

## ECOLOGIE ET PARAECOLOGIE: PEUT-ON APPRECIER LE ROLE DE LA FAUNE DANS LES CYCLES BIOGEOCHIMIQUES?

M. B. Bouché

### Abstract

**Ecology and paraecology — Is it possible to estimate the role of the fauna in the biogeochemical cycles?** Presently correct estimates of the role of soil animals in nutrient cycling cannot be made both for intellectual and methodological reasons. The isolated study of compartments led us to take into account only metabolic activity and exchange. Nevertheless, by their movements and soil structuring (resulting from their activity) soil animals play a major role in the function of other compartments. Models have to take in account mechanical and structural roles of animals, i.e. to reflect the consequences of animal activity on other compartments in the cycles. From the point of view of methods, errors on monospecific local populations are from a few per cent and on metabolic activities of some order of magnitude; regulation interactions with other compartments are usually unknown or just descriptive. A really heuristic elaboration of the concept in conjunction with new techniques, satisfactory from an ecological point of view, could lead step by step to a description of animal roles in ecosystems.

### Introduction

Apprécier le rôle des organismes endogés dans les cycles biogéochimiques reste mal compris malgré les efforts importants coordonnés notamment dans le cadre du Programme Biologique International. "The influence on nutrient mineralization by the organisms *per se* and by interaction of soil fauna and microflora is still poorly understood" sert d'introduction à une session du 6ème Colloque International de Zoologie du Sol. Ce constat est grave car ses implications humaines, économiques et agronomiques sont considérables, car des bilans servant de maillons essentiels à la description de nos écosystèmes font concrètement défaut. On peut s'interroger sur une telle carence; emploie-t-on des concepts adéquats pour décrire la vie endogée? Pose-t-on des objectifs de recherches permettant un progrès? Développe-t-on des techniques adaptées? Nos modes de synthèses sont-ils enfin fidèles à l'objet d'étude?

En m'appuyant sur des travaux récents ou originaux ayant surtout trait aux vers de terre, je vais m'efforcer de dresser un bilan des problèmes en cause.

Le but essentiel, pour apprécier le rôle d'une faune sur un cycle, c'est de mesurer la totalité de ses conséquences sur ce cycle dans un lieu où ces animaux vivent. C'est donc par rapport à ces deux aspects totalité, pour obtenir un vrai bilan, et localisation, que nous pouvons juger de notre aptitude à apprécier le rôle d'une faune.

La totalité ne doit pas être comprise comme étant la recherche de tous les détails secondaires du rôle d'une faune dans un cycle, mais comme l'aptitude à couvrir les divers aspects de ce rôle sans en éliminer des parties essentielles par une approche réductionniste: ne pas confondre le négligé avec le négligeable.

La localisation est appréciée en fonction de notre aptitude à mesurer le rôle de la faune directement dans le lieu concerné ou indirectement dans un autre lieu (laboratoire, autre terrain) dans des conditions telles que l'on puisse, de façon scientifiquement critiquable, transposer les informations sur le lieu de référence: il faut pouvoir juger de l'identité relative des conditions d'environnement appliquées au moment des mesures et de celles du lieu où le rôle de la faune est estimé (par exemple Bouché, 1977).

Comme l'écologie est la science de l'étude des êtres vivants dans leur milieu, je qualifierai d'écologiques des mesures respectant le critère de localisation. La pratique qui consiste à appliquer à une localité des informations sans démontrer que celles-ci sont écologiques, ou en sachant qu'elles ne le sont pas, nous conduit à utiliser des données incertaines que je qualifierai ici de paraécologiques.

## **Le rôle des organismes dans un cycle**

### **Réactions et conditions de réactions**

On a l'habitude de considérer le rôle métabolique d'un organisme dans un cycle en étudiant la ou les réaction(s) biochimique(s) qui interviennent à son niveau (dans son compartiment) que ce soit une dégradation ou une aggradation énergétique, une libération ou une fixation organique d'une substance. C'est le schéma sur lequel tout le monde peut s'entendre car il permet à chaque spécialiste de considérer son compartiment. C'est le schéma, enfin, le plus généralement employé après réduction aux seuls bilans énergétiques.

