PO 176

Rev. Écol. Biol. Sol, 1987, **24** (4) : 685-701.

Biostimulation : perspectives et limites de l'amélioration biologique des sols par stimulation ou introduction d'espèces lombriciennes

PAR

J. J. BRUN * D. CLUZEAU ** P. TREHEN ** M. B. BOUCHÉ ***

** CEMAGREF, B. P. 76, 38402 Saint-Martin-d'Hères*
*** Université Rennes I - Station biologique de Paimpont, 35380 Plelan-le-Grand*
**** Laboratoire de zooécologie du Sol : I.N.R.A., C.E.P.E./C.N.R.S., Route de Mende B. P. 5051, 34033 Montpellier*

Synopsis: This paper about earthworm biostimulation after reviewing the international referencies available either about stimulation of native earthworms or introduction of efficient species in soils, points out perspects and limitation of the main techniques and methodologies used till now.

Keywords: Biostimulation, earthworms, soil improvment technology.

INTRODUCTION

La diminution de la fertilité des sols en système agricole intensif, l'abandon massif des surfaces agricoles en zones de montagne, et/ou défavorisées ou fragiles, les dégradations des écosystèmes forestiers (dépérissements, incendies), ainsi que les pertes irréversibles de sols sous l'action de l'érosion ou par l'ablation volontaire de l'homme, conduisent les pays industriels avancés à rechercher et expérimenter des solutions techniques efficaces et économiques pour enrayer la dégradation de ce capital irremplaçable que représente le sol (BRUN 1982).

Dans cette perspective, les techniques d'amélioration biologique des sols ou biostimulation sont maintenant prises en considération avec un intérêt grandissant car ces techniques, bien qu'étant en partie utilisées inconsciemment depuis que l'agriculture existe, n'ont jamais vraiment fait l'objet d'une utilisation en tant que telles. Ainsi, nous considèrerons comme relevant de la biostimulation au niveau du sol, toute intervention volontaire utilisant

consciemment une composante biologique de l'écosystème pour préserver et améliorer, si nécessaire, son activité, ses structures, et ses caractéristiques physico-chimiques.

Les composantes biologiques de l'écosystème, sont les plantes, les animaux et les micro-organismes. Les plantes sont utilisées implicitement depuis les origines de l'agriculture, avec pour finalité primordiale, l'alimentation de l'homme. Or, il existe dans le sol deux autres composantes essentielles, les micro-organismes (1 à 2t/ha de biomasse matière sèche) et les animaux (0,2 à 0,8t/ha de biomasse matière sèche), longtemps utilisés spontanément.

Cette utilisation non maîtrisée est ainsi restée la règle pour les micro-organismes qui sont spontanément présents et assurent leurs fonctions lorsque les conditions de leur réalisation sont réunies.

Les progrès récents de la microbiologie du sol permettent la mise au point progressive de techniques d'inoculation de symbiontes, applicables aux champs, et destinées à favoriser la fixation de l'azote atmosphérique et la mycorhization.

Pour les animaux, à l'inverse, l'utilisation volontaire d'une espèce biologique, pour améliorer les sols est plus ancienne, mais également plus empirique. Elle est le résultat d'observations fortuites, en particulier pour les vers de terre qui représentent cependant, en Europe, la première masse animale.

Face à une information scientifique peu abondante, et disparate à son niveau international, le présent article tente d'effectuer un premier bilan en termes de perspectives et limites sur ce que nous avons convenu d'appeler la biostimulation lombricienne en distinguant :

1. La stimulation des faunes locales au travers d'actions culturales correctives ;

2. L'introduction de lombriciens adaptés par prélèvements dans le milieu naturel proche, ou à partir d'unités de productions contrôlées.

L'objectif de cette réflexion est de dégager les éléments méthodologiques et techniques qui, dès à présent, pourraient être opérationnels.

I. — BILAN DES TRAVAUX RÉALISÉS

A) Généralités.

De nombreux travaux ont montré que les activités trophiques et structurantes des lombriciens entraînent une amélioration des paramètres physico-chimiques des sols et influent directement sur les processus pédogénétiques (EVANS et GUILD, 1948 ; BARLEY (1961), JEANSON (1971), TOUTAIN (1981), STOCKDILL (1982), HOOGERKAMP (1983), VIMMERSTEDT (1983), GHILAROV et PEREL (1984), LEE 1985)).

A l'inverse, WESTERINGH (1972) a observé la dégradation de la structure des sols sous vergers après disparition rapide des vers de terre.

