être mis à profit pour la fourniture d'éléments

nutritifs sous des formes nouvelles. Incontestablement, une observation effective *in situ* d'un transfert d'azote entre deux compartiments biologiques du sol et dans ce sol donne un éclairage nouveau à un vieux problème.

#### Les propriétés physiques du sol

On sait depuis longtemps que la structure d'un sol de culture dépend des agrégats formés par des éléments minéraux cimentés par une gomme essentiellement organique. Ces agrégats organo-minéraux ont une vie relativement brève en raison de la décomposition organique et se délitent surtout lorsqu'ils sont noyés dans l'eau.

Des difficultés croissantes sont apparues en grande culture industrielle où cette structure s'est considérablement dégradée. Corrélativement l'écoulement de l'eau, dépendant en partie des pores laissés entre les agrégats, est devenu problématique et des mécanismes érosifs se sont souvent développés. On attribue classiquement ces difficultés à la rareté des apports organiques en agriculture intensifiée et à l'insuffisance de travaux d'hydraulique corrigeant le drainage. Toutefois, d'une part, l'apport organique ne peut seul corriger ce défaut car il faut un mélange intime en dessus du millimètre entre cet apport et les minéraux. D'autre part, le drainage n'est opérant qu'au niveau du drain dans les excès d'eau: l'infiltrabilité au niveau d'une tranche de sol est un autre problème.

En fait, depuis quelques années, la généralisation de l'emploi de certains nouveaux pesticides a entraîné une diminution, même une quasi-éradication des lombriciens, cette diminution faisant suite aux dépopulations résultant de méthodes culturales, labour notamment. Cette quasi-éradication a arrêté le travail de brassage organo-minéral des lombriciens qui, par centaines de tonnes par hectare, renouvellent annuellement les fragiles agrégats, fait signalé dès 1829 par le belge Charles MORREN «*Solita lumbricorum alimenta videntur esse terra cum certa humi quantite conmixta*». Ce dépeuplement a stoppé le renouvellement des micro-drains que les lombriciens creusent par milliers de kilomètres/ha, permettant de compléter au niveau du profil du sol, l'assainissement des drains. Manifestement, dans les interprétations à l'honneur, le message de DARWIN sur le rôle des lombriciens a été perdu.

Or! des recherches développées notamment à Gembloux par HENNUY, GASPARD et FRANKINET [1983] et beaucoup d'autres montrent que des pratiques culturales évitant le labour grâce au semis direct et écartant, par chance, les pesticides dangereux, permettent la reconstitution du cheptel lombricien et de tirer profit de ces animaux. Nous avons pour notre part cherché à utiliser les lombriciens en les introduisant dans des zones où ils faisaient défaut, avec si nécessaire, des techniques d'accompagnement, tel le chaulage en zone acide. En polders argileux, des premiers résultats montrent que l'infiltrabilité peut être considérablement accrue... de l'ordre de 100 fois.



### La contamination chimique cryptique des sols

Le développement de nos activités industrielles et agricoles a conduit à libérer dans nos sols, consciemment et souvent inconsciemment, un grand nombre de molécules qui elles-mêmes, par réaction, donnent de nombreuses autres molécules. Ces apports peuvent se faire par les voies les plus variées — tel l'exemple présenté ici-même par J.P. LUMARET — d'un apport d'helminthicide par le crottin d'un seul cheval traité par le vétérinaire et entraînant la mort de dizaines de milliers d'insectes coprophiles importants dans le recyclage de la matière organique.

Ces effets de toxicité aiguë ne sont nullement systématiquement étudiés pour les premiers commensaux de l'homme que sont les lombriciens. Mais beaucoup de produits ont des effets beaucoup plus pernicioeux. Ainsi des toxiques peuvent être facilement mis en évidence par des invertébrés du sol sensibles comme l'a montré LEBRUN [1980] avec des insectes collemboles, mais on peut aussi directement déceler les produits dangereux, cancérogènes ou tératogènes, grâce à l'intestin du sol que constitue le ver de terre qui traite également les substances liposolubles et hydrosolubles, les métaux lourds, les PCB [TARRADELLAS *et al.*, 1982], la dioxine, etc. L'intérêt de ces études par dosage dans les lombriciens est surtout d'isoler aisément des produits qui circulent effectivement dans les cycles vitaux et ne peuvent être appréciés par l'analyse globale «astrucurée» du sol. Nous avons ainsi mis en évidence, par exemple, de 17 à 176 ppm de cadmium dans un sol n'en ayant que des «traces».

