Publ. 118

EXEMPLAIRE RESERVÉ

HOMMAGE DE L'AUTEUR

QUELQUES APPLICATIONS DE L'INFORMATIQUE EN PEDOZOOLOGIE : DE L'EXPLOITATION DES DONNEES A L'USAGE INDISPENSABLE

Marcel B. BOUCHE
Maître de recherches à l'Institut National de la Recherche Agronomique
17, rue Sully F-21034 DIJON cedex

I. INTRODUCTION

La nature de la présente communication doit être d'abord précisée. Il ne s'agit pas d'exposer ici des applications originales de l'informatique : je ne suis pas compétent et il y a peu d'originalités en pédozoologie. Mon but est de montrer, par des exemples choisis dans mon expérience immédiate, les progrès permis en pédozoologie par l'informatique. Il s'agit de décrire comment "fonctionne" l'informatique par rapport à la pédozoologie. Etant spécialiste des vers de terre (ou lombriciens), je retiendrai, pour les avoir "vécus", l'essentiel de mes exemples à partir d'études de ces animaux. Quoique la faune du sol soit très diverse et présente donc des informations de nature et de qualité différentes, j'espère que cet échantillon sera assez représentatif car, fondamentalement, les pédozoologues subissent à peu près les mêmes contraintes. Presque toujours, ceux-ci travaillent seuls ou en associations plus ou moins passagères dans le cadre de programmes coopératifs ; par défaut d'observations directes des animaux dans le sol, les informations sont acquises par des méthodes discontinues dans l'espace et le temps, et les hypothèses de traitement ne s'élaborent qu'après une première visualisation des données. Chercheurs isolés, les pédozoologues sont également généralement dépourvus de moyens d'étude fiables de sorte que leurs données contiennent au moins deux informations simultanées : l'(es) information(s) recherchée(s) et l'artéfact technique. Pour la clarté de cet exposé, je vais m'efforcer, malgré l'arbitraire que cela comporte, à un certain classement qui est très loin d'être une succession logique.

II. L'INFORMATIQUE COMME AIDE A LA RECHERCHE : DE LA GESTION DES FAITS A LA DECOUVERTE

2.1 La gestion des données

La première application d'un ordinateur est d'aider à mettre de l'ordre, la rigueur imbécile de ces machines est enfin telle que le "bricolage" des données, l'à-peu-près des classements est impossible. Non seulement la machine est puissante mais elle nous oblige, par rétro-action, à une rigueur d'ordre. Cette expérience est banale et a été vécue par toute personne usant de l'informatique. Je ne ferai que deux remarques :

1) Beaucoup de personnes pensent que l'informatique constitue un gain de temps au moment du traitement mais implique des contraintes supplémentaires qui allourdissent le coût de l'acquisition d'informations. Initialement, c'est vrai mais très vite c'est bien l'inverse qui se produit : aujourd'hui, *Nicodrilus* (*Nicodrilus*) *caliginosus alternisetosus* Bouché, 1972 s'écrit 0112. Lorsqu'il est capturé à l'intersection de la route nationale 329 et de la route départementale 110, en forêt de hêtres, à la localité.., sol... : cela s'écrit 1316. De sorte que ma collection de lombriciens n'est plus une litanie de noms complexes mais ne comporte plus qu'un codage : 1316/0112. Quel gain de temps à l'acquisition d'informations en dehors de l'usage informatique !

2) La première étape de l'établissement d'un code se fait sur un cas d'espèce. Les contraintes de l'informatique ne peuvent être séparées des contraintes de l'acquisition de la donnée. Le fait de tendre à utiliser les mêmes codes, avec les mêmes procédures automatiques, nous oblige à une réflexion approfondie sur la méthodologie générale à adopter, ce qui soulève des problèmes épistémologiques. Ces questions de procédure et d'épistémologie, jusque là négligées deviennent importantes et la qualité de la démarche scientifique en est améliorée. Ici encore, il a été possible d'adopter, après de nombreux tatonnements, un langage codé unique et très simple pour toutes expériences ou études de terrain ayant trait aux lombriciens. Le travail au terrain, sans rapport avec l'informatique, en a été amélioré et de nombreuses confusions procédurières éliminées : une page d'observations sur le milieu se résume par un nombre de 10 chiffres et une valeur manquante se voit.

Conclusion : l'organisation de banques de données, loin d'être une contrainte *per se*, est un gain de temps. Mon centre de recherches est dépourvu de moyens de traitement informatique mais je continue, dès qu'une information est formalisable, de la travailler pour l'inclure correctement (?) dans une banque de

2 Le traitement des données

De très nombreux outils mathématiques ont été utilisés en pédozoologie. Ils s'appuient sur les études biométriques classiques et dépendent largement des outils mis au point par les biométriciens ou les biologistes. Il est hors de propos d'être ici exhaustif.

Je serai amené, à plusieurs reprises, à évoquer les opérations qui ne portent que sur de la gestion d'informations, l'organisation des données initiales, leur tri et leur présentation qui jouent souvent un rôle clef dans la découverte. On applique fréquemment à ces données des traitements de statistiques descriptives (cartographie, courbes, classements d'espèces, de populations, de prélèvats par diverses méthodes) ou probabilistes (calcul de signification, régression, etc.). En France, ceci a été grandement facilité par une véritable introduction synthétique faite par Cancela da Fonseca "l'outil statistique en biologie du sol" (1965 a et b ; 1966, 1968, 1969 a et b) et le développement de statistiques descriptives notamment de l'Analyse Factorielle des Correspondances que, par exemple, j'ai pratiquée dès 1971 avec J. Badia à Nancy (Bouché, 1978) pour l'étude de la distribution spatiale d'animaux (cf. § 4.2).

