Rubl. 68

In Minist. Envir., contrat env. 84317, 1-14 + Tab.
1989

EXEMPLAIRE RÉSERVÉ

REORGANISATION DE L'AZOTE VIA LES LOMBRICIENS

par
M.B. Bouché, Laboratoire de zooécologie du sol, INRA CEPE/CNRS, Route de Mende, BP 5051, F-34033 MONTPELLIER

INTRODUCTION

Le programme de recherche a été entrepris sur la base de la justification suivante :

A côté d'un stock d'azote total, parfois considérable, mais relativement statique, il y a dans les systèmes culturaux une fraction d'azote dynamique représentant quelques centaines de kg/ha. La biomasse lombricienne participe par son existence même à une mobilisation sous forme organique ("réorganisée") de cet azote "dynamique" pour quelques dizaines de kg/ha. Il s'agit avec la matière organique morte labile, les micro-organismes et les plantes, de l'un des principaux stockages de cet azote "dynamique".

La mise en culture semble diminuer pratiquement toujours le stock lombriciens ; mais cette évolution peut être très modérée ou au contraire drastique notamment sous l'effet de certains pesticides : les voies de stockage de l'azote "dynamique" sous forme organique en sont donc, semble-t-il, modifiées. Il s'agit ici de vérifier et si possible de quantifier cette opinion et d'en déduire les conséquences sur la dynamique de l'azote.

Le plan de recherche proposé initialement a été respecté et sera suivi dans le compte-rendu. Dans le projet de recherche il était le suivant :

A. Etudier les stocks d'azote réorganisé sous forme lombricienne, dans des systèmes culturaux plus ou moins intensifs et dans des prairies.

B. Etudier le devenir de l'azote "lombricien".

I. STOCK D'AZOTE REORGANISE SOUS FORME LOMBRICIENNE

Au cours de cette année de travail, nous avons compilé le maximum d'information disponible sur l'état des peuplements de sols sous cultures ou sous prairie. Nous avons dû développer pour cela une importante recherche informatisée visant à effectuer la présente synthèse en s'appuyant directement sur les données originales. Nous avons enfin dû "attendre" des données nouvelles dont le traitement est en cours.

Ces données originales se rapportent normalement à des pesées individuelles de lombriciens capturés dans des prélevats de surface (collecte sur le sol par la méthode dite au formol) ou de volumes connus (tri des animaux prélevés avec des blocs de sol de dimensions connues). La taille de l'échantillon est présenté de manière globale par sa surface au sol (Tableaux I et II). Plusieurs centaines de milliers d'individus ont été pesés et déterminés.

Ces pesées individuelles sont associées à des déterminations d'espèces de lombriciens, des stades de développement (cocons, juvéniles,

...) et peuvent ultérieurement être rapportées aux catégories écologiques. Ces catégories écologiques nous permettent un regroupement des animaux par "mode de vie" c'est-à-dire par fonction. Il est en effet inutile au niveau d'une synthèse sur le cycle de l'azote de conserver la litanie des dénominations scientifiques latines et les détails des phases de croissance mais il est essentiel de ne pas confondre dans une "boite" unique, des animaux remplissant des rôles assez diversifiés en distinguant donc leurs fonctions.

Nous avons rapporté en outre une étude belge (Gembloux) dont nous ne disposons pas des données sous la forme analytique décrite ci-dessus. Les biomasses sont connues globalement et la ventilation par catégories écologiques faite après coup, sur la base des dénombrements, est plus imprécise. De même nous ne disposons pas encore d'une gestion élaborée par catégorie écologique de toutes les stations, des progrès techniques importants ... retardant des résultats. Nous ne présentons donc que des données par catégories partielles (Tableau II).

1.1. Lombriciens

Nous distinguerons ici 4 catégories :

LES EPIGES, animaux vivant en surface du sol dans les accumulations organiques : rôle de brassage organo-minéral nul, rôle de brassage organique et de digestion. Intense reproduction compensant des pertes élevées (aleas climatiques directs, prédateurs), en principe intense activité métabolique.

LES ENDOGES, animaux vivant dans le sol où ils brassent une matière organique déjà incorporée aux strates minérales, et où ils assurent leur fonction métabolique.