Les réactions biologiques peuvent être considérées comme des réactions où l'être vivant est un catalyseur utilisant deux produits pour en synthétiser un (aggradation) ou un pour en produire deux (dégradation).

Ce modèle a le grave inconvénient d'éliminer les conditions de réalisation de chacune des réactions qui constituent la succession d'un cycle. Certes, il est d'usage d'essayer de tenir compte de la température, réglant la cinétique des réactions, et parfois de l'humidité dont on sait le rôle régulateur sur les plantes et les micro-organismes.

Ces conditions sont:

- 1) Condition de contact: source(s) de la réaction et être vivant doivent se rencontrer.
- 2) Condition de fréquence: nombre de rencontres.
- 3) Condition de cinétique: température, état physiologique de l'être vivant, inhibitions.
- 4) Condition de maintien: évacuation des produits de réaction, renouvellement de 1, 2 et 3.

Considérer le rôle des êtres vivants dans les cycles, c'est donc considérer leur rôle comme chaînons réactionnels dans ces cycles mais aussi comme réalisateurs de conditions de réactions pour eux-mêmes ou d'autres êtres vivants.

### **Types de réactions**

Dans un cycle d'éléments biogènes les diverses réactions n'ont pas la même signification (Bouché, sous presse).

## Réactions métaboliques

Après assimilation, et avant émanation, les produits restent sous le contrôle biochimique d'un être vivant. A une réaction peuvent être éventuellement couplés des transporteurs d'électrons; il n'y a pas dégradation pure et simple de l'énergie: au catabolisme correspond un anabolisme.

## Actions extra-métaboliques

Les êtres vivants émettent dans le milieu des éléments (enzymes, acides, bases, eau, tissus, exudats) ou agissent physiquement sur celui-ci (morsure, mouvement du transit intestinal, piétinement, etc.) dans un sens qui modifie le cycle des éléments et notamment entraîne des dégradations hors-métabolisme. Une hydrolyse effectuée par un exo-enzyme a une signification énergétique fort différente de celle assumée par un endoenzyme: toute l'énergie de la liaison rompue est perdue.

## Réactions abiotiques

Il existe enfin des réactions abiotiques (photolyse, décarboxylation, etc.) qui se produisent hors des apports des êtres vivants. Les êtres vivants peuvent néanmoins créer certaines conditions de ces réactions (condition de contact notamment).

## Rôle des animaux

A partir des définitions données au précédent chapitre, considérons le rôle des animaux dans les cycles d'éléments biogènes.

Leur rôle métabolique est usuellement pris en compte dans les modèles d'écosystèmes car il est semblable à celui de la microflore et des plantes. Quoique les méthodes mises en oeuvre soient très discutables on reconnaît généralement aux animaux un rôle assez secondaire dans la dégradation totale du sol: 20% (Athias *et al.*, 1974) au plus, usuellement 10-20% (Macfadyen, 1963) parfois beaucoup moins (0,8-5,2%; Huhta & Koskenniemi, 1975).

Les phénomènes extra-métaboliques ne sont généralement pas distingués et encore moins ceux qui sont abiotiques, généralement la respiration du sol (incluant les autolyses, les activités d'enzymes libres, etc.) qui est attribuée à la "microflore".

Ce modèle métabolique classique présente deux inconvénients majeurs:

1) Il élimine l'étude des conditions d'activité biologique des divers groupes. Singulièrement, il élimine la propriété essentielle des animaux: le mouvement.

2) Il n'explique pas les différences observées dans les cycles biogéochimiques. On sait que la vitesse de ces cycles est reflétée par la vitesse de dégradation très lente ou rapide de la matière organique morte, ceci étant en rapport avec le climat et la faune (Maldague, 1970).