Deux domaines, proprement zoologiques, ont fait l'objet de nombreuses études. La dynamique des populations édaphiques, dont l'analyse démographique, a été étudiée en pratiquant divers outils dont l'analyse multivariable appliquée aux Oribates (Cancela da Fonseca, sous presse) ou aux lombriciens (Lavelle et Meyer, 1976 ; présente conférence : programme COMSTEL). L'usage des régressions et corrélations a été fort pratiqué pour établir soit la durée de stade (Lebrun, 1971) ou de génération (Brunel et Cancela da Fonseca, 1977), soit l'effet densité sur les effectifs (Lebrun, 1969) ; les modèles auto-régressifs ont été utilisés pour prévoir l'évolution de populations de diptères endogés (Brunel et Cancela da Fonseca, 1977) ou pour estimer l'influence des facteurs du milieu sur cette évolution (Delettre et Cancela da Fonseca, 1979). L'utilisation de modèles matriciels composés d'éléments discrets constitue un outil important dans l'analyse démographique, ceux de Lewis-Leslie, Lefkovitch, Hadjibiros contituent autant d'étapes de progrès par leur adaptation à des données effectivement disponibles ou acquises. Une synthèse de ces points est donnée in Cancela da Fonseca (sous presse).

Un autre domaine est celui de l'analyse de la distribution temporo-spa-

tiale, particulièrement verticale, dans le sol ; de nombreux travaux y ont été consacrés. Je ne signalerai que celui de Stevens et al. (1977) en raison de son élaboration méthodologique originale et synthétique.

2.3 La découverte fortuite grâce à l'informatique

Le codage de l'information, son traitement par différentes méthodes apportent beaucoup grâce à la puissance des machines. On parviendrait à la rigueur "à la main" aux mêmes résultats... avec beaucoup de temps et d'énergie ; toutefois, il est clair qu'il y a des traitements peu "utiles, marginaux" que l'on ne ferait pas sans les facilités de l'informatique et qui conduisent à des découvertes fortuites. J'en donnerai un exemple. Pour faire des économies de pages à l'édition, j'ai recherché le moyen de cartographier des aires de répartition de lombriciens aussi nombreuses que possible sur la même carte de fond (la France). Impossible de mémoriser avec précision les aires d'environ 150 taxons ! Pour faire cette économie, il faudrait visualiser 150 cartes puis les comparer, coût évidemment infiniment supérieur avec des voies classiques. Un simple programme en X et Y puisant dans une banque de données permit en 1970 de situer en longitude et latitude les divers taxons, très rapidement grâce à une IBM 1130. Ce fut la première cartographie automatique en pédozoologie générale et probablement la première en France pour la faune. Ces documents techniques me permirent alors de constater que : 1) certaines espèces de certains genres ont des taxons à aires sans recouvrement,

2) ces espèces appartiennent à la même catégorie écologique (= même fonction),

3) leur ordre dans l'espace coïncide avec l'interprétation phylogénétique, elle-même fondée sur l'étude de certains organes,

4) autre coïncidence : l'organisation de ces aires coïncide avec des phénomènes paléogéographiques (grosso-modo, les coupures en genres ou sous-genres se sont faites il y a 80-40 millions d'années, certaines coupures d'"espèces" il y a 13 millions d'années et celles de sous-espèces depuis 6 millions d'années).

Ainsi, fortuitement, trois sources distinctes de connaissances (morphologique et phylogénétique ; répartition actuelle ; paléogéographique) se sont trouvées confrontées et mutuellement confortées. Signalons enfin que cette découverte a des implications pratiques nombreuses pour l'amélioration de la production forestière, prairiale ou culturale... qui n'ont pas encore pu être mises en oeuvre ! !

III. L'INFORMATIQUE COMME OUTIL ACCELERANT LE PROGRES DES IDEES EN PEDOZOOLOGIE : REDUCTION DES RESISTANCES EPISTEMOLOGIQUES

3.1 Souplesse des codes

Lorsque de nouvelles connaissances sont acquises, celles-ci sont difficilement acceptées, d'abord parce qu'elles choquent, bousculent des idées et des acquis (nous verrons § 3.2 et 3.3 que l'informatique peut aider à lever ces difficultés), ensuite parce que ces changements désorganisent la gestion des connaissances elles-mêmes. Je voudrais illustrer ceci par un exemple simple. Il a été montré à juste titre qu'*Allolobophora turgida* forme *tuberculata* Eisen, 1874, était synonyme prioritaire de *Nicodrilus caliginosus alternisetosus* Bouché, 1972. De telles résurrections de noms "oubliés" constituent une sérieuse difficulté dans un muséum classique qui est obligé de tenir de longues listes de synonymes et de constater, qu'outre la littérature, tous les étiquetages deviennent incorrects. Les chercheurs attachés à leur pratique font alors l'impossible pour trouver des arguties, pour résister à l'application des règles de nomenclature comme cela peut s'observer au sujet de l'usage impropre du nom *Lumbricus terrestris*, Linné, 1756... qui n'a reçu un support scientifique qu'en 1973, en contradiction d'ailleurs avec la diagnose de Linné ! Le fait de coder, à côté du nom scientifique, seul memorisable et universellement reconnu, réduit fortement cette difficulté car 0112 reste 0112, seule sa traduction dans le code change et toute collection codée ne porte que 0112 ! Il y a en fait dissociation de l'information brute (0112) et de l'interprétation de la nomenclature et de la taxonomie.