Il faut ici prendre conscience des dangers d'accumulation dans les sols. Ce milieu est par excellence un réceptacle et un accumulateur des substances et il ne perd celles-ci que par voie hydrosoluble dans les végétaux récoltés ou dans le réseau hydrique, ou par quelques particules entraînées par les vents et l'eau. Rappelons que l'effort d'épuration des eaux produit des boues qui avec d'autres déchets urbains et les fumées industrielles aboutissent au sol qui nous nourrit. La surveillance des contaminants du sol révèle des niveaux alarmants dans ces lombriciens qui se nourrissent de la matière organique morte et des micro-organismes, mais nourrissent à leur tour oiseaux, mammifères et poissons. Ainsi une chaîne alimentaire lombriciens → aliments de l'homme via les gibiers et la pêche recycle des contaminants du sol dont notamment les substances lipophiles, comme le DDT, PCB, HPA, ... Il y a ici danger considérable d'accumulation que ni les brûlures des végétaux — comme pour les pluies acides — ni les associations de pêcheurs — comme pour la pollution aiguë des cours d'eau — ne préviennent: le sol devient par son inertie même un accumulateur constituant une menace évidente, une bombe à retardement que l'étude cohérente des invertébrés du sol devrait contribuer à désamorcer.

En fait, la prise en compte des animaux du sol implique l'étude de leur rôle dans le contexte des champs, que ce rôle soit étudié sur un processus détaillé, comme l'échange d'isotope de l'azote de FERRIERE [1986] ou une approche plus globale, proche des préoccupations des praticiens, comme la recherche phytotechnique et zoologique à Gembloux; il faut des faits acquis

au terrain, ce qui évitera un oubli aussi grossier que celui du premier animal commensal de l'homme dont MORREN disait pourtant dès 1849 «*Ed minimis, parvienes ad maxima*».

Mais la synthèse objective de ces faits reste très difficile : c'est un travail de longue haleine où le zoologue peut contribuer à l'agro-écologie en intégrant ses connaissances de façon explicite dans des outils de comparaison avec la nature, que l'on appelle modèles. Ces modèles peuvent être plus ou moins sophistiqués mais en tout état de cause doivent avoir deux propriétés :

— Il doivent être factuels, c'est-à-dire, fondés sur des données découlant effectivement de l'objet d'étude observé voir mesuré.

— Ils doivent être réfutables, c'est-à-dire, que leurs résultats de simulation de la nature doivent pouvoir être vérifiés au terrain. C'est la condition même d'une démarche scientifique.

Nous nous sommes attaché pour notre part à ce travail d'intégration du Rôle Agronomique et Ecologique des Lombriciens, depuis 1975 et nous sommes juste au stade des premières simulations. C'est dire le travail considérable pour pénétrer le sol réel et tendre à en figurer les mécanismes — que ce soit les brassages zoologiques de terre, les incorporations de matière organique, les débits d'éléments nutritifs, de substances toxiques ou les facteurs régulant le niveau des peuplements ou réglant l'intensité des actions lombriciennes.

C'est aussi dire qu'il n'est matériellement pas possible de faire un tel travail partout. Ceci pose le problème de l'interpolation des résultats entre les emplacements où ils ont été acquis ou vérifiés — emplacements qu'il faudrait par ailleurs logiquement sélectionner.

Sélectionner oui, mais sur quels critères? Jusqu'à présent, les diverses disciplines ont avancé isolément leurs critères, pertinents certes mais partiels. Il est possible sinon aujourd'hui, mais dans un très proche avenir, de référer le fonctionnement d'un système agro-écologique au système lui-même sans critères *a priori*.

Ce travail de recherche, en cours, s'appuie sur de vieilles données. Il s'agit d'une masse d'informations considérables acquises par une coopération exemplaire orchestrée par le Professeur Jean LECLERCQ en 1972. Il m'avait alors, en regroupant les compétences de plusieurs chaires de cette Faculté, mais aussi d'autres laboratoires de Gembloux et Louvain, permis une étude exhaustive de 199 localités de Belgique, à la fois de leur flore, leur sol, leur faune, leur topographie, etc. Il a résulté de cette coopération quelques travaux préliminaires, mais surtout un énorme fichier encore mal exploité aujourd'hui : nous n'avions alors ni les machines, ni les logiciels, ni finalement les concepts pour en tirer tout le parti. Il fallait notamment abandonner le point de vue du spécialiste, par exemple, classer les animaux par rapport aux autres variables du milieu. Il fallait ordonner l'ensemble des biogéocénoses en regroupant toute l'information disponible. Ce qui est possible, notamment par un classement en Analyse des Correspondances. Reste à savoir si les

321 descripteurs utilisés sur chaque point d'étude suffisent à décrire le système globalement, au sens de HAECKEL; si ce n'est pas trop et si oui, quels sont les plus pertinents. Ce travail est en cours.