Le choix d'un modèle purement métabolique du rôle des êtres vivants dans l'écosystème présente l'inconvénient d'éliminer ce qui est abiotique (Bouché, 1975) et de tenir compte des phénomènes extra-métaboliques de façon incohérente (les dégradations par exo-enzymes étant "incluses" dans l'activité microbienne et souvent exclues de l'activité animale). Enfin il ne tient pas compte des conditions d'activité biologique et n'offre donc qu'une approche descriptive, nullement explicative, des différences entre écosystèmes: le rôle des animaux est surtout de modifier les conditions de vie des autres constituants,

les autres constituants n'ayant un état métabolique qu'à travers ces conditions. Entre le mull, le moder et le mor, étudiés par Maldague, sous un même climat, les différences de métabolismes animaux sont impuissantes à expliquer une décomposition respectivement en 1, 4 et 15–20 ans de la litière!

Ces différences ne sont pas qualitatives mais essentielles et doivent être quantifiées dans des systèmes assez corrects pour refléter la réalité des phénomènes endogés.

L'activité des microorganismes est profondément modifiée par l'activité faunique. Le mouvement des animaux dans leur milieu, ou du milieu dans les animaux (brassage intestinal), modifie les conditions et la fréquence de contacts de la microflore avec ses substrats; par la sélection des substrats alimentaires, la multiplication des surfaces de vie (parois des terriers, stabilité des structures poreuses), la faune modifie profondément la vie microbienne.

Les conditions de cinétique sont également modifiées: par exemple, la surface des grosses galeries de lombriciens représente 5 m<sup>2</sup> par m<sup>2</sup> de surface de sol, en dessous de 6 cm de profondeur, à Cîteaux (France). A l'abri des aléas climatiques (froid, sécheresse) une riche microflore s'y développe et le maximum des fixateurs d'azote libre s'y observe entre –20 et –40 cm (Locquet *et al.*, sous presse). Le système des inhibitions est probablement levé pendant le transit intestinal ce qui explique en partie l'intense activité microbiologique des turricules (Parle, 1963; Locquet, 1974; Ausmus, 1977).

Le constant travail de brassage et de morcellement, effectué par la faune et portant sur des centaines de tonnes de matériaux par hectare et par an, crée enfin la condition de maintien de l'activité microbiologique. Les rôles de la faune sont en fait beaucoup plus variés et s'expriment après un certain délai: les structures mises en place par la faune, l'énergie introduite dans le sol, les systèmes de flux gazeux créés, etc., persistent longtemps après le passage de la faune (Bouché, 1975).

Apprécier le rôle de la faune revient à prendre en compte (à partir d'un modèle écologique c'est-à-dire reflétant les phénomènes se produisant au terrain et non pas ceux réduits à nos théories classiques) l'ensemble des phénomènes qu'ils induisent directement dans l'écosystème (métabolisme) ou indirectement (extramétabolisme) entraînant ainsi des modifications des conditions de réactions. Inversement, l'activité de la microflore n'est rien sans ces conditions de réalisation dans lesquelles la faune joue un rôle essentiel: tout microbiologiste constituant une culture mêle un substrat énergétique à son milieu, agite le milieu à incuber: les réactions qu'il décrit ne sont pas celles d'un substrat + une microflore, mais celles d'un substrat + une microflore + un mouvement.

Si nous voulons connaître le rôle de la faune il faut partir de la totalité de ses actions sur le milieu et la placer dans l'ensemble du système y compris dans son évolution dans le temps et les diverses échelles des phénomènes. Nos modèles conceptuels ou simulés devront parvenir à ce niveau d'organisation en tenant compte de la totalité des phénomènes pour pouvoir être réellement utilisables.

### Acquisitions d'informations

Concevoir des systèmes analytico-synthétiques évitant le cloisonnement disciplinaire, le compartimentage simpliste, permettrait donc de satisfaire au critère de totalité. On peut néanmoins s'interroger sur les méthodes d'acquisition d'informations disponibles devant alimenter ces modèles. Possède-t-on des techniques permettant des mesures écologiques des phénomènes métaboliques? extra-métaboliques?