3.2 Modélisation conceptuelle et mathématique

Ajuster des données à un modèle mathématique est une opération ancienne. Construire avec ces modèles élémentaires des modèles complexes devient vite impossible sans l'informatique. Lorsque ces modèles mathématiques complexes s'élaborent en écologie (dont la pédozoologie), ils impliquent souvent l'intégration de données acquises par des disciplines différentes, ce qui conduit à une collaboration explicite. Il apparaît alors que les données nécessaires sont rarement disponibles et adéquates de sorte que le modèle mathématique, s'il est tenté, n'est plus qu'un exercice préliminaire hypothétique. Force est d'élaborer un modèle conceptuel permettant d'expliciter objectifs, concepts et le transfert d'informations d'abord qualitatives puis quantitatives. A ce dernier stade, le modèle mathématique peut être écrit. Si des modèles conceptuels ont été décrits en pédozoologie (par exemple, Bouché et Kretzschmar, 1977) et s'intègrent dans des éco-

systèmes (Gounot et Bouché, 1974), ils n'ont que rarement atteints le stade de la simulation (Lavelle et Meyer, 1977 ; présent colloque). Ainsi l'informatique, par la rigueur conceptuelle qu'elle implique, a rendu possible matériellement mais aussi intellectuellement la coopération interdisciplinaire.

3.3 Co-interprétations de données complexes

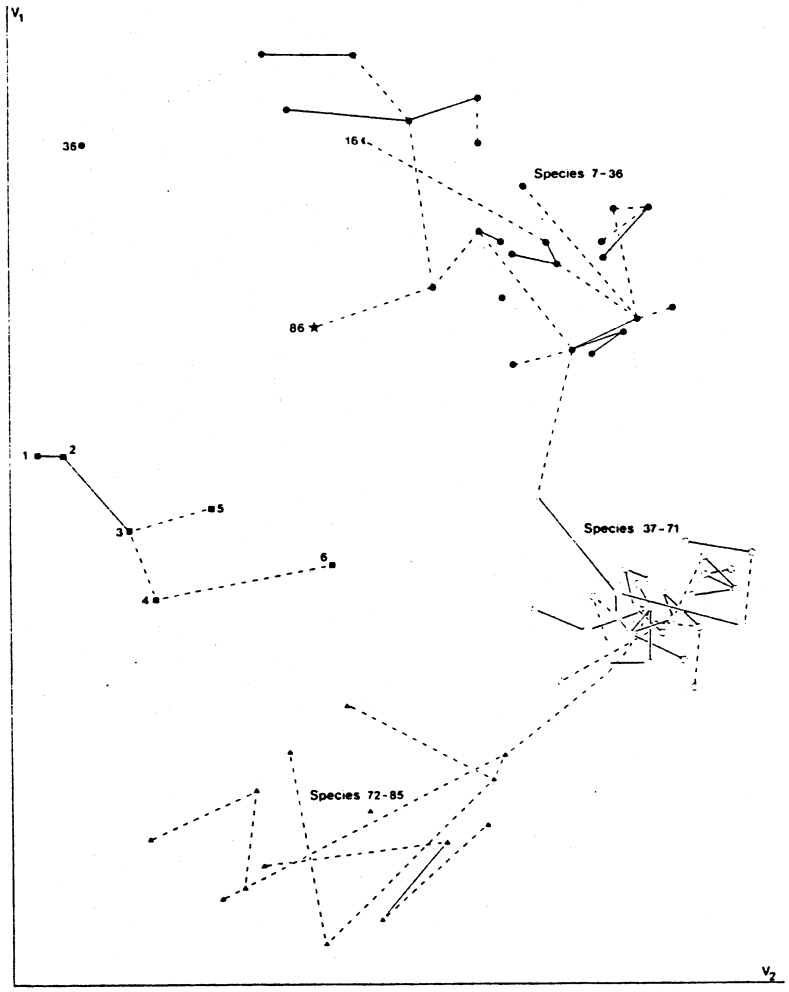

FIGURE 1 : Analyse en coordonnées principales de 78 espèces sans coecums intestinaux du groupe Pheretima (Megascolecidae : Oligochaeta) [illegible] des espèces en fonction des deux premiers vecteurs. Les liaisons appréciées par M.T.S. (Minimum Spanning Tree) sont figurées en pourcentage de similarité (% > 95 : traits pleins ; 95 > % > 90 : tirets ; % < 90 : pointillés) et les différents genres par un symbole ponctuel différent (reproduction autorisée aimablement d'après Easton, 1979).

La taxinomie (= science des classements) numérique a été appliquée en pédozoologie très tôt par Sims (1966) à des problèmes de taxonomie (= classements

des taxons ou, si l'on préfère, taxinomie des taxons) sur un groupe d'oligochètes : les Megascolecidae. Ce groupe complexe, encore très imparfaitement connu, a fait l'objet de nombreuses classifications discordantes et ce type de travail apporte au moins un outil précieux comme l'illustre Easton (1979) (fig. 1).
En travaillant sur une autre famille mieux connue, les Lumbricidae, j'avais été amené à rejeter cette procédure qui ne porte aucun jugement "subjectif" sur les caractères morphologiques employés pour reconnaître la phylogénèse (= la filiation évolutive) (Bouché, 1972) mais tend par contre à regrouper, en fonction de leur proximité morphologique, les divers taxons soumis à ce traitement informatique. Sims (sous presse) a appliqué ce traitement de taxinomie numérique à partir de l'information publiée dans mon livre sur un grand nombre de taxons français appartenant aux Lumbricidae. Si les résultats taxonomiques sont assez limités, sans être négligeables, ce traitement a permis de vérifier de façon spectaculaire la taxinomie écologique que j'avais proposée par ailleurs (trois catégories écologiques fondamentales + une influence de l'humidité) (Bouché, 1971) (fig. 2).