LES ANECIQUES, animaux de grande taille ayant des galeries subverticales. Ils assurent l'enfouissement de la litière, un brassage organo-minéral important (structure grumeleuse), un microdrainage profond (galeries ouvertes) et évidemment une réorganisation minéralisation. Ces animaux ont une régulation endocrine d'activité saisonnière avec léthargie obligatoire en juin-juillet.

LES EPIANECIQUES, fonctionnellement voisins des précédents mais sans régulation endocrine saisonnière. Si le sol est humide ils ont donc une activité maximale en été (en fait très anarchique selon les pluies).

Si tous les lombriciens sont donc des réorganisateurs de l'azote et des minéralisateurs, ils ne sont pas exposés de la même façon aux aléas de surface (surtout épigés), aux pesticides (épigés, épianéciques, anéciques) et ne remplissent pas le même rôle en drainage (épianéciques, anéciques, endogés) et en stabilité structurale des sols (anéciques, épianéciques, endogés). Les masses d'azote réorganisé par les lombriciens sont ventilées au Tableau I en fonction des catégories.

1.2. Agrotechniques

Les prélevats ayant fourni les données proviennent notamment de cultures industrielles, en général dans le cadre d'un assolement . Les populations sont souvent plus le reflet de ces assolements que de la culture en place au moment de l'observation, car les peuplements ont en général une

évolution lente.

Les prairies permanentes surtout, et d'une façon générale la surface toujours en herbe, sont des "témoins" de systèmes stables qui permettent de référer les cultures à une certaine situation d'"équilibre". Elles permettent dans une certaine mesure d'apprécier l'importance de l'élément pédoclimatique (climat, types de sol) quoique le mode de traitement de la prairie ait son importance. A ce dernier égard, et surtout pour voir l'impact des engrais nous avons comparé des prairies d'agriculteurs biologiques (école "biodynamique" : pas d'engrais mais des composts et des amendements globalement pauvres en N, P, K), des prairies conventonnielles (apport réduit d'engrais) et des prairies permanentes ou resemées intensifiées (INRA Haras du Pin). Dans ce dernier cas, nous avons étudié l'impact du semis direct.

1.3. Agrotechniques et stock lombricien d'azote

Le stock d'azote lombricien varie de traces (40 g/ha !) à des valeurs très élevées 62 kg/ha. Sous cette diversité, se cachent en fait deux grandes familles : les sols cultivés observés sur 18 peuplements très contrastés (40 g/ha à 44 kg/ha) mais ayant une valeur moyenne $\bar{x}$ = 8,64 (σ = 12,05) assez faible, tandis que les herbages où les travaux aratoires sont modérés (prairies artificielles) et les effets des pesticides modérés ou anciens (cycles cultures - prairies artificielles) ont une valeur moyenne importante $\bar{x}$ = 20,71 (σ = 15,9) cachant toutefois une diversité considérable. Les 48 herbages étudiés variant de 2,27 kg à 62;83.

On constate toutefois sur l'ensemble de l'espace non forestier "français" étudié (57 parcelles en France, 6 en Suisse, 3 en Belgique) qu'il y a en moyenne 17,4 kg N/ha sous forme lombricienne, représentant approximativemnt 1,250 T/ha de poids frais (tube digestif vide) de lombriciens.

On constate donc globalement une réorganisation importante de l'azote dans l'espace rural échantillonné avec une grande diversité expliquée pour une partie par le mode cultural.

D'autre part, les interventions humaines sont, vis-à-vis des lombriciens, parfaitement aléatoires ("positives" ou "négatives") car ceux-ci ne sont jamais pris en compte dans la décision de mise en oeuvre d'une agrotechnique (travaux aratoires, pesticides, semis, ...).

Les nombre d'interventions est beaucoup plus élevé en cultures qu'en prairies de sorte que l'on peut essayer de dégager les "causes" des réductions de peuplement sous culture, malgré les limitations techniques actuelles à une telle recherche.

1.3.1. Les engrais minéraux

Ceux-ci sont apportés de façon rationnelle en prairie au Haras du Pin (Orne, n° 2, n° 55-61, 65, 66) dans un climat doux et pluvieux mais sur un sol théoriquement hydromorphe (très argileux). La croissance élevée de l'herbe permettant une charge animale élevée (plus du double de la pratique locale : 2,3 UGB au Vieux Pin) est également favorable aux lombriciens, particulièrement anéciques et épianéciques (qui en retour assurent une excellente utilisation de l'énergie végétale perdue par structuration et microdrainage du sol) (LAISSUS, 1985).

