Publ. 134

In : ACTA, 1984 - Faune et flore auxiliaires en agriculture. Journées d'études et d'informations, 4-5 mai 1983, Paris, 105-117.

FAUNE ET FLORE TELLURIQUES : LEUR CONTRIBUTION À LA FERTILITÉ DU SOL.

EXEMPLAIRE RESERVÉ

M.B. BOUC
CEPE-CNRS, Mo
inra Montp

Une spéculation agricole porte sur des productions végétales ou animales. Au cours d élaboration, les futurs produits sont environnés par d'autres êtres vivants dont certain ravageurs des cultures – ont un rôle antagoniste, d'autres sont étroitement associé symbiose aux végétaux mais dont l'écrasante majorité joue un rôle plus gé compréhensible dans le cadre des agrosystèmes. Si les ravageurs, favorisés par les con culturales, peuvent parfois frapper l'esprit par leur pullulation et surtout leurs dégât biomasse active moyenne est normalement faible ou marginale. Vis-à-vis de l'ensemble flore ou de la faune, cette biomasse ne devient « importante » qu'à l'intérieur de c groupes précis (par exemple, parmi les Nématodes en prairie, les phytophages représ 38 à 62 % ; DOUCET, 1978). Les symbiotes eux-mêmes ne représentent qu'une infime fr de la vie édaphique (= du sol) mais offre un grand intérêt pratique (voir l'article de LE T page 119).

A cette énumération, ajoutons le cortège de parasites, prédateurs, hyperparasites qui directement ou indirectement aux dépens des phytophages. Ces organismes évidemment un rôle économique important par leur pouvoir de régulation des populatio ravageurs mais, dépendant nutritionnellement d'une biomasse très réduite, sont eux-m encore pondéralement marginaux. En fait, la biomasse dominante des auxiliaires micr ou animaux n'appartient ni au symbiote ni au ravageur ni au cortège associé à ces rava Cette masse dominante (tableau 1), ainsi négativement définie, n'est général

Tableau 1 - Part approximative du sol, de la flore et de la faune à l'hectare, en tonne, poids sec et en moyenne annuelle.
Ces ordres de grandeurs assez corrects pour les prairies sont surestimés pour les biomasses et nécromasses si l'intensification culturale croît.

	Partie aérienne	Partie soute (0 à – 20 de sol)
Matière minérale	0	5 300
Nécromasse (= matière organique morte, résidus, humus, contenu digestif)	3	220
Biomasse végétale active (les troncs ne sont pas pris en compte)	15	10
Biomasse microbienne (protistes : bactéries, champignons, protozoaires...)	ε	0,8
Biomasse animale (animaux métazoaires : bétail, insectes, vers...)	0,1	0,4

(1) 95 % environ d'auxiliaires phyto-libres.

pas prise en compte et n'est pas facile à qualifier. En raison du fait que l'on constate que, dans la pratique et les esprits, le mot auxiliaire des cultures est d'abord compris comme « classiquement évoqué comme utile aux cultures (symbiotes, prédateurs, parasites, abeilles) », il est nécessaire de bien distinguer cette catégorie oubliée – mais dominante par l'expression « auxiliaires phyto-libres » – pour souligner leur non inféodation aux plantes ou aux inféodés aux plantes ; leur chaîne trophique n'est pas constituée d'une série de biolytiques dépendant originellement de plantes mais est interrompue à un niveau ou à un autre par des saprolytiques (saprophages et saprophytes).

La plupart des auxiliaires phyto-libres vivent dans le sol de sorte que, si les biomasses végétales aériennes et souterraines s'équilibrent peu ou prou, l'essentiel de la vie microbienne et animale s'effectue dans le sol. Ces auxiliaires phyto-libres n'ayant pas d'intérêt direct ou d'inconvénients immédiats ont été peu ou pas étudiés d'un point de vue agronomique. Dans le sol ou leur observation est particulièrement difficile, la faiblesse de nos connaissances est grande même d'un point de vue fondamental. Pratiquement, les techniques agricoles, focalisées sur les objectifs de rentabilité « évidente », ont ignoré ces auxiliaires.

La situation a toutefois sensiblement évolué, semble-t-il, pour trois raisons complémentaires :
– les progrès que l'on pouvait espérer en cultures intensives ou dans les extensions en zones non cultivées préalablement (pays équatoriaux ou tropicaux) ont été freinés, voire remis en cause par la dégradation des qualités agronomiques de certains sols, et les surfaces en cause déjà importantes ne font que s'étendre ;
– le coût croissant des matières premières et, notamment, de l'énergie a ébranlé quelque peu les perspectives des agrotechniques classiques et leur mise en œuvre usuelle ;
– quelques-uns des inconvénients environnementaux de certaines agrotechniques ont été nettement mis en évidence et doivent être bon gré mal gré pris en compte.

La compréhension et les choix technologiques optimaux face à ces trois problèmes ne passent plus théoriquement par une série de relations simplistes du type action → plante → rendement (ou action → plante → élevage → rendement) mais par une étude intégrée action ⇒ agrosystème.

Il y a toutefois loin de la coupe aux lèvres... très largement, les relations simplistes restent celles qui savent être perçues et comprises habituellement, les « méthodes » d'intégration restant très souvent au stade des « compilations » et l'information nécessaire n'étant d'ailleurs souvent pas disponible. Toute interprétation correcte aujourd'hui devrait passer par une perception même grossière, mais équilibrée, intégrée et de cohérence démontrée, des éléments interagissant dans un agrosystème et ceci d'autant plus que nos interventions physiques ou chimiques sur le milieu ont une action drastique. Pour favoriser une prise en compte un peu moins biaisée des composants agronomiques, dans cet article, seront décrites, en traits généraux, la flore et la faune dans le sol. Ensuite, on s'efforcera de dégager quelques propriétés remarquables de cet ensemble biologique pour en sortir les traits généraux et, éventuellement, envisager d'en tirer parti.