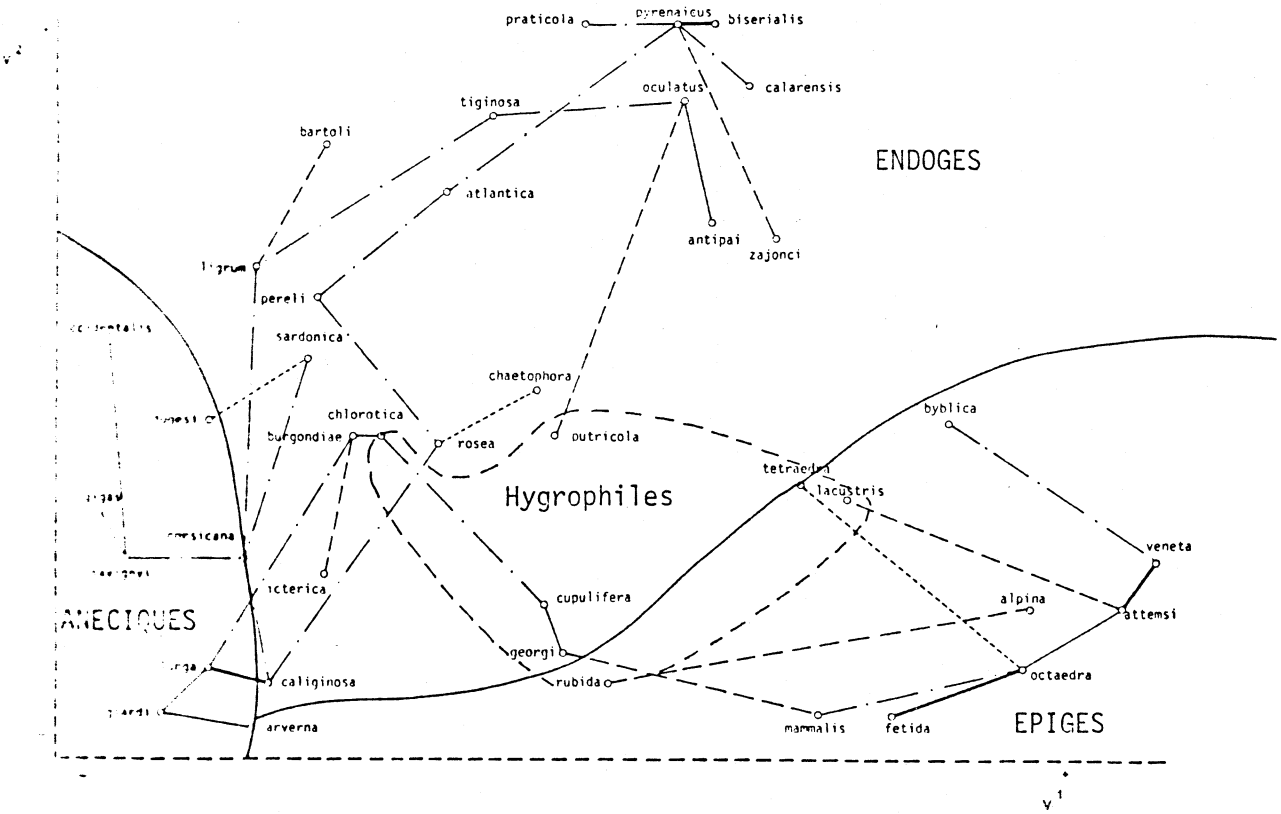

FIGURE 2 : Analyse en coordonnées principales de 40 espèces françaises de Lumbricidae (Oligochaeta) : distribution des espèces en fonction des deux premiers vecteurs. Les liaisons appréciées par M.T.S. (Minimum Spanning Tree) sont figurées en % de similarité (% > 95 : traits pleins forts ; 95 > % > 90 : traits pleins fins ; 90 > % > 85 : points-tirets ; 85 > % > 80 : tirets ; 80 > % > 75 : pointillés) (reproduction autorisée aimablement d'après Sims, sous presse). Les trois catégories écologiques (épigés, anéciques et endogés) et l'hygrophilie sont délimitées par des zones distinctes (d'après Bouché, sous presse).

Ceci revient à dire que les caractères observés indiquent d'abord que les lombriciens vivent et reflètent leur mode de vie actuel. Cette conclusion est très importante car elle rend plus objectif le classement écologique ; elle permet aussi de reconnaître les situations intermédiaires ou complexes de façon nuancée. Cette conclusion conduit enfin à souligner, ce qui est souvent oublié quoiqu'évident, que les caractères morphologiques isolés pour l'analyse n'ont pas de sens fonctionnel per se mais seulement dans le cadre de l'individu entier, seul vivant : l'analyse multivariable numérique ré-introduit ainsi cette unité. Sans ruiner l'intérêt de la taxinomie numérique pour la taxonomie - intérêt grand dans le cas de groupes mal connus - elle en donne les limites notamment en ne dispensant pas de l'interprétation de la signification "historique" des différentes expressions de caractère : c'est ré-introduire l'interprétation biologique critique à côté d'un traitement mathématique (Bouché, sous presse).