Ceci s'observe également en Suisse (N° 20 à 25) où le peuplement est plus riche en anéciques + épianéciques et la biomasse plus élevée sous prairie conventionnelle, ayant reçu des engrais que sous prairie biodynamique.

1.3.2. Les travaux aratoires

Nous disposons pour cela des comparaisons effectuées en Belgique en cultures avec labour, simple déchaumage (ou demi-labour) ou semis direct (assolement : betterave, froment, fèverole (ou maïs), avoine ou orge). Avec des résultats agronomiques satisfaisants le semis direct, en limitant les oxydations intempestives dûes au travail mécanique et en laissant les anéciques "faire leur travail" d'enfouissement de litière, a permis une remontée des populations déjà nette avec le seul déchaumage (N° 27 à 29).

Ceci rejoint les conclusions pratiques de LAISSUS (1985) proposant l'abandon du labour en régénération prairiale et le développement de semis direct en co-action avec les lombriciens. Si les travaux aratoires entraînent une dépression des peuplements lombriciens, ils maintiennent généralement un peuplement complet appauvri de sorte que l'on pourrait régénérer une activité biologique convenable par substitution de la co-action herbicides - lombriciens à celle de labour.

Enfin, on observe un niveau de population lombricienne plus élevé effectivement après semis direct qu'après rotavator dans les essais de régénération prairiale (N° 59, 60).

1.3.3. Les pesticides

Notre connaissance de la toxicité des pesticides vis-à-vis des lombriciens est très partielle, cet effet n'étant pas étudié systématiquement. Le danger des produits (au champ) est encore moins bien connu, les dates d'applications, les conditions climatiques, les formes d'apports (gravité, dispersion, etc.) jouant un grand rôle.

Nous venons de voir que les herbicides sont souvent complémentaires à l'action lombricienne et que l'usage d'herbicides d'automne est même écologiquement et économiquement le complément de l'action lombricienne.

Toutefois, la toxicité, voire le danger, des carbamates a été reconnue très tôt et leur usage varié comme fongicides (Benomyl, BMC, ...), insecticides (carbofuran, ...), molluscides (mercaptodimetur) a conduit, par leur fréquence et addition aux effets des travaux aratoires, à des situations de quasi éradication lombricienne en grande culture.

1.3.4. Sols et agropratiques et itinéraires techniques

Nous venons ici de dégager les tendances générales qui marquent en fait une grande diversité, l'influence du sol et du pédoclimat pouvant rendre les populations lombriciennes tantôt très sensibles, tantôt assez indifférentes à une même agropratique.

En raison même du fait que les lombriciens ne migrent pratiquement pas entre parcelles, et que leur démographie est relativement peu galopante (surtout la catégorie anéciques, voire épianéciques, importante en biomasse et rôles), l'état d'un peuplement reflète également l'ensemble des effets agropratiques (positives ou négatives) assurément à l'intérieur d'un

En admettant que nos biomasses estimées ne varient pas au cours de l'année (les valeurs des stations n° 1 à 3 du tableau sont des moyennes annuelles, celles des stations n° 3 à 9, 21 à 25 des moyennes sur plusieurs estimations saisonnières, celles n° 10 à 20, 26 à 66 des sondages). (Les variaions sur de bonnes estimations sont également de l'ordre de + ou - 30 % sauf en terrain cultivé très intensifié : la rareté des animaux rend l'échantillonnage aléatoire). Nous voyons que l'azote débité par les lombriciens via leur excrétion varie de 1 à 1 750 kg/ha/an.

Les lombriciens libèrent également de l'azote dans le milieu sous forme de cocons, juvéniles ou adultes consommés par des prédateurs ou mourant pour des causes diverses. Cette émanation d'azote sous forme de tissus élaborés (= élaboration) dépend de la démographie des espèces encore très mal connues pour les espèces européennes. Divers auteurs ont essayé cette estimation que nous avons pu vérifier à l'aide de l'étude de la mortalité d'animaux marqués, relâchés in situ (taux de disparition), celle-ci conduit à un ordre de grandeur de 16,3 g N/kg B mph/an (BOUCHE, 1981), soit un renouvellement de 1,16 par an.

On peut retenir un débit annuel total de l'ordre de 30 fois la composition azotée moyenne in situ (29 fois par excrétion, 1 fois par élaboration).