Il est difficile d'y répondre de façon générale en raison de la variété des situations. On peut reconnaître néanmoins un schéma général:

- La nécessité de la quantification des populations pour connaître leur niveau, leur structure, leur démographie. En général, cette approche est écologique car les prélèvements proviennent directement des lieux d'études mais les méthodes d'analyse (extraction du sol, identification des espèces, stades, biomasses) sont très souvent déficientes. L'établissement des niveaux varie entre quelques pour cent d'erreurs pour la macrofaune et quelques dizaines de pour cent pour la mésofaune. L'analyse démographique exige des données d'une qualité rarement atteinte car tous les stades doivent être également récoltés y compris les formes statiques (cocons, animaux en diapause, etc.); elle peut néanmoins être, en certaines circonstances, bien suivie sur des données partielles (Lavelle, 1971; Athias-Henriot, 1976) et permettre des calculs relatifs aux tissus relâchés dans le milieu.

- Les données métaboliques sont généralement qualitativement assez bien connues car les méthodes des physiologistes (respiromètre, marquage en enceinte contrôlée, etc.) étaient disponibles. Malheureusement, les quantifications écologiques de ces valeurs restent très aléatoires; il est d'usage d'extrapoler les données du laboratoire en corrigeant seulement en fonction des classes d'âge et du  $Q_{10}$ . Un phénomène fondamental, le mouvement c'est-à-dire le travail mécanique de la faune dont on sait, par ailleurs, qu'il peut accroître de 5 à 100 fois l'activité métabolique, n'est pas et ne peut pas être pris en compte par cette approche. D'autres phénomènes, telles les diapauses (réduisant par exemple de 50% le métabolisme de repos chez *Scherotheca dollfusi*) (Gallissian, 1971), ne sont pas usuellement pris en compte. Des phénomènes très importants, telle l'excrétion d'azote nous échappent complètement au niveau écologique et sont compris qualitativement de façon très incomplète au laboratoire. Par exemple, Satchell (1963) s'appuie dans une première estimation sur les travaux physiologiques de Needham (1957) qui inclut l'excrétion intestinale démontrée par Tillinghast (1967) mais ne tient pas compte des conditions d'insaturation modifiant les types d'excrétion (El-Duweini & Ghabbour, 1970): l'excrétion de protéines semble très fortement sous-estimée ce qui a des conséquences à la fois pour les cycles N, C, S et les bilans énergétiques. Bolton (1969) élimine purement le facteur excrétion, etc. Le choix ou le mode d'extrapolation adopté, les estimations peuvent varier d'un ou deux ordres de grandeur! Il est plus prudent de dire comme El Duweini & Ghabbour (1971) "it is not yet possible to make up estimations of the total nitrogen contribution by an earthworm population at a given site".

Un développement de méthodes écologiques originales, tel l'usage d'éléments marqueurs, est donc nécessaire. Encore faut-il que ces moyens soient mis en oeuvre en s'appuyant sur une connaissance approfondie des comportements des animaux *in situ*.

- Les animaux jouent un rôle considérable par leur activité mécanique sur les autres composants vivants ou non de l'écosystème. La terre transitant dans le tube digestif des lombriciens est de l'ordre de 100 à 1000 t  $ha^{-1} an^{-1}$  (Athias *et al.*, 1974; Kretzschmar, 1977); la plus grande part des produits végétaux y sont brassés, translocalisés, et sont parfois analysables (Anderson, 1972; Bouché & Kretzschmar, 1974). Les modifications sont qualitativement connues depuis longtemps (Darwin, 1881).