IV. L'INFORMATIQUE INDISPENSABLE

4.1 Valorisation de données "pauvres"

La pédozoologie est une science marginalisée. Il est rare que plus de quelques chercheurs puissent collaborer, en général avec des moyens très réduits et précaires et en travaillant dans un milieu difficile d'accès dont on sait peu à priori (un ornithologue voit ses oiseaux, un botaniste voit ses plantes, un pédologue reconnaît par photographie aérienne : ils savent au départ beaucoup sur les conditions d'une étude). Dans ces conditions, l'information acquise est pauvre, insuffisante, hétérogène, mal orientée : il est indispensable d'avoir alors des outils puissants pour varier l'expression des résultats et en saisir les facettes cachées et imprévues. J'illustrerai ce propos par l'exploitation de données quantitatives, initialement acquises pour établir le niveau des populations de divers peuplements lombriciens et finalement utilisées pour reconnaître l'hétérogénéité des distributions de lombriciens dans les stations d'étude. Ou bien celle-ci s'est avérée du même ordre de grandeur que celle interne aux prélevats (fig. 3) ou bien, au contraire, elle a révélé pour d'autres stations,

tion, conditions climatiques, etc.). Ceci était invisible directement au terrain ou par le traitement espèce par espèce mais a été mis en évidence par l'Analyse Factorielle des Correspondances en 1972 en collaboration avec J. Badia (Bouché, 1978).

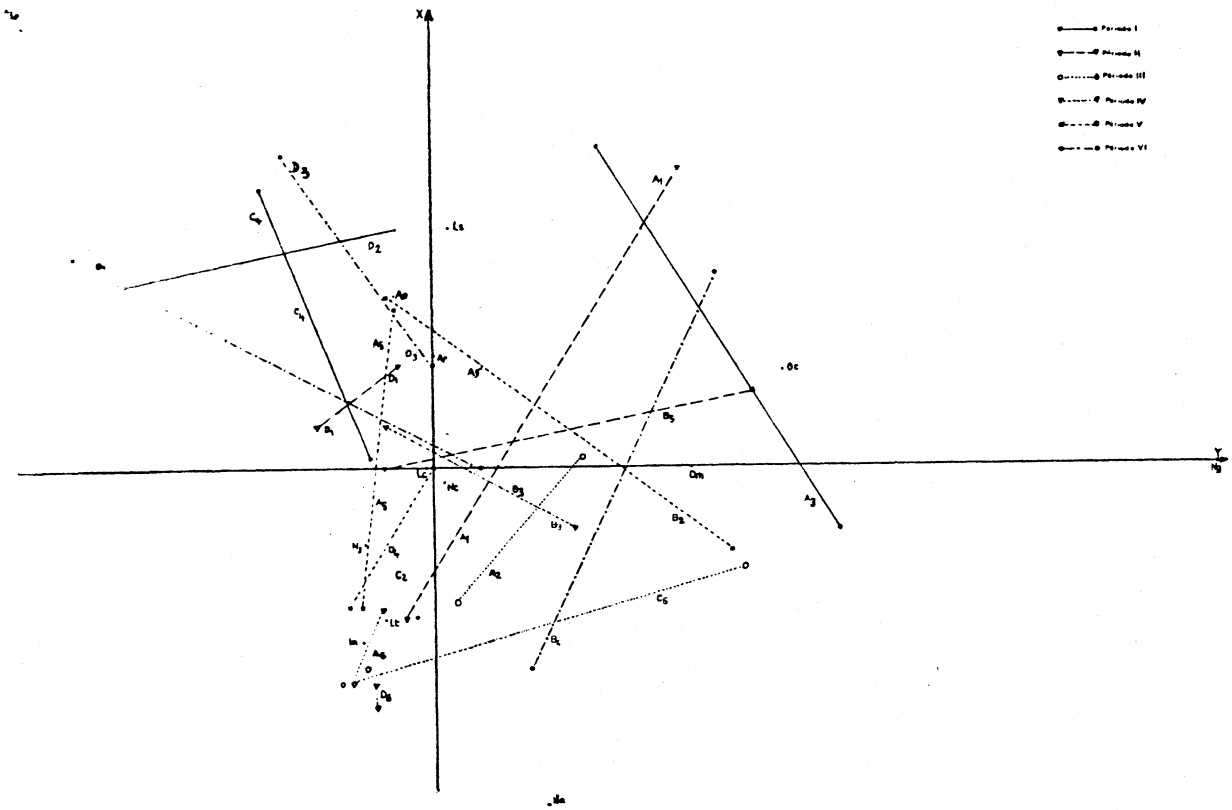

FIGURE 3 : Analyse Factorielle des Correspondances sur les biomasses (station Bellefontaine : R.C.P.-40). Représentation de la position des prélevats et des "taxons" en fonction des deux premiers facteurs. Les paires de prélevats adjacents sont reliés par des traits : leurs écarts sont de même nature qu'entre prélevats éloignés de plusieurs mètres (d'après Bouché, 1978).

4.2 Maîtrise du complexe

Le pédozoologue écologue a des données pauvres mais aussi extrêmement hétérogènes en apparence. Elles sont souvent le reflet de multiples phénomènes interagissant connus mais pratiquement subis. Je prendrai l'exemple de la capture des vers de terre par la méthode au formol. On "demande" aux lombriciens, sous l'action d'un produit chimique, de venir en surface du sol où on les collecte. De très nombreux facteurs interfèrent de sorte que l'efficacité (nombre d'animaux capturés par rapport au tout) est très variable (Bouché, 1969). Il est clair toutefois que la température en réglant l'activité motrice, l'humidité en modifiant l'écoulement de la solution de formol et en obligeant les lombriciens à certaines léthargies au cours de sécheresses, enfin la diapause (immobilité par réglage endocrinologique lié notamment aux saisons) jouent un rôle dans les variations de

captures observées... mais celles-ci interfèrent aussi avec l'hétérogénéité spatiale, le mode de vie des animaux (catégorie écologique), etc. Des données abondantes comparant une méthode presque absolue (fo-bl) et cette méthode au formol (fo) étaient disponibles ainsi que l'humidité et la température. L'extrême complexité des cas particuliers ne permit pas de connaître les périodes optimales de capture de façon simple. Grâce à des moyens informatiques, qui avaient déjà permis une correction des données (cf. § 4.3), il fut toutefois possible à Mazaud (1979) d'établir, après de nombreuses tentatives pour obtenir un mode de présentation convenable et en utilisant un classement non paramétrique des données, les zones de température et d'humidité (pF) favorables à l'utilisation de la méthode au formol : pour chaque catégorie écologique et pour le peuplement total (vérifié par le test de χ^2) (fig. 4).