2.2. Transit intestinal et mobilisation de l'azote

Peu de données réellement fiables au champ sont disponibles pour se représenter la réalité en termes de débit d'azote in situ dans le sol. Considérons toutefois celui qui transite par voie intestinale. Une étude précédente (BOUCHE, 1981) a permis de situer un ordre de grandeur de ce débit trans-intestinal annuel moyen par catégories écologiques et kilogramme de lombriciens. L'ordre de gandeur de l'azote transitant est par gramme d'azote de biomasse de l'ordre de 80-110 g/an, en adoptant des valeurs quelque peu arbitraires pour la composition des fractions organominérales stables et de la Matière Organique Libre (MOL) du sol. En général le comportement lombricien tend à réduire la quantité ingérée avec un aliment riche et relativement "assimilable" semble-t-il (MOL). Compte tenu du caractère très approximatif de ce genre de calcul un ordre de grandeur moyen de 85 g par gramme d'azote de la biomasse/an peut être retenu. Un tel ordre de grandeur peut paraître considérable mis ne tient pas compte du fait que le même azote peut être recyclé un grand nombre de fois par an et que la connaissance effective de l'émanation végétale de produits organiques (algues, exhudats, feuilles et produits tissulaires y compris racinaires), c'est-à-dire la source, n'est pas connue. D'autre part, on ignore la part d'azote minéral réorganisée par les microorganismes et réingérée par les lombriciens.

Au cours du transit intestinal LAVELLE et al. (1983) ont montré l'importance de l'excrétion intra-intestinale de substance albumoïde riche en azote, qui est réingérée dans la partie postérieure de l'intestin. Ceci confirme le flux d'azote excrété antérieurement dans la lumière intestinale de Nicodrilus velox et réassimilé postérieurement comme il apparaît du bilan fait in situ (BOUCHE et al., 1983) et initialement attribuée hypothétiquement à une éventuelle excrétion-réabsorption d'ammoniaque (à tort totalement ?).

Quoiqu'il en soit l'important flux d'azote par excrétion -

réingestion ne sort pratiquement du système lumière intestinale <--> lombricien, comme le prouve au printemps le marquage corporel des lombriciens (seulement 2,6 % des excrétats lombriciens sont par voie intestinale). (L'azote total des turricules ne provient alors que pour 1,3 % du métabolisme lombricien).

L'activité microbienne et enzymatique amorcée au cours du transit intestinal se poursuit dans les fèces de lombriciens, souvent riches en azote minéralisée, facilitant une forte réorganisation dans les fèces en cours de stabilisation (agrégats grumeleux des pédologues). De ce point de vue la digestion en rajeunissant par exploitation partielle et stimulation probable de la microflore, triturant les substraits et en entrainant des bouleversements chimiques, biochimiques et biologiques, permet aux microorganismes des fèces un rôle important, mais mal quantifié, dans la réorganisation de l'azote.

2.3.Schéma explicatif provisoire

D'une façon générale, le cycle de l'azote est perpétuellement couplé à celui du cycle du carbone en tant que support énergétique. Ce couplage est largement caractérisé par les réorganisations à bas C/N (< 8) à partir de substrats à haut C/N dont l'énergie, dégradée avec perte de CO_2 est le "moteur" de décomposeurs. Corrélativement, les matériaux à haut C/N (> 20) ont une dégradation relativement lente par carence d'azote. Les lombriciens en enfouissant les litières végétales fraiches mettent ces substrats énergétiques dans le sol, au contact des formes azotées "libres" (minéralisées) de celui-ci et le besoin microbien d'azote jouant (faim d'azote) ces formes solubles sont réorganisées et de ce fait immobilisées dans l'écosystème. Simultanément les lombriciens exploitent les formes à bas C/N (< 8) essentiellement les microorganismes, les condensats endocellulaires végétaux (tanins, etc) libérant cet azote abondamment par voie cutanée sous forme minérale ou/et organique (mucus) voir très partiellement, tissulaire (cadavres). Ils contribuent aussi à la formation de composés stables (peu énergétiques) et à la stabilisaton transitoire des agrégats ex-fèces (polysaccharides, ...).