L'absence des lombriciens peut avoir différentes origines, en particulier

il faut distinguer, au niveau de l'analyse : 1) l'absence naturelle dans les sols liée à des facteurs limitants édaphiques (acidité, excès d'eau, faible profondeur) : 2) l'absence d'origine fonctionnelle résultant des facteurs biogéographiques et des inaptitudes migratoires de certaines catégories écologiques (impossibilité de recolonisation après les glaciations) : 3) l'absence d'origine anthropique liée à l'intensification des exploitations et à la pollution des systèmes, à l'état de dégradation ou à l'utilisation, pour recréer des sols, de matériaux qui en sont dépourvus.

Diverses synthèses ont déjà été effectuées sur les travaux de biostimulation réalisé, au niveau local (GHILAROV, 1965), (STOCKDILL, 1982), (GHILAROV et PEREL, 1984) et à un niveau plus général par CURRY et COTTON (1983).

B) Stimulation des faunes locales et/ou colonisation depuis les milieux périphériques.

Quand les conditions d'un milieu viennent à être transformées et qu'une barrière écologique dans le sol est levée, une stimulation des faunes locales et une colonisation à partir des milieux périphériques peuvent s'observer.

Les modifications peuvent être dues, en milieu naturel ou apprauvri par surexploitation, 1) à un chaulage (HUHTA, 1979), 2) à des apports de MO (déchets organiques divers : GRAFF, 1961 ; GHILAROV, 1965 ; BOSSE, 1967 ; GRAFF, 1970 ; CURRY, 1976 ; DINDAL *et al*, 1977 ; MARSHALL, 1977 ; HUHTA 1979 b, ANDERSEN 1983, CLUZEAU, 1983 ; CLUZEAU *et al, sous presse*) ; 3) à une modification des pratiques culturales avec diminution des travaux mécaniques EIJSACKERS, 1983 ; EDWARDS, 1983 ; TISDALL, 1984 et 1986. Si les conditions sont trop contraignantes (pH trop acide et/ou production trop faible du système par ex.), des apports de calcaire peuvent ne procurer qu'une très faible augmentation de la population (SATCHELL, 1980 a).

Dans les sites défaunés, (terril de déchets miniers, de gravières, décharge publique...) la restauration des communautés édaphiques est fonction : 1) des techniques d'ablation et de reconstitution des sols, 2) des apports chimiques et organiques à la reconstitution, 3) des potentialités faunistiques des milieux environnants, 4) du couvert végétal, 5) de l'utilisation ultérieure du nouveau milieu (voir pour la faune totale, y compris les lombriciens : DUNGER, 1966 ; DUNGER, 1969 a ; DUNGER, 1969 b, BROCKMANN *et al*, 1980 ; STANDEN *et al*, 1982 ; HEIDET, 1984 ; RUHSTON, 1986 a ; RUHSTON, 1986 b ;...) et pour la faune non lombricienne ; NEUMANN, 1973 ; HUSTON, 1972 ; KOSCIELNY, 1984 ; PARSONS et PARKINSONS, 1986 ;...).

Un des points communs à ces travaux est l'observation de la succession des espèces colonisatrices en liaison avec l'évolution du couvert végétal du sol sous-jacent. DUNGER (1966 et 1969 a et b) montre l'évolution de la micro et de la macro-faune à partir du stade pionnier, (1 an après la restauration) jusqu'au stade forestier, (10 à 14 ans après). A la domination de la micro-faune des premiers temps succède la faune des macroarthropodes puis les lombriciens épigés.

Les espèces anéciques, fonctionnellement liées aux processus de pédogenèse, ne colonisant ces nouveaux milieux que 10 à 50 ans après leur transfor-

mation. La dispersion et la colonisation de ces animaux est d'autant plus lente que ces espèces sont entièrement liées au sol et que leurs taux d'accroissement des populations sont faibles.

Ainsi, pour accélérer ces processus de restauration, l'inoculation artificielle de telles espèces apparaît comme une alternative potentielle.

Le tableau ci-dessous résume les données bibliographiques actuellement disponibles.