Les rôles sur la microflore ont maintes fois été illustrés au niveau des turricules (voir la synthèse de Parle, 1963) mais rarement dans le sol (Locquet *et al.*, sous presse). Les conséquences sur les racines (Van Rhee, 1971) et la végétation (Atlavinytė, 1975) n'ont que partiellement été étudiées directement au champ. L'apport de protéines animales (mucus, cadavres, etc.) modifie, enfin, les processus d'humification des débris végétaux en raison

notamment d'acides aminés rares (Bachelier, 1973). L'importance de ce phénomène biochimique sur les cycles reste inconnue. Malgré des progrès récents assez rapides, surtout sur les recherches ayant trait aux lombriciens, il est pratiquement impossible de quantifier l'impact des animaux en tant que "conditionneurs" des réactions intervenant dans les cycles d'éléments nutritifs.

### Conclusion

La contribution de la faune aux cycles biogéochimiques n'est pas encore estimable. Les recherches modernes ont pour la plupart dû adopter des modèles intellectuels simples, purement métaboliques, qui présentent les inconvénients d'éliminer une propriété essentielle des animaux: le mouvement, d'exclure les interprétations causales de mécanismes observés et d'utiliser des données paraécologiques. Les erreurs commises dans l'appréciation des phénomènes vont usuellement de plusieurs dizaines de pour cent d'erreurs dans l'étude de population à plusieurs ordres de grandeur dans les processus métaboliques intrinsèques des animaux et l'impact considérable de la faune sur les processus des cycles reste pratiquement non quantifié. Le danger serait de se satisfaire et de focaliser son attention sur des modèles réductionnistes utilisant des données paraécologiques en raison de leur intérêt comme première étape, comme outil pédagogique et comme sondage de l'importance des phénomènes.

Des progrès considérables ont été réalisés qui permettent aujourd'hui le renouvellement de nos méthodes vers des mesures écologiques et l'amélioration de nos modèles avec une amorce de prise en compte des aspects mécaniques, structuraux et biochimiques des activités animales. Après une période de mise en place des problèmes en cause, de description qualitative de l'impact faunique au niveau de l'écosystème, il est nécessaire de mettre au point des outils techniques permettant de mesurer au terrain les phénomènes s'y développant effectivement et d'intégrer ces mesures dans des modèles tenant compte de toutes les propriétés de la faune. Ce changement méthodologique et conceptuel est possible et permettra une appréciation du rôle de la faune du sol dans les cycles biogéochimiques.

### Remerciements

Cet article a beaucoup bénéficié des nombreuses discussions méthodologiques que j'ai eues avec de nombreux collègues coopérant aux recherches pédobiologiques en France (J.P. Cancela de Fonseca, A. Kretschmar, M. Loquet, J. Rouelle, etc.) et aux U.S.A., à Oak Ridge (B. Ausmus, R. Gardner, M. Witkamp, etc.). Je tiens à les en remercier.

### Références

- Anderson, J.M. 1972. Food and feeding of *Notiophilus biguttatus* F. (Coleoptera, Carabidae). — Rev. Ecol. Biol. Sol 9: 177–184.
- Athias, F., Josens, G., Lavelle, P. & Schaeffer, R. 1974. Les organismes endogés de la savane de Lamto. — Bull. Liaison Chercheurs Lamto, N.S., Fasc. V, 187 pp.
- Athias-Henriot, C. 1976. Sur la bioécologie en France tempérée de *Leiteiria granulata*, gamaside édaphique forestier (Arachnides, Parasitiformes). — Pedobiologia 16: 151–160.
- Atlavinyté, O.P. 1975. Ekologia dozdevykh cervej i ikh vlijanie na plodorodne povcy v litovskoj SSR. Vilnius: Mokslas, 202 pp.