Les vers de terre jouent un rôle moteur en réingérant leur propres fèces et l'azote réorganisé plusieurs fois sur des substrats de moins en moins énergétiques (C/N initial des végétaux décroissant) jusqu'au point où de minéralisations en réorganisations, cet azote aboutit sous forme minéralisée aux végétaux en croissance, notamment au printemps via le métabolisme lombricien. Nous avons la preuve de ces mécanismes de réingestion (BOUCHE et al., 1983) et de la décomposition différée des litières résistantes (marquées au 14C, cf. BOUCHE et al., sous presse).

Conjointement avec les microorganismes agissant avant ingestion sur les matériaux organiques, au cours de l'ingestion et après défécation (et avant réingestion), les lombriciens minéralisent la matière organique en produisant des excrétats directement assimilables par les plantes (ou réorganisables par les micro-organismes) tel l'ammoniaque et des composés très vite dégradés par les micro-organismes (mucus) ou les enzymes libres (urée).

Ainsi l'azote constamment associé dans les structures du sol avec un substrat organique réenrichi par des injections normales de substrat à haut C/N est-il localisé très intimement (échelle inframillimétrique) avec l'activité microbienne, lombricienne et racinaire. Ces trois activités étant

spatialement organisées dans les agrégats grumeleux issus des fèces lombriciennes (en prairie) ou sur les parois des galeries profondes. Ces structures sont tapissées de façon abondante au printemps par le chevelu pilifère des racines, le contact intime lombriciens --- plantes étant journalier. Il y a ainsi délivrance journalière, homéopathique, au contact des racines de doses d'azote assimilable (au printemps) et blocage de celui-ci dans des matières organiques riches en carbone à l'automne ("faim d'azote") bloquant celui-ci au niveau inframillimétrique.

L'important recyclage permanent de l'azote explique les quantités en mouvement dans le sol. Si les lombriciens jouent intrinsèquement un rôle de blocage très temporaire dans leur biomasse (cf. tableau), ils jouent surtout un rôle fondamental de distributeur temporo-spatial de l'azote en quantité modulée aux conditions thermohydriques du sol.

Il est à noter que la croissance végétale est, comme l'activité lombricienne, régulée par la température et des contraintes hydriques identiques (en terme de succion : pF) de sorte qu'il y a largement co-activité lombricienne, végétale et probablement microbienne.

III. EFFETS PHYSIQUES INDIRECTS DES LOMBRICIENS SUR LES ETATS DE L'AZOTE

L'existence d'une population lombricienne, et particulièrement d'anéciques et épianéciques, a une fonction physique importante qui modifie les conditions des régulations chimiques et microbiologiques de l'azote au champ. Nous ne pouvons ici que l'invoquer de façon qualitative (voir pour plus de détails, BOUCHE, 1984), mais les problèmes posés par l'économie de l'azote au champ oblige à une prise en compte de ceux-ci.

Il s'agit fondamentalement de deux processus complémentaires :

a) L'intégration intime organo-minérale dans le sol : résultat direct du brassage intestinal des matières organiques dans le sol (incorporé, pulvérisé, brassé, réorganisé) en présence de populations microbiennes : celles-ci entraînent une triple séquestration de l'azote,

- par incorporation dans la strate minérale à l'échelle microscopique (aucun rapport avec les travaux aratoires) limitant les "excès organiques" réducteurs, dénitrification, etc. dans un système poral aéré (agrégats),

- par réorganisation microbienne (puis éventuellement lombricienne) des formes solubles de l'azote dans ses agrégats,

- par échanges cationiques intimes de concentrations dispersés sur des chélateurs, argiles, etc.

b) Le microdrainage. Le système de galeries assure une infiltrabilité de l'eau de pluie éliminant les excès de celles-ci en profondeur. Des sols "hydromorphes" sont ainsi abondamment microdrainés (M. ASSAD, com. pers., Etude sur sol hydromorphe du Vieux Pin, en cours).

Les semelles de labour sont ainsi normalement perforées et les "nappes perchées" entrainant floculation et destructuration structurale des sols cultivés ne se constituent qu'en absence du microdrainage. Ces nappes perchées, souvent temporairement asphyxiques, recoivent les formes d'azote

hydrosoluble. Des nitrates se réduiraient en nitrites ce qui expliquerait les racines coupées puis fourchues des betteraves (KEILING, comm. pers.) et d'éventuelles dénitrifications. Ces processus seraient importants au printemps en période pluvieuse suivant des apports (même fractionnés) d'engrais (apports instantanément énormes au niveau microstructural). Ce scénario jouant sur l'hydrodynamique, l'évolution de l'azote et la structure du sol sont déduits, mais non prouvés et mériteraient d'être étudiés sérieusement.