Il est demandé toutefois au lecteur de conserver présent à l'esprit la nécessité de schématiser des caractères généraux et accepter la coupure arbitraire en spéculation principale, ravageurs, symbiotes et auxiliaires, phyto-libres ou non, qui implique que l'on sache la place effective des êtres vivants, ce qui est loin d'être aussi simple : une plante adventice peut être une mauvaise herbe antagoniste avec la culture et une source de matière organique utile au sol ou être encore le support d'un système de lutte biologique spontané !

Si dans un milieu donné, les systèmes de culture sont relativement simples (souvent une plante et une série limitée d'interventions), les acteurs biologiques sont terriblement complexes : c'est par centaines d'espèces (ou de souches) différentes qu'il faut caractériser les micro-organismes et animaux d'un kilo de terre arable de prairie. Afin d'éviter au lecteur une litanie relative aux différents groupes biologiques occupant les sols, le classement n'en sera pas évoqué : une bibliographie donnant accès à des sources spécialisées est donnée à la fin de ce texte.

Une fonction essentielle : la dégradation organique et l'humification

Rappelons que, pour l'essentiel, un écosystème introduit son énergie en fixant celle-ci dans des molécules organiques complexes grâce à la fonction chlorophyllienne. Les végétaux qui assurent ce rôle sont spécialisés dans la collecte d'éléments simples (même s'ils absorbent également des molécules organiques) essentiellement gazeux (CO_2, NH_3, O_2, ...) et en solution (N, P, K, Si, Ca, ...). A la suite de cette opération, ces éléments chimiques biogènes N, P, K, Ca, ... piégés dans les molécules organiques, deviennent indisponibles pour les plantes. La machine chlorophyllienne s'arrêterait donc faute de matière première si les molécules organiques ne se dégradaient pas, en partie, par réaction physico-chimique classique (feu, photolyses, chimiolyses, ...) mais aussi catalysées par les enzymes du sol, des endentères (= contenu du tube digestif) ou intra-organismes.

Ces dégradations – au sens d'une simplification moléculaire – libèrent les éléments chimiques préalablement piégés. Si ces dégradations interviennent hors des organismes (dans le sol, dans la partie extracellulaire des tubes digestifs, etc.), l'énergie est totalement dissipée. Si celle-ci intervient après assimilation (prise en contrôle biochimique) par un organisme, une partie de cette énergie de liaison pourra être récupérée par cet organisme pour effectuer ses propres synthèses. Ainsi les organismes non photosynthétiques peuvent, en présence d'énergie, absorber l'azote pour le réorganiser dans des molécules complexes. C'est la classique « fixation d'azote » après enfouissement de pailles. D'une façon générale, la matière organique suit des chaînes, en fait organisées en réseau de maillons, où les chaînons vivants alternent avec des maillons morts et/ou une partie non négligeable de la dégradation se fait hors des organismes dans la nécromasse (Bouché, 1978).

La vitesse d'évolution de cet ensemble dépend de nombreux facteurs, y compris des mises en réserve. De loin, la mise en réserve principale est celle de la nécromasse (tableau 1), celle des semences (0,1 à 25 g/m² environ déduit de Barbault, 1973) des micro-organismes ou des animaux étant comparativement négligeables.

Les organismes de la dégradation sont constitués, outre d'hydrogène et d'oxygène souvent largement disponibles, de carbone et d'azote dans un rapport C/N voisin de 5 à 7 (micro-organismes, vers de terre, nombreux arthropodes). Ils exploitent la matière organique d'origine végétale plus ou moins dégradée. Au départ, les végétaux fournissent un aliment souvent très riche en liaison énergétique carbonée (C/N > 30). On observe ensuite une lente dégradation dans le réseau trophique du rapport C/N de 40 à 9 ou 8, avec départ du carbone (sous forme de CO_2), les organismes dégradateurs utilisant surtout l'oxygène comme comburant et remobilisant l'azote mais aussi le phosphore qui est nécessaire à différents germes du cycle de l'azote. L'azote peut enfin être perdu par le sol (sous forme N_2, NH_4, NO_3, ...) ou gagné, notamment par la fixation symbiotique (voir l'article de Le Tacon page 119) ou non symbiotique ; cette dernière, utilisant l'énergie de la nécromasse ou celle de la lumière (photosynthèse de Cyanophycées), se développe particulièrement lorsque la carence en azote favorise les processus de fixation au niveau des micro-organismes. La libération intempestive (ou l'apport important) d'azote dans le sol peut donc entraîner des pertes alors que la grande raréfaction – dont souffre d'abord les plantes – « favorise » une certaine fixation.

Ceci n'est donné que rapidement à titre d'exemple. En fait, les éléments biogènes peuvent être sous trois formes : bloqués dans des structures organiques ou/et minérales (feuillets d'argile, etc.) ; assimilables par les végétaux (mobiles, mais de mobilité réduite), en cours de départ du sol notamment par lessivages (entraînement par les eaux) ou sous forme gazeuse.

Si l'incorporation dans des molécules organiques (biomasse et nécromasse) bloque à peu près (il y a des molécules organiques lessivées) les éléments en les maintenant dans le sol, leur libération par la biodégradation peut entraîner soit des pertes soit des maintiens, ce maintien étant assuré soit par l'assimilation végétale, soit par la réorganisation dans une biomasse microbienne ou animale, soit encore transitoirement par des liens physico-chimiques avec les fractions minérales des sols.

Tous ces processus très complexes, fort variables en un point ou l'autre de l'espace (même à quelques dixièmes de millimètres dans un sol) et dans le temps (effets des variables pédoclimatiques) ne peuvent être résumés ici que très grossièrement (tableau 2).