- Ausmus, B.S. 1977. Regulation of wood decomposition rates by arthropod and annelid populations. — In: Lohm, U. & Persson, T. (eds.) Soil Organisms as Components of Ecosystems, Proc. 6th Int. Coll. Soil Zool., Ecol. Bull. (Stockholm) 25: 180–192.
- Bachelier, G. 1973. Etude expérimentale de l'action des animaux sur l'humification des matériaux végétaux. II. Action des animaux morts et des acides aminés. Conclusions générales. — Trav. Doc. O.R.S.T.O.M. 30: 1–79.
- Bolton, P.J. 1969. Studies in the General Ecology, Physiology and Bioenergetics of Woodland Lumbricidae. Unpublished Ph. D. Thesis, University of Durham, 404 pp.
- Bouché, M.B. 1975. Action de la faune sur les états de la matière organique dans les écosystèmes. — In: Kilbertus, G., Reisinger, O., Mourey, A. & Cancela da Fonseca, J.A. (eds.) Humification et Biodégradation, pp. 157–168. Sarreguemines, France: Pierron Editeur.
- Bouché, M.B. 1977. Stratégies lombriciennes. — In: Lohm, U. & Persson, T. (eds.) Soil Organisms as Components of Ecosystems, Proc. 6th Int. Coll. Soil Zool., Ecol. Bull. (Stockholm) 25: 122–132.
- Bouché, M.B. sous presse. Discussions d'écologie. III. Transferts d'énergie entre maillons trophiques. Bull. ecol. 8.
- Bouché, M.B. & Kretzschmar, A. 1974. Fonction des lombriciens. II. Recherches méthodologiques pour l'analyse du sol ingéré (étude du peuplement de la station R.C.P.-165/P.B.I.). — Rev. Ecol. Biol. Sol 11: 127–139.
- Darwin, C.R. 1881. The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observations on their Habits. London: John Murray, 326 pp.
- El Duweini, A.K. & Ghabbour, S.I. 1971. Nitrogen contribution by live earthworms to the soil. — In: d'Aguilar, J., Athias-Henriot, C., Bessard, A., Bouché, M.B. & Pussard, M. (eds.) Organismes du Sol et Production Primaire, Proc. 4th Int. Coll. Soil Zool., Ann. Zool.-Ecol. anim., N.S. 71(7): 495–501.
- Gallissian, A. 1971. Diapause et Régénération Postérieure chez le Lombricide *Eophila dollfusi* (Tétry). Thèse univ. Provence, C.N.R.S. Ao 5711, 243 pp.
- Huhta, V. & Koskenniemi, A. 1975. Numbers, biomass and community respiration of soil invertebrates in spruce forests at two latitudes in Finland. — Ann. Zool. Fennici 12: 164–182.
- Kretzschmar, A. 1977. Etude du transit intestinal des lombriciens anéciques. II. Résultats et interprétation écologiques. — In: Lohm, U. & Persson, T. (eds.) Soil Organisms as Components of Ecosystems, Proc. 6th Int. Coll. Soil Zool., Ecol. Bull. (Stockholm) 25: 210–221.
- Lavelle, P. 1971. Recherches sur la démographie d'un ver de terre d'Afrique; *Millsonia anomala*, Omodéo (Oligochètes-Acanthodrilidae). — Bull. Soc. Ecol. 2: 302–312.
- Loquet, M. 1974. Etude de l'activité microbiologique d'une prairie permanente: comparaison avec les turricules de vers. — Rev. Ecol. Biol. Sol 11: 47–65.
- Loquet, M., Bouché, M.B., Bhatnagar, T. & Rouelle, J. sous presse. Essai d'estimation de l'influence écologique des lombriciens sur les microorganismes. — Pedobiologia.
- Macfadyen, A. 1963. The contribution of the microfauna to total soil metabolism. — In: Doeksen, J. & Van der Drift, J. (eds.) Soil Organisms, pp. 1–17. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Maldague, M.E. 1970. Rôle des animaux édaphiques dans la fertilité des sols forestiers. Kinshasa: Inst. Nat. Etud. Agron. Congo, 245 pp.
- Needham, A.E. 1957. Components of nitrogenous excreta in the earthworms *Lumbricus terrestris* L. and *Eisenia foetida* (Savigny). — J. exp. Biol. 34: 425–446.
- Parle, J.N. 1963. A microbiological study of a earthworm casts. — J. gen. Microbiol. 31: 13–22.
- Satchell, J.E. 1963. Nitrogen turnover by a woodland population of *L. terrestris*. — In: Doeksen, J. & Van der Drift, J. (eds.) Soil Organisms, pp. 60–66. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Tillinghast, E.K. 1967. Excretory pathways of ammonia and urea in the earthworm *Lumbricus terrestris* L. — J. exp. Zool. 166: 295–300.
- Van Rhee, J.A. 1971. The productivity of orchards in relation to earthworms activities. — In: d'Aguilar, J., Athias-Henriot, C., Bessard, A., Bouché, M.B. & Pussard, M. (eds.) Organismes du Sol et Production Primaire, Proc. 4th Int. Coll. Soil Zool., Ann. Zool.-Ecol. anim., N.S. 71(7): 99–106.