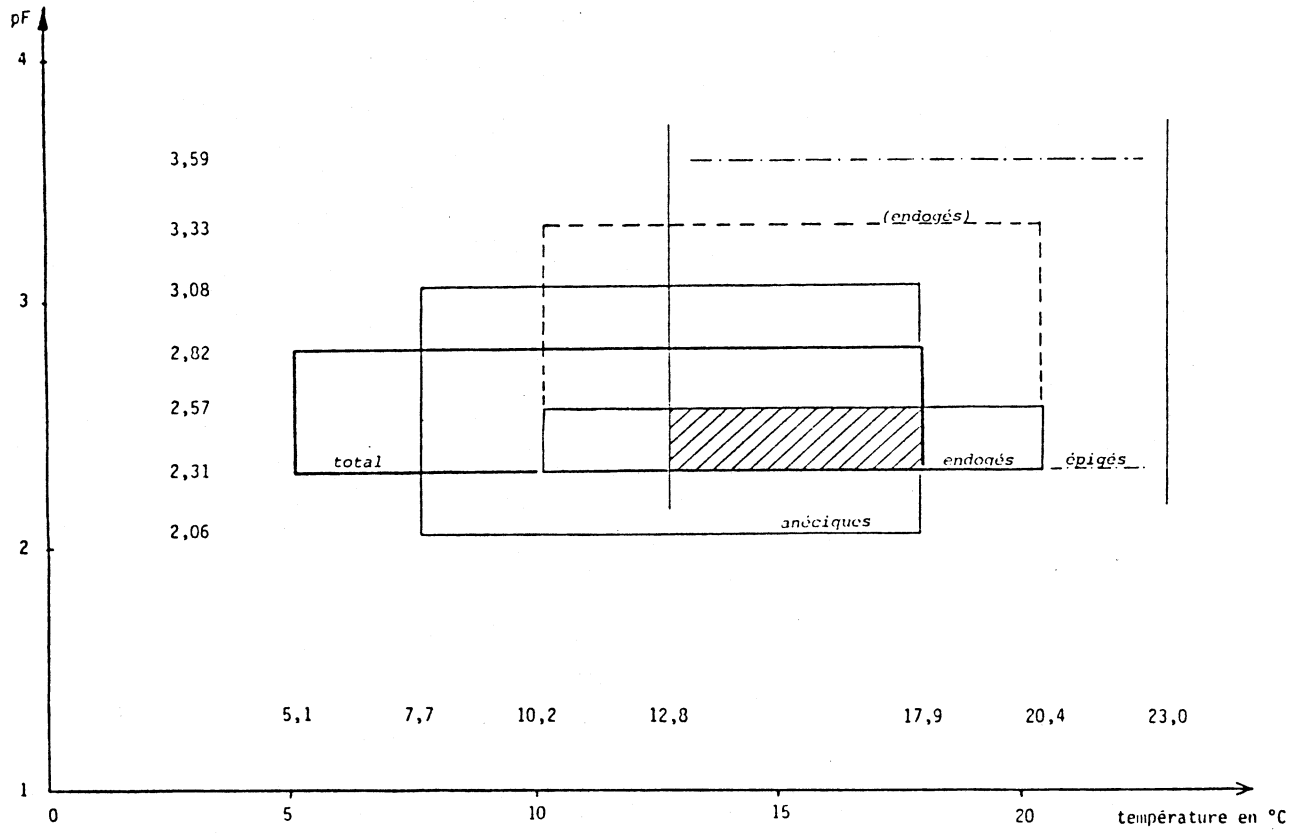

FIGURE 4 : Zones de température et de pF favorables à l'utilisation de la méthode des prélèvements : température : 0-23 °C, pF : 0,9-4,1 (d'après Mazaud, 1979).

Ces résultats très difficiles à maîtriser ont une grande importance pratique car ils "guident" les futurs travaux en donnant les conditions hors des quelles la technique au formol ne peut être mise en oeuvre. Dans le présent colloque, Hadjibiros illustre également l'importance des techniques de modélisation-simulation

pour déterminer les paramètres sensibles qu'il faut donc privilégier au terrain.

4.3 Visualisation des phénomènes opaques

Enfin, le pédozoologue peut, grâce à l'informatique visualiser ce qu'il ne voit jamais : son objet d'étude en place. Il est possible de constituer un échantillon par une série de prélevats de sols effectués à des emplacements et dates différentes ; jamais au même emplacement à deux dates car le sol est perturbé par la première intervention : il y a donc une hétérogénéité simultanément spatiale et temporelle. Les moyens lourds nécessaires pour acquérir des données peu biaisées limitent encore la valeur de l'information. Ici, l'informatique, par la multitude des traitements qu'elle permet, joue un rôle crucial. Avec R. H. Gardner, je pus aux U.S.A. écrire un programme très complexe corrigeant point par point les divers biais techniques, les corrections de surface, les hétérogénéites spatiales, etc. Sa mise en forme, qui dura plusieurs mois, devait porter simultanément sur toutes les données, heureusement nombreuses mais handicapantes en temps de traitement et en volume de mémoires. A la fin, il fut possible de visualiser grâce à un traçage de courbe automatique de très nombreux phénomènes imperceptibles préalablement... le plus spectaculaire peut être fut la découverte de la résistance estivale à la sécheresse de *Lumbricus castaneus* (lombricien épigé) non par refuge en profondeur comme on l'imaginait antérieurement mais par cocons servant de forme de résistance près de la surface du sol (fig. 5).