Mais la biodégradation a deux autres conséquences. Elle est le moteur d'un travail biologique du sol et celle d'une réorganisation des molécules organiques (figure 1). Le travail du sol est principalement la conséquence du travail des animaux qui utilisent une partie de l'énergie qu'ils ont assimilée pour se déplacer – avec une fraction de « sol » particulière, l'endentère (= contenu du tube digestif, i.e. jabots, gésier, œsophage, intestin, etc.) qui est déposée souvent fort loin des lieux de collecte. Il y a ainsi un déplacement dans les horizons des matériaux. Les animaux du sol sont constitués en biomasse par les vers de terre essentiellement (80 %) et, parmi ceux-ci, les anéciques (formes de grande taille) sont prépondérants dans les climats européens tempérés. Ces animaux sont les auteurs des turricules (tortillons) déposés sur le sol et représentant environ un dépôt de 70 t/ha/an de sol pour une tonne poids vif de lombriciens. Ils consomment la litière organique déposée à la surface du sol et ingèrent également différentes fractions de sol. Ils déposent également l'essentiel de leurs fèces dans le sol (≈ 230 t/ha/an) et maintiennent en fonction un réseau de galeries quasi verticales dont la surface développée est de l'ordre de cinq fois la surface terrière. Il y a donc un brassage entre les horizons que, par un concours de circonstances heureux, nous venons pour la première

Tableau 2 - Principaux processus bio-physico-chimiques de sols liés aux échanges nutritionnels (alimentaires et énergétiques) classés par ordre croissant d'importance (0, ε, +, ++, +++).

Processus tropho-énergétiques	Végétaux	Nécromasse	Micro-organismes	Animaux (lombriciens)
Accumulation d'énergie « biochimique »	+	−	−	−
Bilan des synthèses de macromolécules	+	−	−	−
Réserve d'éléments biogènes	++	+++	+	+
Immobilisation d'éléments biogènes	+++	+	+	?ε
Libération d'éléments biogènes	ε	+	+++	++
Brassage des horizons	+	ε	0	++
Mélange intime organo-minéral	+	0	0	+++
Formation des structures	+	ε	ε	+++
Conditionnement de la stabilisation	+	0	0	+++
Stabilisation des structures	+?	+	++	+?

fois d'estimer (BOUCHÉ, RAFIDISON, TOUTAIN, 1983). Il y a ainsi un « délessivage » du sol par remontée d'éléments des horizons profonds, par macro-brassage lombricien.

Cette activité se complète par un brassage intime minéralo-organique. Les lombriciens fractionnent et mélangent la matière organique intimement aux substrats minéraux – dans notre exemple, 1 000 g d'ingestat deviennent 854 g de fèces tandis que la matière organique > 100 µm diminue de 77 % et celle < 50 µm augmente de 40 %. Cette action favorise considérablement la vie microbienne. Ici une distinction très importante doit être soulignée : dans le sol, les micro-organismes sont des acteurs passifs. Comme tout être vivant, ils subissent les variables du milieu (climat, nutrition, antagonisme) mais, d'une façon générale, ils ne se développent en colonies que lorsque les conditions sont, à leur emplacement initial, bonnes et ils cessent leur activité avec la fin de ces bonnes conditions. Leur activité est dépendante des facteurs externes et, notamment, du degré d'épuisement (ou d'occupation concurrentielle) du substrat : elle dépend d'un conditionnement des substrats auquel les micro-organismes ne peuvent contribuer.

A l'opposé, les lombriciens, qui n'échappent pas, par ailleurs, aux contraintes vitales par leur mobilité créent, en partie, l'environnement microbien en « cultivant les micro-organismes » dont ils exploitent leurs colonies et leurs produits. Ce sont, comme la plupart des animaux métazoaires, des êtres actifs, mobiles, qui, grâce à cette activité, « recherchent » ou « créent » un environnement (particulièrement leur contenu intestinal) original. Le transit intestinal assure un micro-brassage, une pulvérisation, ensemençant les colonies microbiennes qui se développent ensuite dans les fèces... jusqu'à épuisement du substrat. Les lombriciens réingèrent alors leurs fèces, les réenrichissent en substrats énergétiques et relancent la machine microbienne. Cette coaction lombricien-micro-organismes est illustrée à la fois par l'importance des réingestions d'ex-fèces par les lombriciens (dans notre exemple, 53 % de leurs ingestats sont leurs ex-fèces) mais aussi, d'une façon plus générale, par le degré de décomposition-humification des sols hébergeant les anéciques (en général C/N < 13 ; BOUCHÉ, 1972).

Cette activité motrice des lombriciens a une troisième conséquence : la création de pédostructures particulières : les fèces sont à l'origine de nombreuses structures grumeleuses de sol et les lombriciens développent un réseau de galeries où circulent gaz, liquides et vie (racines, autres animaux) et où se développe, sur les parois de celles-ci, une importante microflore (LOQUET et al., 1977), de sorte que l'on a pu parler d'une vermisphère pour cette portion de sol travaillée et retravaillée par les lombriciens. Les racines et leurs colonies microbiennes associées (rhizosphère, symbiotes) colonisent d'ailleurs largement cette vermisphère. On a pu parler, sous cet angle, du rôle de « filtre biologique et énergétique » de la faune vis-à-vis du peuplement microbien (WAUTHY, 1982).