TAB. I

Stimulation des faunes locales et/ou colonisation depuis les milieux périphériques

	Pays	Nb. de publ.	Années	Milieux	Traitement	Lombriciens			P.C.	Durée de l'expérience
Stimulation	France.....	5	79-86	Forêts	Amend., fertil. travail sol	EP	AN	EN	+	
				Landes	Amendement	EP			2	6 ans
	Hollande.....	1	1983	Champs abandonnés		EP		EN	3	4 ans
	Angleterre....	1	1980	Forêts		EP			1	30 ans
	Finlande.....	1	1979	Forêts	Chaux, amend.	EP			2-3	6 ans
	R.F.A.:.....	1	1966	Vignes	Amend. organ.		AN	EN		3 ans
	Canada.....	1	1964	Forêts		EP	AN	EN	2	6 ans
Colonisation	R.F.A.....	3	66-69	Terrils	—	EP			+	14 ans
	Angleterre....	2	82-86	Terrils	—	EP		EN	2	11 ans
	U.S.A.....	1	1980	Terrils	—	EP			2	5 ans

EP = Épigés
AN = Anéciques
EN = Endogés

1 = Faible
2 = Moyen
3 = Fort

P.C. = Pouvoir colonisateur

La problématique de la stimulation, intéresse surtout les européens et les américains du Nord. Les publications sont peu nombreuses et récentes. Les milieux biostimulés et les techniques utilisées sont variés, surtout pour les exemples français. La durée des expériences est très variable. Sous les tropiques cet intérêt est aussi très fort, mais les expérimentations au champ n'ont pas encore débuté (LAVELLE *Comm. pers.*). Pour la colonisation naturelle, ce sont surtout les anglo-saxons qui ont étudié ce phénomène sur des terrils de mines, leurs observations portent principalement sur les épigés. Le pouvoir de colonisation est fonction de la catégorie écologique des lombriciens présents (Cf. Tab. I).

C) **Introduction et inoculation d'espèces lombriciennes.**

La prise de conscience du rôle des lombriciens dans le fonctionnement des systèmes est apparue dans les travaux de HENSEN (1877) et de DARWIN (1881), depuis les travaux de biostimulation entrepris dans différents pays sont essentiellement basés sur une approche empirique faite par un fermier néo-zélandais, M. ASHMORE, celui-ci constatait la remarquable utilité de ces animaux à la suite d'une introduction accidentelle de *Aporrectodea caliginosa,* lombricien européen, dans des prairies qui en étaient jusqu'alors dépourvues.

Les résultats de telles inoculations sont très variables ; GHILAROV (1966) et divers auteurs russes (JAGDYEN, 1969 ; PEREL, 1969) se sont surtout intéressés au développement des populations introduites et très peu à leurs effets sur le sol (observations globales de la pédogenèse résultante).

Les travaux en Nouvelle Zélande, ont permis de poser certains problèmes techniques dans un contexte économique donné : l'introduction d'*A. caliginosa* dans les prairies possédant une accumulation superficielle de litière, provoque, à court terme, un accroissement de 70 % du rendement de fourrage. A plus long terme, le rendement se stabilise à 25 % - 30 % du niveau originel (LACY, 1977). Aux Pays-Bas, l'introduction de *Lumbricus terrestris, A. caliginosus* et *A. chlorotica* a entraîné une augmentation de 10 % de la production fourragère d'un polder récent (HOOGERKAMP *et al,* 1983).

Les travaux plus récents (cf. biblio Europe Amériques) posent les conditions d'un véritable développement de la biostimulation : en même temps que les conséquences de telles introductions sur la pédogenèse des milieux doivent être plus finement étudiés (nécessité d'une approche pédobiologique), les capacités biostimulantes des espèces lombriciennes doivent être cernées de plus en plus au niveau spécifique.

De nombreux travaux d'introduction utilisent *A. calaginosa,* du fait même que cette espèce a suivi l'extension de l' « Homo europeus » et est ainsi devenue une espèce cosmopolite ; cependant, cette espèce n'est pas nécessairement la plus intéressante du point de vue du fonctionnement des sols : les travaux les plus récents ont montré l'importance de la notion de peuplement (composition et origine) (TREHEN et BOUCHÉ, 1984) et la prépondérance des espèces anéciques *sensu lato* (BOUILLOT et FRENOT, 1981 ; KRAUTLER, 1982 ; CLUZEAU, 1983 ; CURRY, 1983 ; HEIDET, 1983 ; LOUINEAU, 1983 ; VIMMERSTEDT, 1983). Ainsi en Nouvelle Zélande dans une prairie où des populations introduites d'*A. calaginosa* et de *L. rubellus* étaient bien établies, l'introduction d'*Aporrectodea longa* (ajoutant la fonction anécique), a accru la production végétale de 20 % SYERS et SPRINGETT (1983).

Le tableau II résume les données bibliographiques actuellement disponibles.