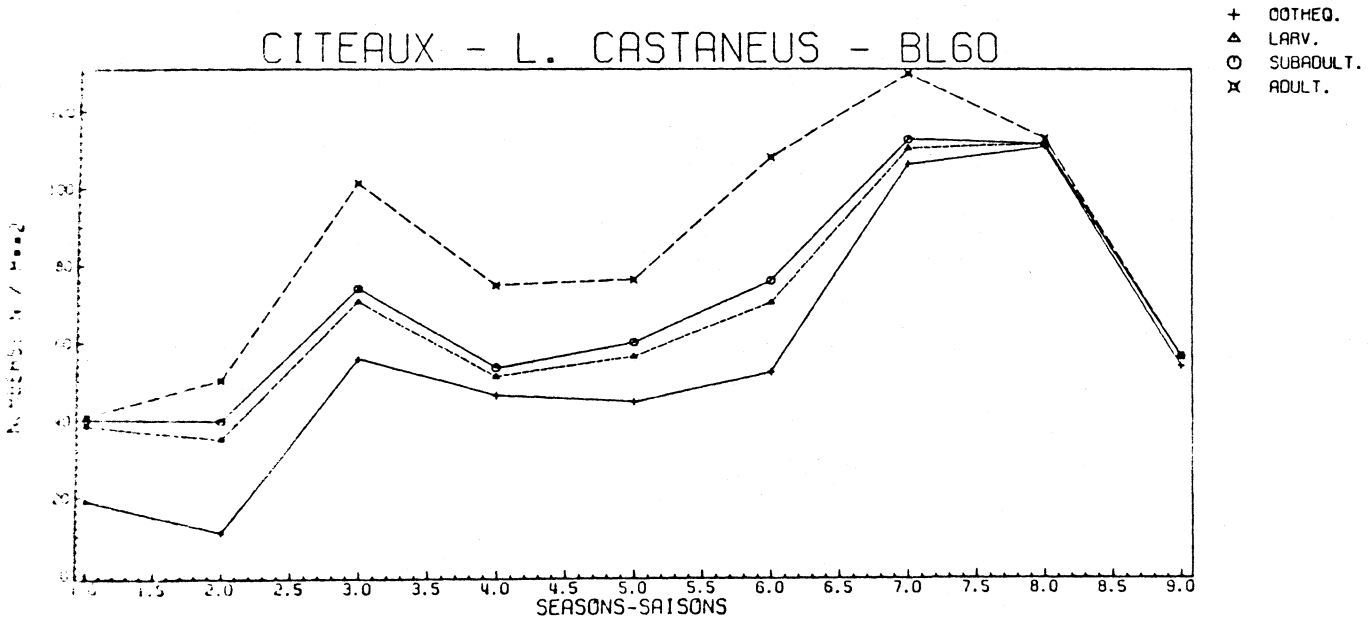

FIGURE 5 : Cycle annuel des différents stades (cocons ou oothèques, larves ou juvéniles, subadultes et adultes) de Lumbricus castaneus. Moyennes glissantes calculées sur 3 ans : en juillet (= 8) et août (= 9), il n'y a que des cocons assurant la survie (d'après Bouché, 1977). Graphe automatique ORGRAPH de Oak Ridge National Laboratory (U.S.A.).

V. CONCLUSIONS

En pédozoologie, l'aide apportée par l'informatique est, commeen de nombreux autres domaines, très précieuse par l'accroissement de puissance d'investigation qu'elle permet. Elle joue également un rôle important au plan épistémologique, en obligeant à une formalisation accroissant l'efficacité dans l'acquisition d'informations, facilitant les échanges interdisciplinaires et limitant la résistance aux changements. Ceci n'est pas vraiment propre à la zoologie du sol, par contre, avec les autres sciences du sol, cette discipline bénéficie pleinement des multiples moyens de représentation d'une réalité accessible. On peut dire que la reconstruction visuelle de faits parcellisés par l'échantillonnage constitue une aide comparable à la radiographie ou à la tomographie en médecine.

On peut reprocher, à juste titre, à mon article de se référer surtout à des travaux en français, biais dû incontestablement au peu de temps que j'ai pu lui consacrer mais aussi en partie reflet d'une situation assez exceptionnelle. Grâce à quelques pédozoologues influents (Berthet, Cancela da Fonseca, Lebrun,..) l'outil informatique est venu très tôt rejoindre les préoccupations méthodologiques (notamment de captures d'informations correctes et modélisation) de quelques autres chercheurs. Le groupe de travail "méthodologie" de la D.G.R.S.T. a joué un rôle stimulant en France sur ce thème de sorte que nous disposons aujourd'hui d'un outil écologique relativement performant applicable aux problèmes des sciences agronomiques ou de l'environnement. Cette situation favorable chez les francophones devrait permettre un usage important de nos acquis si un minimum de supports et de coordinations, par ailleurs nécessaire, est mis en place.

VI. REMERCIEMENTS

Ce travail de synthèse doit évidemment beaucoup à la communauté internationale des pédozoologues : je ne peux les remercier individuellement. Il est aussi le reflet des programmes méthodologiques subsidiés par la D.G.R.S.T. (modélisation litière-sol N° 74 7 0452 et N° 75 7 0759 et système édaphique : analyse, synthèse et gestion, N° 76 7 0226).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BOUCHE, M.B., 1969 - Comparaison critique de méthodes d'évaluation des populations de Lombricidés. Pedobiologia, 9, 1/2, 26-34.