Outre cette formation structurale indiscutable, on a évoqué le rôle des lombriciens (notamment par des « mucus intestinaux ») dans la stabilisation structurale. C'est possible mais nullement évident tant les structures formées (galeries, fèces) sont envahies par des micro-organismes, des racines et sont le siège de réactions chimiques, enzymatiques ou non, hors-organismes. Intimement liée à la matière minérale, la matière organique s'humifie en effet et forme des liaisons organo-minérales d'origine complexe. Si la formation structurale est bien souvent nettement lombricienne, la stabilité dépend de nombreux facteurs co-agissant, parmi ceux-ci le « conditionnement stabilisateur » lombricien (mélange intime inframillimétrique organo-minéral, rajeunissement de la microflore).

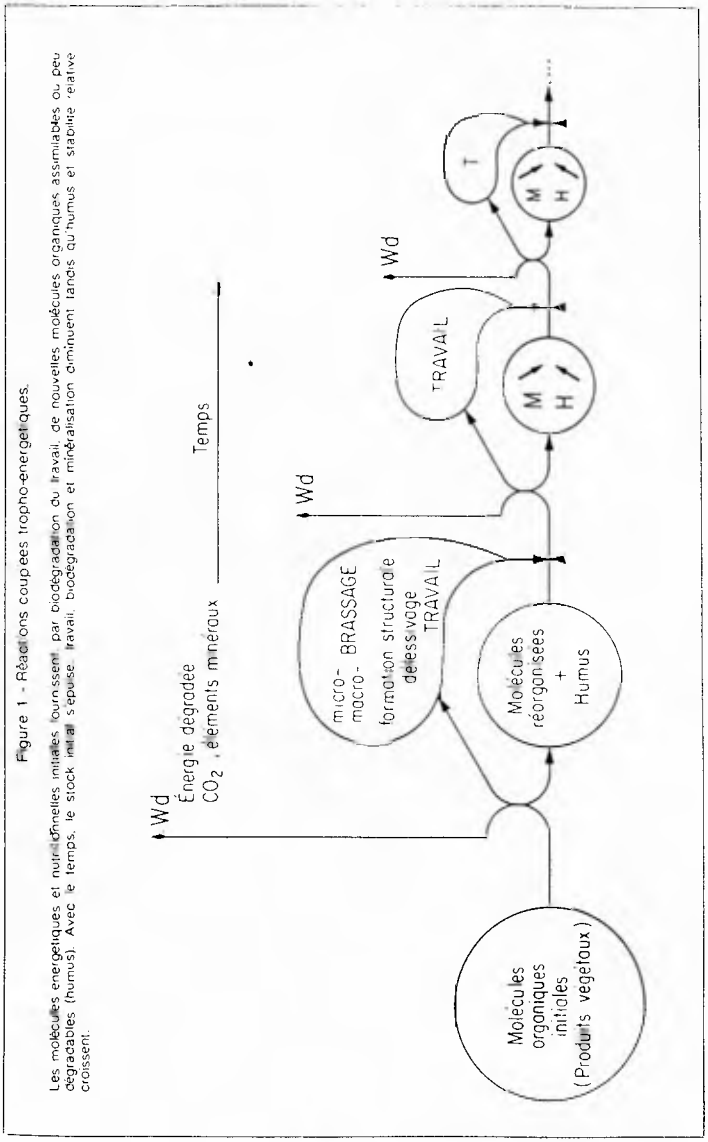


Figure 1 - Réactions couplées tropho-énergétiques.

Les molécules énergétiques et nutritionnelles initiales fournissent par biodégradation du travail, de nouvelles molécules organiques assimilables ou peu dégradables (humus). Avec le temps, le stock initial s'épuise. Travail, biodégradation et minéralisation diminuent tandis qu'humus et stabilité relative croissent.

Dans un tel contexte, les formes organiques, résistant à la biodégradation (humus complexe, plus ou moins polymérisé), sont peu à peu « sélectionnées » et, globalement, les sols à anéciques évoluent vers les humus doux stables (à C/N bas comme décrit ci-dessus). La formation des agrégats, leur conditionnement stabilisateur et enfin leur stabilisation s'accompagnent d'une évolution particulière de la matière organique, notamment d'une oxydation ménagée entraînant une sucrolyse caractéristique, celle périphérique aux agrégats étant différente de celle interne à ceux-ci.

L'influence de l'agriculture sur la flore et la faune

La complexité des pratiques agricoles s'ajoutant à celle de l'activité biologique dans les sols, il est impossible de traiter un sujet aussi complexe sans quelques simplifications.

Nous venons de voir que l'activité biologique a un effet sur :
- le recyclage des éléments biogènes,
- la distribution verticale de ceux-ci,
- le macro-brassage entre horizons du sol,
- le micro-brassage intime, inframillimétrique des substrats et la qualité structurale des sols.

Tous ces aspects sont importants en forêt et prairie permanente mais la possibilité que nous avons de faire des apports d'engrais et d'utiliser des engins aratoires relativisent les trois premiers points. Le dernier point est, par contre, particulièrement critique car non compensable par des techniques agricoles économiques.

De fait, une dégradation croissante de sols de grande culture (particulièrement ceux dont la texture est « prédisposante »... comme les sols argileux) s'observe et est même considérée comme alarmante, la fertilité de ces sols étant remise en cause.

On a constaté la diminution, bien réelle, du taux de matière organique des sols – celui-ci étant en principe lié à la stabilité structurale – et on a proposé, pour corriger ces difficultés, de faire des apports de matière organique. Cette « solution » coûteuse, nécessaire souvent, ne pourrait toutefois n'être qu'un pis-aller car il n'est pas certain que la réduction des apports organiques au champ soit la cause de la diminution de leur teneur en celle-ci. La principale source de matière organique d'un sol c'est d'abord les restitutions de la culture en place (racines, tiges, feuilles, exsudats, ...) et celles des adventices, y compris algues. Suivant les cultures, les exportations effectuées ne sont peut-être pas la cause première de cet appauvrissement. Ces exportations ont toujours été pratiquées... et ces dégradations sont récentes. Les retours d'engrais organiques, évidemment positifs globalement (notamment par leur restitution minérale !) sont, par rapport aux restitutions organiques des résidus de cultures, relativement restreints (l'apport moyen annuel est souvent inférieur à 2 t poids sec de matière organique, il est, de toute façon, très inférieur aux restitutions *in situ*).