Pour les sols naturels ces introductions ont été pratiquées dans de nombreux pays et dans les milieux très variés. Les publications peuvent être anciennes, comme en URSS, et en Nouvelle Zélande, elles sont plus abondantes que les précédentes. Les indications fournies par ces travaux sont cependant très disparates, la validité statistique des résultats d'un grand nombre de ces travaux reste encore à préciser.

TAB. II

Introductions volontaires d'espèces lombriciennes en sols naturels ou anthropiques

	Pays	publ.	Années	Milieux	Lombriciens			Dével.	Effet sur sol	Effet sur plantes
Sols naturels	U.R.S.S.	11	39-82	Désert irrigué	EP	AN	EN	3 1 2	oui	oui
	France	7	80-86	Prairie Landes Forêts		AN	EN	2-1	oui	
	N^lle^-Zélande	5	51-83	Prairies		AN	EN	3	oui	oui
	Australie	4	61-86	Prairies			EN		oui	oui
	Canada	1	1981	Forêts		AN	EN			
	Angleterre	2	1980 1984	Forêts Prairies		AN ?		0-1 3	non ?	oui
Sols anthropiques	Hollande	4	69-83	Polders		AN	EN	2-3 2-3	oui	oui
	U.S.A.	3	73-83	Terrils		AN		2	oui	oui
	France	2	1983	Carrières Polders		AN		2	oui	
	Irlande	1	1983	Tourbières	EP	AN	EN	2-1 2-1 2-1	oui	
	Angleterre	1	1986	Car. amiante	EP			0-1	—	—

EP = Épigés
AN = Anéciques
EN = Endogés

1 = Faible
2 = Moyen
3 = Fort

Les néozélandais sont allés le plus loin dans l'application de leurs travaux, puisqu'ils ont mis au point une machine à collecter puis distribuer des blocs de sols renfermant des lombriciens (Cf. Fig.1).

En définitive, il ressort de cette synthèse bibliographique, les éléments suivants (Tab. III).

Ce sont les épigés qui ont la vitesse de reproduction la plus élevée ;

Par contre, les effets bénéfiques sur la végétation sont surtout l'œuvre des

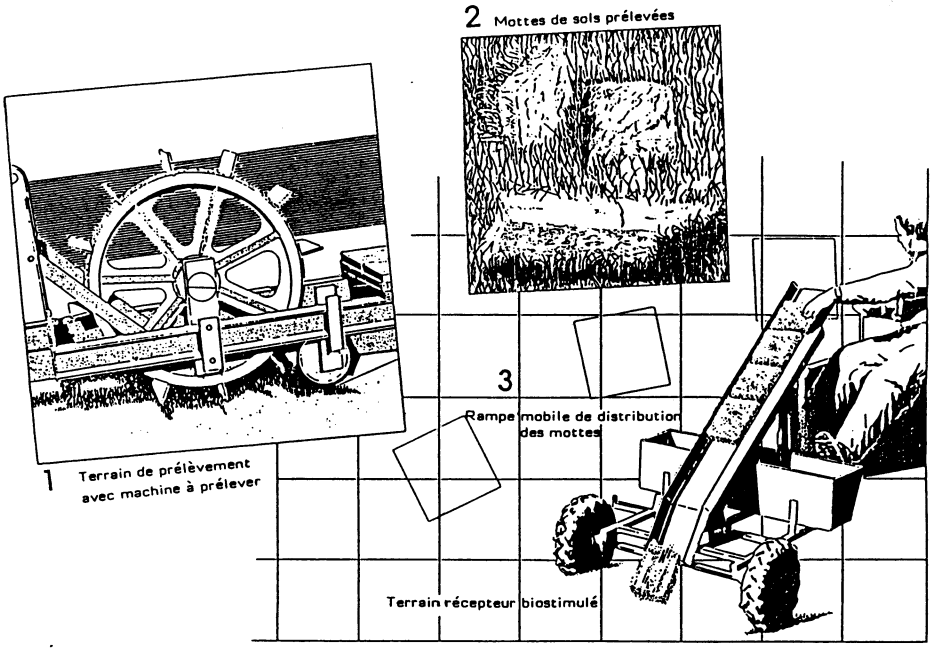

FIG. 1. — Technique néozélandaise de prélèvement de lombriciens.