BOUCHE, M.B., 1972a - 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. I.N.R.A., Ann. zool. - écol. anim., 71-7, 481-493.

BOUCHE, M.B., 1972b - Lombriciens de France. Ecologie et systématique. Ed. I.N.R.A., Ann. zool. - écol. anim., N.S., 72-2, 1-671.

BOUCHE, M.B., 1977 - Stratégies lombriciennes. In U. Lohm et T. Persson "Soil organisms as components of ecosystems", proc. 6th int. coll. soil zool., ecol. bull. (Stockholm), 25, 122-132.

BOUCHE, M.B., 1978 - Fonctions des lombriciens. I. Recherches françaises et résultats d'un programme forestier coopératif (R.C.P. - 40). Bull. scient. Bourgogne, 30, 189-228.

BOUCHE, M.B., sous presse - L'interprétation morphologique des lombriciens : un commentaire de l'évaluation numérique de R.W. Sims. C.R. coll., Padova, Pedobiologia.

BOUCHE, M.B., et A. KRETZSCHMAR, 1977 - R.E.A.L. : un modèle du rôle écologique et agronomique des lombriciens. In U. Lohm et T. Persson "Soil organisms as components of ecosystems", proc. 6th int. coll. soil zool., ecol. bull. (Stockholm), 25, 402-408.

BRUNEL, E., et J.P. CANCELA DA FONSECA, 1977 - L'utilisation des séries chronologiques dans l'étude des cycles d'émergence de Psila rosae (mouche de la carotte). Ann. zool.- écol. anim., 9, 515-535.

CANCELA DA FONSECA, J.P., 1965a - L'outil statistique en biologie du sol. I. Distribution de fréquences et tests de signification. Rev. écol. biol., 2, 3, 293-332.

CANCELA DA FONSECA, J.P., 1965b - L'outil statistique en biologie du sol. II. Régression linéaire - Corrélation. Rev. écol. biol. sol, 2, 4, 475-488.

CANCELA DA FONSECA, J.P., 1966 - L'outil statistique en biologie du sol. III. Indice d'intérêt écologique. Rev. écol. biol. sol, 3, 3, 381-407.

CANCELA DA FONSECA, J.P., 1968 - L'outil statistique en biologie du sol. IV. Corrélation de rang et affinités écologiques. Rev. écol. biol. sol, 5, 1, 41-54.

CANCELA DA FONSECA, J.P., 1969a - L'outil statistique en biologie du sol. V. Indices de diversités spécifiques. Rev. écol. biol. sol, 4, 1, 1-30.

CANCELA DA FONSECA, J.P., 1969b - L'outil statistique en biologie du sol. VI. Théorie de l'information et diversité spécifique. Rev. écol. biol. sol, 6, 4, 533-535.

CANCELA DA FONSECA, J.P., sous presse - Quelques approches analytiques en dynamique de populations édaphiques.

DELETTRE, Y.R., et J.P. CANCELA DA FONSECA, 1979 - Biologie et écologie de Limnophyes pusillus Eaton, 1875 (Diptera, Chironomidae) aux îles Kerguelen. II. Etude des populations imaginales et discussion. Rev. écol. biol. sol, 16, 355-372.

EASTON, E.G., 1979 - A revision of the "acaecate" earthworms of the Pheretima group (Megascolecidae : Oligochaeta) Archipheretima, Metapheretima, Planapheretima, Pleionogaster and Polypheretima. Bull. brit. mus. nat. hist. (zool.), 35, 1, 1-126.

GOUNOT, J., et M.B. BOUCHE, 1974 - Modélisation de l'écosystème prairial : objectifs et méthodes. Bull. écol., 5, 4, 309-338.

LAVELLE, P., et J.A. MEYER, 1977 - Modélisation et simulation de la dynamique de production et de la consommation des populations du ver de terre géophage Millsonnia anomala (Oligochètes, Acanthodrilidae) dans la savanne de Lamto (Côte d'Ivoire). Ecol. bull., 25, 420-430.

LEBRUN, Ph., 1969 - Ecologie et biologie de Nothrus palustris (C.L. Koch) (Acari, Oribatei). Densité et structure de la population. Oikos, 20, 34-40.

LEBRUN, Ph., 1971 - Ecologie et biocénotique de quelques peuplements d'Arthropodes édaphiques. Mem. inst. roy. sc. nat. Belg., 165, 1-203.

MAZAUD, D., 1979 - Evaluation de méthodes de marquage permettant le repérage de lombriciens au terrain ; premières applications. Annexe A : étalonnage de la méthode de prélèvement au formol. Thèse d'ingénieur-docteur, I.N.A. Paris-Grignon, Annexe A, 3-21.

SIMS, R.W., 1966 - The classification of the Megascolecoid earthworms : an investigation of Oligochaeta systematics by computer techniques. Proc. linn. soc. London, 177, 125-141.

SIMS, R.W., sous presse - A preliminary numerical evaluation of the taxonomic characters [illegible] France. C.R. coll., Padova, Pedobiologia.

STEVENS, D., P. BERTHET et E. FEYTMANS, 1977 - Nouvelle méthode de mesure de l'association interspécifique basée sur des mesures de distances. Application à l'étude des relations entre quelques espèces d'oribates édaphiques. In U. Lohm et T. Persson "Soil organisms as components of ecosystems", proc. 6th int. coll. soil zool., ecol. bull. (Stockholm), 25, 449-462.