On peut penser que trois facteurs influant les apports organiques ont été radicalement modifiés :
- l'usage d'herbicides qui aurait appauvri le recyclage de matière issue d'adventices et peut-être réduit la production photosynthétique globale (?),
- la multiplication des opérations aratoires et, notamment, des labours profonds entraînant une oxydation intempestive de la matière organique,
- l'usage de pesticides éliminant la fonction lombricienne.

L'usage des herbicides risque effectivement d'appauvrir qualitativement la nature des apports organiques au sol. On peut penser que, quantitativement, la culture bénéficiant de l'élimination du compétiteur compense la production organique. En termes énergétiques, il ne doit pas y avoir une grosse différence quant aux éléments biogènes ; si leurs apports ne sont peut-être plus exactement semblables... leur prélèvement est également différent puisque les adventices ne font que « recycler » ceux-ci. On peut penser, d'autre part, que l'usage important des engrais minéraux a favorisé également la croissance végétale y compris la fraction non prélevée, de sorte que l'évolution de l'agronomie récente, hors pratique particulière, n'a pas réduit les apports annuels organiques quantitatifs au sol, bien au contraire. Faute d'étude intégrée, il est difficile de savoir si la qualité (diversité) des apports végétaux joue un rôle sur la faune et la flore auxiliaires et d'apprécier correctement cet aspect du problème.

L'effet des pratiques aratoires est, par contre, bien connu, le labour en aérant et mêlant par masses importantes (centimétriques sinon décimétriques) crée un substrat en situation d'oxydation chimico-microbiologique rapide et appauvrit ainsi les sources alimentaires disponibles pour les animaux. Les lombriciens ne sont plus que partiellement indispensables à la réactivation des colonies microbiennes en présence de ces agitateurs mécaniques. Le

labour réduit toujours sensiblement les populations lombriciennes (généralement au quart ou au cinquième) par exemple dans une prairie (figure 2). Il en découle la constitution de masses organiques enfouies à côté de blocs de sol organiquement pauvres et périphériquement oxydés, une absence de formation d'agrégats et, faute d'un mélange intime minéral organique, une stabilisation mauvaise de ceux-ci par les micro-organismes (les racines et les animaux) (tableau 3). La dégradation oxydatrice tend à détruire une part plus importante de matière

Figure 2 - Etude semi-quantitative.
Evolution de la biomasse observée par la méthode au formol (d'après Bordeau 1982).

prairie témoin voisine (– évolution saisonnière des captures),
une prairie à faune riche (P) est labourée (L) puis cultivée en maïs (M) (– effet de mise en culture)
(gpph biomasse en grammes d'animaux frais à tube digestif plein

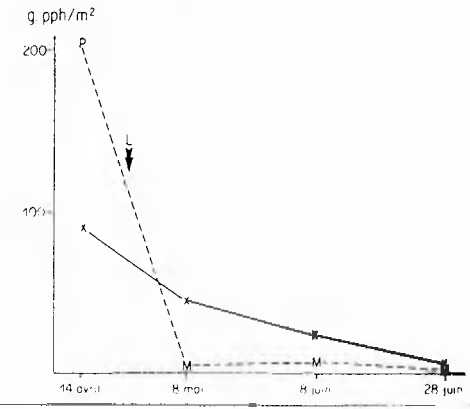


Tableau 3 - Comparaison globale des brassages mécaniques et biologiques du sol.
Importance relative des phénomènes :
de négatif (–) à nul (0) à positif par ordre croissant (+, + +, + + +).

Caractéristiques techniques	Travail des lombriciens	Travail de la charrue
Dépenses énergétiques	0	+
Investissement matériel	0	+
Main d'œuvre	0	+
Aération superficielle (– 20 à – 40 cm)	+	+ + +
Aération profonde (< – 20 à – 40 cm)	+	0 à –
Semelle de labour	0	+
Remontée des horizons profonds	+	0
Oxydation = biodégradation étalée dans le temps	+ + +	+
Activation de la libération des éléments biogènes pendant la végétation	+ +	0
Enfouissement en masse organique (= asphyxie locale éventuelle)	0	+
Mélange intime (infra-millimétrique) organo-minéral	+ + +	+
Structuration	+ + +	+ ou –
Désherbage	0	+ + +
Préparation des façons culturales	0	+ + +

organique au détriment de l'humification. Les zoopores (galeries verticales notamment) tendent à se réduire et les semelles de labour tendent (mais tendent seulement) à s'étanchéifier. A l'inverse, l'adoption de pratiques aratoires réduites ou supprimées (semis direct) améliore le niveau du peuplement lombricien (figure 3) et corrélativement les galeries verticales (BAUNER, ETIEN, 1979). Toutefois, le labour en lui-même n'annule pas l'action lombricienne et les semelles de labour restent perméables grâce aux perforations des anéciques, voire des lombriciens endogés.

L'usage de certains pesticides et, notamment, de fongicides cupriques et de carbamates entraîne la quasi éradication des lombriciens dans les sols de grande culture. Faute de moyens, il n'a pu être effectué que quelques sondages qui confirment les (rares) observations étrangères (figure 4). La liste des pesticides géodrilicides est elle-même inconnue faute d'étude (BOUCHÉ, FAYOLLE, 1981) quoique cette situation puisse changer. L'usage de la bouillie bordelaise (pesticide géodrilicide = destructeur de vers de terre) est ancien et a entraîné effectivement une destructuration importante des sols de vergers et de vignes. Ce qui est nouveau, c'est la généralisation de certains carbamates en grande culture (bénomyl, carbofuran, ...) dont les effets semblent indéniables dans la périphérie du Bassin parisien. Cette pratique, relativement nouvelle, a entraîné, semble-t-il, en huit à dix ans, une dégradation des sols les plus sensibles (texturalement prédisposés).