Ainsi, les recherches tendant vers une intégration de plus en plus grande des connaissances sont fortement facilitées par les outils modernes de synthèse. Ces outils sont encore en cours de développement comme les bases de données relationnelles, l'intelligence artificielle, etc.

Ainsi aussi, la possibilité potentielle de synthétiser par intégration, dans des modèles factuels et écologiques, les données tant descriptives que fonctionnelles, dont des modèles transportables, existent. Nous avons également la possibilité logique de connaître le domaine d'application ou plus exactement les limites à l'interpolation de ces modèles.

Depuis 125 ans, dans le cadre de cette Faculté et plus généralement depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, l'agronomie s'est dotée de bases scientifiques de plus en plus performantes. Une approche de plus en plus spécialisée, morcelée, a été garante d'une certaine efficacité, mais rançon du succès, témoigne de carences inquiétantes, voire menaçantes. Des secteurs entiers comme le sol complet réel des champs, dont ses invertébrés, sont négligés: sans infléchissement, cette situation est légitimement inquiétante.

Mais nous avons aujourd'hui la possibilité, si nous le voulons, par des élaborations de techniques d'observations directes au champ, par l'intégration et l'accessibilité de ces connaissances, d'aborder à la fois globalement et en détail l'étude des mécanismes naturels et des conséquences de nos actes techniques. Non, l'agronomie des champs est loin d'être arrivée à son optimum et l'on peut encore attendre beaucoup de cette biotechnologie, première historiquement, mais aussi première en importance. Elle peut, elle doit aujourd'hui dépasser le vieux problème d'un choix entre réductionnisme précis mais artificiel et holisme englobant la réalité de façon a-scientifique. Comme lors de la création de cette école, aujourd'hui une approche globale, précise et efficace est possible avec la performance des techniques modernes.

#### Bibliographie

- DARWIN C.R. [1837]. On the formation of the mould. *Proc. Geol. Soc. London*. 5, 505-509.
- DARWIN C.R. [1882]. Rôle des vers de terre dans la formation de la terre végétale. Ed. Reinwald, Paris, 1-264.
- FERRIERE G. [1986]. Mouvements naturels des éléments dans une prairie: quantification des échanges d'azote entre Lombriciens, sol et plantes. Doctorat d'Etat en Sciences, Univ. Claude Bernard, Lyon, 148 p. + annexes.
- HENNUY B., GASPARD C. et FRANKINET M. [1983]. Evolution des peuplements de Lombriciens selon le travail du sol. «New Trend in Soil Biology», Louvain-la-Neuve, Belgique, Ph. Lebrun, éd., 629-632.

- LEBRUN P. [1980]. A preliminary study of the use of some soil mites in bioassays for pesticides residue detection. *In*: D.L. DINDAL, «Soil biology as related to land use practices». Proc. VIIth Int. Coll. Soil, Zool., Washington, EPA 560/13 80 038, 42-55.
- MALTHUS T.-R. [1803]. Essai sur le principe de population. Ed. Gonthier, Paris, 1963, 236 p.
- MORREN C.F. [1829]. De Lumbrici terrestres historia naturali necnon anatomia tractatus. *Ann. acad. Gandavensis* (11 oct. 1826), Bruxelles, 1829, 1-280 (29 pl.).
- MORREN C.F. [1849]. De l'utilité des vers de terre pour l'agriculteur, l'horticulteur et le géologue. *Ann. Soc. R. Agric. Bot. Gand* 5, 273-279.
- TARRADELLAS J., DIERCXSENS P. and BOUCHÉ M.B. [1982]. Methods of extraction and analysis of PCBs from earthworms. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 13, 55-67.
- VERHULST P.F. [1838]. Notice sur la loi que suit la population dans son accroissement. *Corresp. Math. et Phys.* 10, 113-121.