CONCLUSIONS

Les problèmes relatifs à l'utilisation optimale des engrais azotés, à la pollution azotée (nitrate, nitrite, cyanures, ...) ou à la connaissance fondamentale du cycle de l'azote, ne peuvent être abordés de façon séquentielle par une série d'études analytiques hors contexte. Le contexte étant le sol lui-même non transposé en dispositif artificiel et les agrotechniques, toutes les agrotechniques qui agissent sur le sol.

L'approche nécessairement partielle, donc involontairement partiale, présentée ici, focalisée sur un bilan du rôle lombricien dans les agrosystèmes est nécessairement incomplète pour deux raisons :

a) la faiblesse des connaissances relatives aux lombriciens eux-mêmes, après la mise au point de méthodes aujourd'hui disponibles, n'est plus limitée que par les moyens d'étude,

b) le défaut de connaissances sur ce qui se passe dans les sols des champs de façon quantitative, factuelle et intégrable.

Malgré ces réserves essentielles nous nous sommes efforcés de faire un bilan :

a) de l'état de la lombricofaune dans les agroécosystèmes (excluant les forêts),

b) du rôle intrinsèque de ces animaux en tant que biomasse d'azote organique, en tant que régulateur d'un débit d'azote transmétabolique et transintestinal,

c) du rôle extrinsèque indirect induit par ces animaux par les modifications structurales et trophoénergétiques qu'ils induisent tant vis-à-vis des racines et des micro-organismes que des états de l'azote.

Ce bilan très inégal a pu s'appuyer sur des observations directes *in situ* sur cinq domaines :

1) le compartiment lombricien bien délimité , est assez bien quantifié, en fonction de diverses situations agronomiques, ce qui est exceptionnel pour un compartiment en biologie du sol,

2) la régulation d'activité lombricienne est observée également au terrain,

3) le débit d'azote transmétabolique est établi au printemps dans une prairie permanente,

4) le passage de l'azote des lombriciens aux plantes est également observé in situ ,

5) de façon plus spéculative, une approximation du transit transintestinal a été établie.

Les autres domaines sont beaucoup plus hypothético-déductif, telle l'extrapolation de la toxicité de pesticides (connue rigoureusement qu'au laboratoire dans un nombre réduit de cas), la fonction globale de travaux aratoires, les mécanismes intimes de la digestion, l'évolution supposée du devenir de l'azote hors les observations objectives au terrain des cinq points ci-dessus, etc.

On peut conclure toutefois :

1) Au plan des mécanismes :

1.1. que l'on observe une dégradation de l'activité lombricienne dans les cultures par rapport aux prairies,

1.2. que cette dégradation est d'autant plus intense que le nombre des interventions agrotechniques -présentement aveugles- croît, c'est-à-dire que l'on est dans un contexte "intensifié",

1.3. que les agrotechniques ont un rôle en fait très diversifié:

- l'apport d'engrais enrichissant le système est généralement favorable,

- les travaux aratoires ont globalement un rôle défavorable modéré,

- l'usage de pesticides intensif et aveugle a globalement un rôle défavorable pouvant conduire à la quasi éradication mais est en fait très diversifié (rôle "positif" des herbicides dans le couple labour/semis direct),

1.4. que les lombriciens aujourd'hui manipulables in situ constituent un compartiment du sol bien identifié, permettant sans perturbation du système une véritable endoscopie fonctionnelle du cycle de l'azote dans le sol. Cette endoscopie ayant révélé des mécansimes insoupçonnés et insoupçonnables par des approches morcelées,

1.5. plus déductif, l'azote est échangé,recyclé, organisé, minéralisé, réorganisé, plusieurs fois par an dans des microsites précis du sol, où racines, lombriciens et microorganismes interagissent en une fonction spatio-temporellement cohérente.

2) Au plan des bilans :

2.1. l'azote lombricien (organique) représente de 40 g/ha à 62 kg/ha, moyenne = 20 kg/ha,

2.2. le débit de cet azote à travers le métabolisme lombricien est très intense et régulé par la température, l'humidité et pour partie la photopériode en cohérence probable avec les régulations similaires des végétaux (et microorganismes ?),

2.3. le renouvellement d'azote corporel est effectué environ 30 fois l'an, 29 parties sous forme d'excrétion et 1 partie par élaboration de tissus lombriciens morts ou consommés. Par tonne de lombricien poids frais, il est d'environ 425 kg N/an,

2.4. le transit intestinal d'azote, plus hypothétique serait de l'ordre de 1,2 tonne N par tonne de poids frais de lombricien et par an. Cet azote trouvant son origine pour une part non négligeable dans les matières organiques fraîches libres mais aussi dans les matières organiques stables à bas C/N.