Il est assurément difficile de tirer une démonstration définitive et une conclusion impérative, d'abord faute d'études et, singulièrement, d'études réellement intégrées où les divers points de vue des « spécialistes » soient comparés non pour être confrontés mais pour en dégager la cohérence beaucoup plus importante que l'on croit, ensuite, en raison de la variété très grande des situations locales. On peut, certes, évoquer le poids croissant des machines ou la rareté des restitutions organiques au sol, la correction de ces deux paramètres ne peut faire de mal bien au contraire.

Figure 3 - Effet des façons culturales (d'après HENNUY, 1982)

Biomasse lombricienne observée (en poids, tube digestif plein, matière sèche) dans des parcelles à assolements normaux mais avec labour (L) (25-30 cm) ou seulement déchaumage (D) ou semis direct après herbicides totaux (SD) (méthode lo-bl$_{50}$, formol suivi de bêche-lavage)

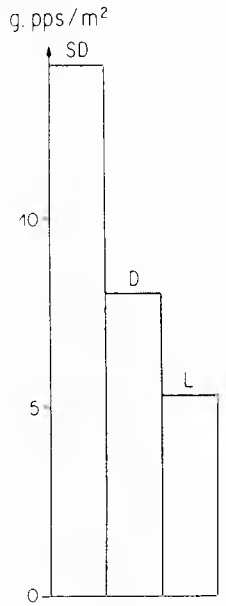
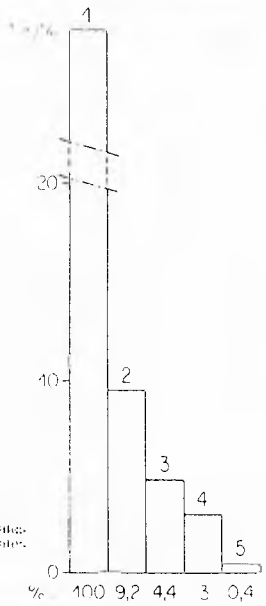


Figure 4 - Enquête comparative (méthode formol) de la situation des biomasses en grande culture par rapport à des références voisines « toujours en herbe » (d'après CANCE, 1981)



1 : 100 % = 2 maïs, 3 : orge
4 : blé ayant reçu 150 g de mat./ha de fongicides carbamatés
5 : blé ayant reçu 220 g de mat./ha de fongicides carbamatés

Mais une réflexion un peu plus complète sur l'ensemble des phénomènes du sol montre tor que les apports organiques spontanés (restitution *in situ* des résidus de culture) o additionnels (fumures organiques) ne peuvent avoir que des effets limités, si tout est fait pour qu'étant dans le sol, tout se passe pour que formation d'agrégats, de galeries verticale d'écoulement et aération, stabilité structurale et humification, soient déprimés au profit de l dégradation oxydative intempestive de matières organiques mal intégrées. Quoique ma estimés, il est probable qu'en raison de l'usage des engrais minéraux les apports organique des résidus de cultures ont peu diminué voire augmenté. Il est certain que les pesticides, avec les doses de la pratique, n'ont pas changé radicalement les aptitudes des micro-organisme au champ (par exemple pour le lindane ; Tu, 1975). Agents passifs et flexibles, les micro organismes remplissent toujours, à leur niveau inframillimétrique, leur rôle. Ce qui a chang c'est l'état de la lombricofaune, la destruction accélérée de la matière organique et sa trè mauvaise distribution (au niveau inframillimétrique) dans le sol. On peut aussi penser qu l'augmentation de la lourdeur (= puissance) des tracteurs est en partie conséquente de l dégradation des sols... Tout un agrosystème de la dégradation des sols est aujourd'hui à l'œuvre (figure 5). Que l'on réfléchisse au fait que beaucoup de prairies, sans apport organiques, mais avec une exportation de 20 à 30 % de celle-ci par les coupes ou le bétai (qui la « brûlent » sur place), ce qui est supérieur à beaucoup de céréales, améliorent leu structure et leur stock organique.

Il est de tradition, dans bien des régions sensibles, de compenser les effets du labour par des prairies temporaires (Chalosse argileuse, par exemple) avant de repasser au labour. Or les prairies sont aussi les zones à haute activité faunistique (souvent 1 à 2 tonnes/ha quand ce n'est pas 4 tonnes de lombriciens). Cette faune y assure la formation des agrégats et favorisent la vie microbienne et racinaire dans le sens du stockage de matière organique stable (humus) et comme l'a montré MONNIER (1965) d'agrégats stables.