## ESSAI D'ANALYSE ELEMENTAIRE DE LA THEQUE DE *TRIGONOPYXIS ARCULA* (LEIDY) PENARD (RHIZOPODA, TESTACEA)

M.M. Coûteaux et C.Y. Jeanson

### Abstract

**Elemental analyses of the thecae of *Trigonopyxis arcula* (Leidy) Penard (Rhizopoda, Testacea):** The shells of *T. arcula* were analysed qualitatively using the probe of a scanning electron microscope and Castaing's microprobe analyser. The elements Al, Si, K, Ca, Fe, Ti, Cl, S and Mg were detected at several points, and along the diameter. The respective densities are illustrated by distribution maps (X-ray pictures). These analyses do not disturb the structure of the shells. The results are compared to those of *Nebela tinctoria*, *Euglypha* sp., *Phryganella acropodia* and *Centropyxis aerophila*.

### Introduction

Des méthodes de microscope électronique adaptées à l'étude des matériaux du sol par Jeanson (1966, 1972) ont ouvert de nouvelles voies d'investigation pour déterminer la composition élémentaire des thèques de Thécamoebiens. Cinq espèces ont été analysées: *Trigonopyxis arcula* (Leidy) Penard, *Nebela tinctoria* Leidy, *Euglypha* sp., *Phryganella acropodia* (Hertwig & Lesser) Hopkinson, *Centropyxis aerophila* var. *sphagnicola* Deflandre. Les résultats présentés ici concernent principalement *T. arcula*. Cette composition élémentaire des thèques est une donnée importante tant sur le plan morphologique que sur le plan écologique puisqu'elle permettra d'émettre des hypothèses sur la nature des thèques et sur les prélèvements que les Thécamoebiens opèrent dans le milieu.

### Méthodes

Le principe de la méthode est le suivant: l'excitation directe d'un objet par un fin faisceau d'électrons provoque l'émission de radiations caractéristiques des éléments chimiques qu'il contient. Il y a émission d'un rayonnement X dont la longueur d'onde est caractéristique de l'élément frappé par les électrons. Il est possible, de cette manière, de détecter les éléments présents en un point de l'objet. En mesurant l'intensité des rayonnements par un compteur de photons X, on peut en évaluer quantitativement la teneur.

Les analyses élémentaires sont réalisées avec deux appareils équipés de microsonde:

### Sonde du microscope électronique à balayage (M.E.B.)

La sonde couplée au microscope à balayage permet l'analyse élémentaire qualitative d'une surface ou d'un point. Le volume excité par le bombardement électronique est, dans ce dernier cas, de l'ordre de quelques  $\mu\text{m}^3$ .

De plus, le rayonnement X de chaque élément présent dans la thèque peut imprimer une pellicule photo et donner la carte de répartition de chacun d'eux.

L'avantage de ce modèle de sonde est de permettre un repérage très précis sur l'image du M.E.B. pour le choix des points ou régions à analyser. Sa précision analytique est toutefois moins grande que celle de la microsonde de Castaing car les résultats sont, en partie, influencés par le relief.