3) Au plan des pratiques :

3.1. agronomiques : la situation actuelle de dégradation structurale des sols et des cycles de l'azote est nullement irréversible, une prise en compte des mécanismes réels endogés dans l'appréciation des techniques conduirait probablement entre autres

a) à un choix de pesticides non géodrilicides (détruisant les lombriciens),

b) à favoriser le développement des techniques aratoires légères voire nulles (semis direct) en tenant compte de l'activité physique lombricienne généralement indispensable pour compenser ces non labours,

c) à une gestion plus intelligente au champ du couple source organique/azote ;

3.2. industrielles et agronomiques : le développement d'engrais nouveaux (azotés entre autres) non hydrosolubles mais intégrables par voie biologique (intégration régulée pour les besoins journaliers des végétaux réglés sur les conditions d'ambiance hygrothermiques) est envisageable. Il permettrait à terme d'éviter l'apport d'azote, nécessairement massif (face à un besoin journalier des plantes) et délocalisé par rapport aux structures d'échanges biologiques des sols ;

3.3. de recherches : l'étude de mécanismes in situ et de leur intégration cohérente devrait être entreprise selon deux axes :

a) l'étude des mécanismes fondamentaux devrait être abordée avant tout présupposé technique , l'empirisme ayant présidé au développement des techniques nous ayant conduit dans l'impasse environnemental et agrotechnique actuelle. Ceci suppose de donner priorité aux recherches reliant des compartiments naturels, idéalement non perturbés, marqués au N15 pour connaître les variations d'état et les débits efectifs à travers des sols ayant un équilibre biophysicochimique ancien. Connaissant ces mécanismes, il serait possible d'étudier ensuite les conséquences des diverses pratiques à commencer par les modalités d'apport de l'azote, actuellement essentiellement sous forme diffuse généralement dans le sol (alors que l'organisation biophysicochimique, racinaire notamment, est fondamentalement structurée) et sous forme hydrosoluble (nitrates, ammoniaque, ... alors que ces formes apparaissent comme très transitoires, labiles dans le système équilibré et que d'autres formes d'engrais pourraient être développés, cf. 3.2.) ;

b) une intégration des mécanismes, notamment par une modélisation factuelle (synthétisant directement des faits observés au terrain) et par la

gestion des informations d'état versus agropratiques. Une telle intégration est aujourd'hui possible et est développée par ailleurs (Appel d'Offres AGROECOSYSTEMES).

Connaissance explicite des mécanismes et gestion d'informations sont aujourd'hui indispensables pour passer de la situation actuelle, aveugle vis-à-vis du sol, à une maîtrise optimale de nos techniques mettant en oeuvre les engrais et particulièrement l'azote.

Dans ce contexte, les lombriciens, première masse animale, compartiment délimité, manipulables à l'extérieur de sols non perturbés, semblent particulièrement précieux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BOUCHE, M.B., 1975 - Fonctions des lombriciens. IV. Corrections et utilisations des distorsions causées par les méthodes de capture. In "Progress in soil zoology", C.R. Vème Coll. int. zool., éd. Academia Prague, 571-582.

BOUCHE, M.B., 1981 - Contribution des lombriciens à la migration des éléments dans les sols en climats tempérés. In C.R. Coll. int. CNRS "Migrations organo-minérales dans les sols tempérés", Nancy, 24-28 sept. 1979, 303, éd. CNRS, 145-153.

BOUCHE, M.B., 1984 - Faune et flore telluriques : leur contribution à la fertilité des sols. ACTA, C.R. Journées faune et flore auxiliaires en agriculture, 4-5 mai 1983, Paris, 105-117.

BOUCHE, M.B., Z. RAFIDISON et F. TOUTAIN, 1983 - Etude de l'alimentation et du brassage pédo-intestinal du lombriciens Nicodrilus velox (Annelida, Lumbricidae) par l'analyse élémentaire. Rev. écol. biol. sol, 20 , 1, 49-75.