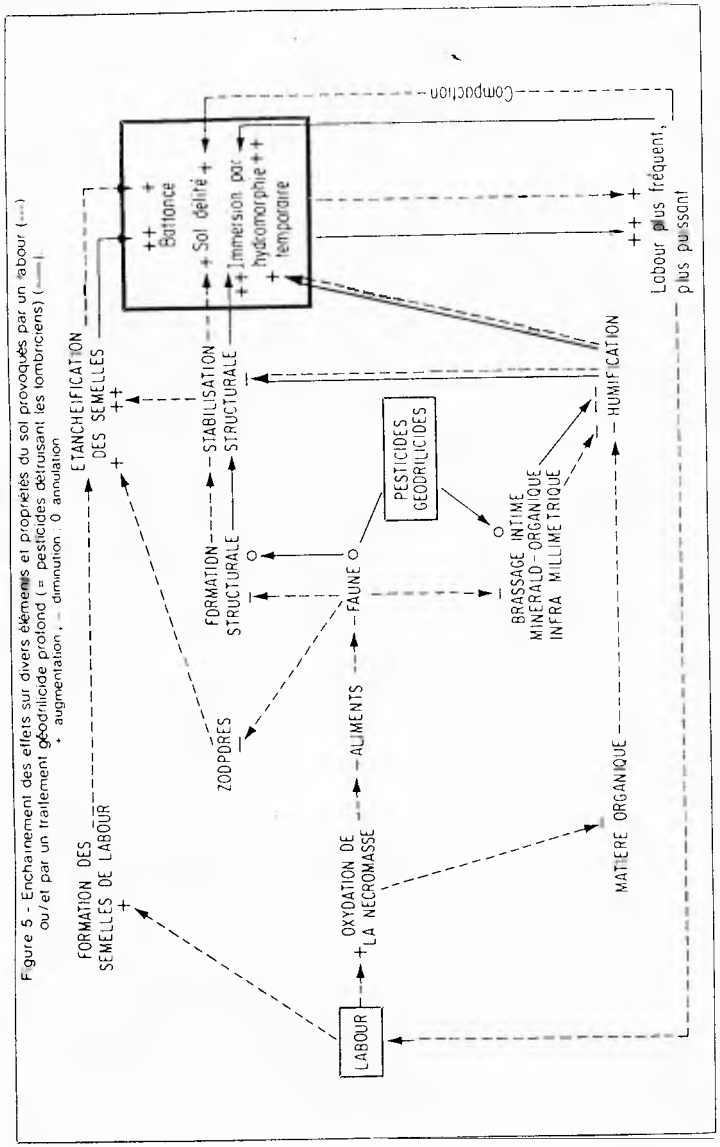


Figure 5 - Enchaînement des effets sur divers éléments et propriétés du sol provoqués par un labour (—) ou/et par un traitement géodrilicide profond (= pesticides détruisant les lombriciens) (—|).
+ augmentation, — diminution, 0 annulation

Perspectives en guise de conclusion

Il est énergétiquement inconcevable de réaliser des machines broyant et mêlant intimement à l'échelle inframillimétrique la matière organique et le substrat minéral au champ, impossible de créer une des conditions du lien minéralo-organique des agrégats, impossible de reproduire une stabilisation-humification par ailleurs classiquement effectuée dans les mélanges au laboratoire par des microbiologistes ou pédologues. Ces expérimentateurs, se substituant aux animaux, font le brassage et recréent les conditions d'une activité microbienne en conditions intimement minéralo-organiques et non simplement dégradatrices. Il est également impossible de reproduire, avec des appareils, les voies de pénétration linéaires ou réticulées utilisées par les racines, entre les agrégats à la surface du sol et, plus profondément, dans les galeries des animaux. Nous pouvons, par contre, utiliser sciemment les « machines lombriciennes » à notre disposition pour ces travaux. Cette machine utilise l'énergie de la biomasse végétale morte (nécromasse) en l'investissant dans le travail de formation des agrégats, de conditionnement microbiologique et de brassage des horizons.

Notre méconnaissance totale de l'activité biologique et particulièrement lombricienne dans la mise en œuvre de nos agrotechniques est très probablement à l'origine de nombre de difficultés actuelles.

On peut raisonnablement et souvent plus économiquement qu'actuellement (coût des interventions et des apports réduit, accompagnés ou non de rendements améliorés), infléchir nos pratiques agricoles en restaurant, ou protégeant, la fertilité de nos sols. Très largement, les taux de matière organique et la mauvaise structure des sols est anormale et devrait être correctible par quelques mesures simples :

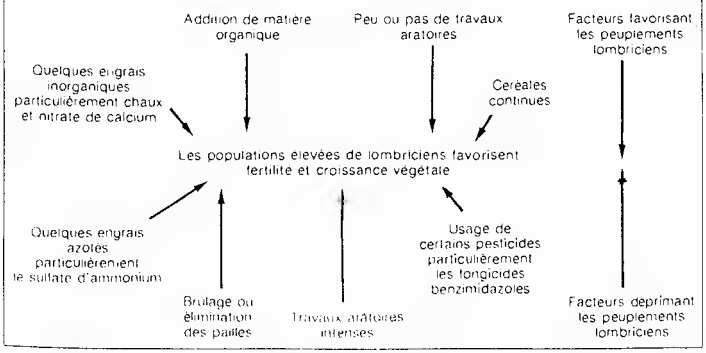
1. Éviter l'éradication faunique et particulièrement lombricienne (ce qui implique la connaissance de l'effet des agrotechniques et particulièrement des pesticides).

2. Restaurer le potentiel organique des sols,
a) si la condition 1 est respectée, par des travaux aratoires minimums, semis directs...
b) par réintroduction de lombriciennes et particulièrement d'anéciques, si le peuplement est très faible, déséquilibré ou nul en raison de malpratiques agricoles,
c) si la condition 1 est respectée, par une éventuelle rotation avec une prairie temporaire,
d) éventuellement un apport organique (ce qui ne dispense pas de 1., 2. a et b).

3. Dans le cas particulier de sol « naturel » à activité lombricienne faible ou de cultures inadaptées à la lombricofaune locale (exemple : résineux) : introduction de souches étrangères pré-adaptée ailleurs à ces nouvelles conditions (cf. travaux néo-zélandais en prairie ; SYERS, SPRINGETT, 1983).

4. Gérer le potentiel d'auxiliaires biologiques, particulièrement lombriciens (les micro-organismes suivent !) par des choix d'agrotechniques « favorisant » ceux-ci (figure 6).