TAB. III

Développement et impacts sur le sol et la végétation des différentes catégories écologiques de lombriciens

	Épigés	Anéciques	Endogés	Références bibliographiques
Vitesse de colonisation	2	1	3	NIELSON, 1951 ; BROOKMANN *et al.*, 1980 ; VAN RHEE, 69 ; HOOGERKAMP *et al.*, STOCKDILL, 1982.
Capacité reproduction	3	1	1	EVANS et GUILD, 1948.
Incorporation de litières	1	3	2	RAW, 1962 ; EDWARDS et HEATH, 1963 ; VAN RHEE, 1969 ; NELSON et HOLE, 1964.
Incorporation de calcaire	1	3	1	
Création de galeries	1	3	2	JEANSON, 1971 ; SPRINGETT, 1983.
Production fourragère (Ray-grass)	1	2	2	GRAFF zt MAKESCHIN, 1980, SPRINGETT, 1983.
Production céréalière (Orge)	1	3	2	ATLAVINYTE *et al.*, 1968.
Production racinaire	1	2	2	GRAFF et MAKESCHIN, 1980.

1 = Faible 2 = Moyen 3 = Fort

anéciques et des endogés avec une prédominance manifeste des anéciques pour ce qui concerne le sol.

On constate un manque de connaissances fondamentales au niveau des capacités de reproduction et d'adaptation aux milieux transformés des lombriciens anéciques et endogés.

L'approche pédobiologique apparaît donc nécessaire avec une standardisation des paramètres à prendre en compte (biologiques et pédologiques) dans la comparaison d'espèces lombriciennes et l'élaboration d'indices de capacités biostimulantes.

II. — ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES ET TECHNIQUES

A) Éléments méthodologiques.

L'amélioration des sols par la biostimulation doit prendre en compte l'origine de l'absence ou la carence en telle ou telle catégorie écologique car il existe des situations édaphiques où même en présence de lombriciens, les fonctions proprement lombriciennes ne sont pas remplies (exemple des landes Bretonnes), la réalisation d'un diagnostic préalable est donc fondamental si l'on veut orienter efficacement la stratégie de biostimulation lombricienne et choisir les techniques les mieux adaptées.

Au niveau opérationnel, la première chose est de faire un état des lieux :

— Prélèvement qualitatif à la bêche dans le sol initial (ou pour les sols apportés dans ceux-ci) repérant notamment les zones à turricules, relevés des espèces, permettant de connaître leur rôle par attribution aux catégories écologiques. S'il y a présence d'espèces potentiellement utiles, la mesure quantitative du peuplement est nécessaire. Il faut adopter impérativement une technique efficace et économe d'échantillonnage. (Méthode BOUCHÉ : ALIAGA, (1986)). Si le peuplement en anéciques et en endogés efficaces est réduit mais suffisant pour une restauration dans les années suivantes, on pourra adapter la gestion du milieu pour favoriser le développement de cette faune édaphique : cela commence à se faire en milieu cultivé sous céréales (STRASMAN et DALLEINNE, 1986), sous vigne (CLUZEAU *et al*, 1985), et en forêt. Si le peuplement est déficient en anéciques et en endogés, l'introduction de tels lombriciens doit être envisagée en choisissant les espèces : jusqu'à présent, ce choix s'est fait principalement sur une base empirique. Les connaissances tant écologiques sur le rôle des vers de terre que zoologiques (sur le potentiel biologique utilisable) nous permettent de choisir la catégorie écologique recherchée et les espèces les mieux adaptées au sol et au type de végétation grâce à une base de données portant sur plus de 2500 points d'études en France (BOUCHÉ, 1972).

Cependant, il est nécessaire, pour les espèces choisies, de pouvoir disposer d'une grande quantité d'individus en un point donné et au coût le plus avantageux, en restant dans une limite très raisonnable des budgets alloués aux restaurations de sol.

B) Éléments techniques.

La collecte des lombriciens nécessaires à toute opération de biostimulation par introduction peut se faire au moyen de différentes techniques qui, actuellement, peuvent se regrouper en trois catégories relativement distinctes (Cf. Tab. IV).