BOUCHE, M.B. et G. FERRIERE, 1986 - Cinétique de l'assimilation de l'azote d'origine lombricienne par une végétation prairiale non perturbée. C.R. Acad. sci. Paris, t. 302, III, 2, 75-80.

BOUCHE, M.B., G. FERRIERE et P. SOTO, sous presse - Estimation du rôle des lombriciens dans la décomposition et la nutrition azotée en prairie. In C.R. Symp. int. sur les vers de terre, 31 mars-5 avril 1985, Bologne-Carpi.

FERRIERE, G. et M.B. BOUCHE, 1985 - Première mesure écophysiologique d'un débit d'élément dans un animal endogé : le débit d'azote de Nicodrilus longus longus (Ude) (Lumbricidae, Oligochaeta) dans la prairie de Citeaux. C.R. Acad. sci. Paris, t. 301, III, 17, 789-794.

HEIDET, J.C. et M.B. BOUCHE, sous presse - Régulation de l'activité lombricienne : influence de la température, de la photopériode et de l'humidité in situ sur l'indice de mobilité de Nicodrilus longus longus (Ude) (Lumbricidae, Oligochaeta). In C.R. Symp. int. sur les vers de terre, 31 mars-5 avril 1985, Bologne-Carpi.

LAISSUS, R., 1985 - Resemis des prairies permanentes sans labours préalables, après emploi de désherbants totaux à l'automne, favorisant l'action des lombrics pendant l'hiver, sur la structure du sol. C.R. Acad. agric. Fr., 71 , 3, 229-240.

LAVELLE, P., Z; ZAIDI et R. SCHAEFFER, 1983 - Interactions between earthworms, soil organic matter and microflora in an African savanna soil. In "New trends in soil biology", Ph. Lebrun et al. (ed). Proc. VIIIème Coll. int. zool. sol, Louvain la Neuve (Belgique), 30 août-2 sept. 1982, 253-259.

SATCHELL, J.E., 1963 - Nitrogen turnover by a woodland population of Lumbricus terrestris . In "Soil organisms", éd. North-Holland publ. co., Amsterdam, 60-66.

N°	Réf.	Nature	N lombric. kg/ha	Echant. m^2		N°	Réf.	Nature	N lombric. kg/ha	Echant. m^2
27	BELG A	Labour	3,1	x		47	P2425A	Prairie artific.	5,1	3
28	BELG B	Déchaumage	4,7	x		48	P2425B	Prairie artific.	9,4	3
29	BELG C	Semis direct	8,3	x		49	P2426A	Prairie naturelle	5,9	3
30	P2396	Prairie artific.	14,5	3		50	P2427A	Blé	0,9	3
31	P2397	Maïs	11,9	3		51	P2428	Prairie naturelle	6,6	3
32	P2398	Prairie artific.	4,6	3		52	P2429A	Prairie labourée	5,0	3
33	P2399	Prairie artific.	2,7	3		53	P2430	Blé	5,9	3
34	P2400	Prairie naturelle	5,4	3		54	P2431	Blé,Tournesol,Maïs	5,1	3
35	P2401	Prairie artific.	2,3	3		55	P1995A	Prairie artific.	39,4	3
36	P2402	Prairie naturelle	7,6	3		56	P1995B	Prairie permanente	27,5	3
37	P2404	Prairie naturelle	36,2	3		57	P1995C	Prairie permanente	61,8	6
38	P2405	Prairie artific.	10,1	3		58	P1995D	Prairie permanente	50,8	6
39	P2410	Prairie artific.	4,1	3		59	P1995E	Prairie rotovator	25,6	3
40	P2411	Maïs	8,1	3		60	P1995F	Semis direct	37,8	3
41	P2413	Prairie artific.	12,3	3		61	P1995G	Prairie permanente	29,0	3
42	P2416	Prairie naturelle	3,8	3		62	P1995H	Hersage,Maïs,Sevin	30,4	3
43	P2417A	Prairie artific.	26,3	3		63	P1995I	Semis direct,Maïs	44,2	3
44	P2417B	Prairie artific.	12,1	3		64	P1995J	Labour,Sevin,Maïs	23,3	3
45	P2418A	Prairie naturelle	24,5	3		65	P1995K	Prairie,Semis dir.	48,2	3
46	P2419	Maïs	3,3	3		66	P1995L	Prairie permanente	57,8	3