Figure 6 - Schéma d'aide à une meilleure gestion des peuplements lombriciens (d'après EDWARDS, 1980).



Contrairement à des propos, ou des rapports, qui reprennent des données et des approches vieilles de 20 ou 50 ans, il faut réaliser que les études sur la fertilité des sols – et singulièrement sur l'activité biologique dans ceux-ci – sont possibles autrement que par une approche physico-chimique (ou d'« activité microbienne », ce qui revient au même). Il existe aujourd'hui des moyens d'étude de l'activité faunique cohérents, des méthodes fiables et des possibilités d'intégration de ces résultats à ceux que peuvent donner des disciplines pédologiques classiques. Ces outils impliquent évidemment une coordination cohérente des études car la vie du sol est une affaire globale qui échappe au point de vue étroit du spécialiste. Elle implique aussi une connaissance effective du sujet car les connaissances évoluent vite et ne sont pas accessibles dans des livres ou une bibliographie sommaire. En ce qui concerne les lombriciens, des techniques existent (l'introduction raisonnée n'est toutefois qu'en cours d'essai) et pour les divers aspects de biologie du sol intégrée, une réflexion assez poussée a déjà été entreprise depuis près de dix ans grâce à l'aide de la DGRST. Aucune des réflexions ci-dessus évoquées n'est utopique si ce n'est qu'elle implique une mise en œuvre bousculant sérieusement les approches réductionnistes qui prévalent encore présentement... et ont conduit aux difficultés actuelles.

BIBLIOGRAPHIE

ALLISON F.E., 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier publish. Amsterdam, 1-637.

BONNEAU M., SOUCHIER B., 1979. Pédologie 2. Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris, 1-459.

BOUCHÉ M.B., 1972. Lombriciens de France. Écologie et systématique. *Ann. zool. Écol. anim.*, Éd. INRA, n. s. 72-2, 1-671.

DICKINSON C.H., PUGH C.J.F. (eds), 1974. Biology of Plant litter decomposition. *Academic Press*, London, 1-775.

DOMMERGUES Y., MANGENOT F., 1970. Écologie microbienne du sol. Masson et Cie, Paris, 1-796.

GIESEKING J.E. (ed.), 1975. Soil components. I. Organic components. *Springer-Verlag*, Berlin, 1-534.

LEE K.E., à paraître en 1983. Earthworms: their ecology and relationship with soil. *Academic Press*, London.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BARNES B.T., ELLIS F.B., 1979. Effect of different methods of cultivation and direct drilling and disposal of straw residues on population of earthworms. *J. soil sci.*, *30*, 669-679.

BARRALIS G., 1973. Survie des semences de mauvaises herbes dans les terres cultivées. *Phytoma*, juillet-août, 25-30.

BORDEAU P., 1982. Etude des effets de quelques agrotechniques de la maïsiculture sur les lombriciens : essais méthodologiques et appréciation des conséquences. Mémoire ENITA Bordeaux, 1-75.

BOUCHÉ M.B., 1972. Répartition des vers de terre appréciée par le rapport carbone-azote dans les types d'humus en France. *In* C.R. du IV Colloquium Pedobiologiae, Dijon, sept. 1970, éd. INRA *Ann. zool. - Ecol. anim.*, 71-1, 481-493.

BOUCHÉ M.B., 1978. Discussion d'écologie. III. Transferts d'énergie entre maillons trophiques. *Bull. écol.*, *9*, 4, 289-299.

BOUCHÉ M.B., FAYOLLE L., 1981. Effets des fongicides sur quelques éléments de la pédofaune : conséquences économiques. C.R. 3e Coll. effets non intentionnels des fongicides. Paris, éd. *Soc. franç. phytiatrie-phytopharmacie*, 107-121.

BOUCHÉ M.B., RAFIOISON Z., TOUTAIN F., 1983. Alimentation réelle et brassage pédo-génétique du lombricien *Nicodrilus velox (Annelida : Lumbricidae)* dans une hêtraie vosgienne. *Rev. écol. biol. sol*, *20*, 1, 49-75.

CANAUD J.F., 1981. Contribution à l'étude des relations pesticides-lombriciens. Dangers et toxicités. Mémoire thèse ENITA, sept. 1981, 1-92.

DOUCET M.E., 1978. Estudio faunistico y ecologica de los nematodos del suelo en tres ecosystemas de pradera. Tesis doct. cienc. biol., Univ. nac. Cordoba (Argentina), 1-234.

EDWARDS C.A., 1980. Interactions between agricultural practice and earthworms. *In* D.E. DINDAL, ed. "Soil biology as related to land use pratices", Edition USEPA, EPA-560/13-80-038, 3-12.

HENNUY B., 1982. Etude de l'influence des techniques culturales sur les peuplements de lombriciens. Travail de fin d'études d'ingénieur agronome, Faculté des sciences agronomiques de l'État Gembloux, 1-130 + Annexes.

LODDET M., BOUCHÉ M.B., BHATNAGAR T., ROUELLE J., 1977. Essai d'estimation de l'influence écologique des lombriciens sur les micro-organismes. *Pedobiologia*, *17*, 6, 400-417.

MONNIER G., 1965. Action de la matière organique sur la stabilité structurale des sols. Thèse ing. doc., fac. sci., *Univ. Paris* 20/03/65, 1-140.

SYERS J.K., SPRINGETT J.A., 1983. Earthworm ecology in grassland soils. Proc. of Darwin centenary symposium (sous presse).

TU C.M., 1975. Interraction between lindane and microbes in soils. *Arch. Microbiol.*, *105*, 131-134.

WAUTHY G., 1982. Revue critique des relations entre la faune, la matière organique et les micro-organismes dans les horizons forestiers. *Agronomie*, *2*, 7, 667-675.