1. *Les techniques manuelles :*

Elles ont été mises au point par les spécialistes dans le cadre de recherches plus fon-

TAB. IV

Techniques pour la collecte et la production de lombriciens

	MÉTHODES	PRINCIPES	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
b	Machine à prélèvement néozélandaise	Roue crantée de prélèvement	Coûts de main-d'œuvre réduits	Perturbation des terrains, sources
a	Pièges attractifs	Pot percé de petits orifices contenant terre + fumier	Peu de perturbations, terrains, drainage des lombriciens, répétitivité de l'opération.	Préparation du mélange, plusieurs manutentions. Efficacité variable.
	Formol	Arrosage d'eau formulée	Faible perturbation, terrains	Efficacité à préciser / Mécanisation difficile, main-d'œuvre nécessaire
	Électricité	Création d'un champ électrique	Perturbation physique nulle	Stress biologique
	Vibration	Générateur d'ondes		Compaction
c	Unité de production contrôlée	Élevage en conditions contrôlées et intensives d'espèces lombriciennes fonctionnellement intéressantes	Évite les opérations de prélèvement. Rentabilisation si marché intérieur	Aucune réalisation expérimentale. Choix réduits d'espèces utilisables. Uniformisation génétique

a : Les techniques manuelles.
b : Les techniques mécanisées.
c : Les techniques industrielles de type biotechnologique.

damentales qu'appliquées. Elles nécessitent de ce fait, une main d'œuvre considérable. (RAN, 1959 ; SATCHELL, 1969 ; JEANSON, 1971 ; LOFS-HOLMINS, 1979 ; SPRINGETT *et al.*, 1982).

2. *Les techniques mécanisées :*

Actuellement, seuls les néozélandais ont mis au point une technique mécanisée qui est pratiquée et diffusée par le Ministère de l'Agriculture et des Pêches de ce pays (Cf. Fig. 1) (STOCKDILL, 1982).

3. *Les techniques industrielles du type biotechnologie :*

De manière non exclusive, il est fort possible d'envisager la mise en place d'unités de production contrôlée (UPC) de certaines espèces lombriciennes agronomiquement intéressantes. Car les techniques de ramassage sans mécanisation sont très laborieuses et coûteuses et ne peuvent être envisagées que dans des cas plus ou moins ponctuels.

Pour l'instant, il y a peu de travaux fondamentaux sur les paramètres de reproduction et de croissance de telles espèces en conditions contrôlées. LOFS HOLMINS (1983), CURRY et BOLGER (1984), EVANS et GUILD (1947 a et b), LAKANY et SATCHELL (1970).

La lombriculture moderne de ces dernières années s'est quasi-exclusivement intéressée à la production d'*E. fetida andreï.*

Avant que les connaissances des capacités biostimulantes de différentes espèces ne soient acquises, ce type de production peut être envisagé avec les espèces. cosmopolites telles *L. terrestris* et *A. caliginosa.*

C) Perspectives et limites.

En l'état actuel, ces techniques sont utilisées essentiellement par les quelques équipes scientifiques qui travaillent sur les lombriciens.

Une étude plus approfondie de faisabilité doit être engagée rapidement. Il apparaît clairement que les techniques de ramassage sont des méthodes laborieuses et onéreuses utilisables uniquement sur des parcelles expérimentales de faibles étendues.

La technique mécanisée néozélandaise, prélevant des mottes de terres en surface est peu efficace lorsque le diagnostic, préalable révèle la nécessité d'introduire des espèces lombriciennes vivant en profondeur.

Par ailleurs, le dépôt de ces mottes en surface sur les prairies ou pâturages peut être pénalisant pour la production végétale.

Il semble donc que l'apport des populations issues d'unités de productions contrôlées soit l'alternative technique la plus prometteuse à l'heure actuelle, comme le soulignent CURRY et COTTON (1983).

III. — CONCLUSION

L'utilisation judicieuse des techniques classiques de mise en valeur des milieux naturels est souvent suffisante pour déclencher les processus d'amélioration des sols sans impliquer de surcoût excessif.

A l'inverse, pour ce qui concerne l'introduction des lombriciens, l'état de l'art dans ce domaine nous a révélé le principal facteur limitant le développement de cette technique, à savoir : le degré de pertinence économique et écologique.

En effet, en l'état actuel de leur développement, les méthodes et les techniques d'introduction de lombriciens nécessitent une main d'oeuvre considérable.

La mécanisation de ces techniques à l'image de ce qui a été fait en Nouvelle Zélande, ne sera possible que lorsque l'efficacité biostimulante des lombriciens introduits aura pu être démontrée en termes de quantité et de qualité sur les productions végétales et les sols.

Par ailleurs, il faudra également évaluer les surfaces concernées par de telles introductions, celles-ci pouvant varier sensiblement selon que l'on considère soit les sols qui en sont totalement démunis, (terrains dégradés, pollués, reconstitués), qui semblent à priori être ceux pour lesquels ces introductions sont les plus pertinentes, soit tous les sols dont l'activité lombricienne pourrait être améliorée par des introductions complémentaires d'espèces lombriciennes efficientes mais pour lesquels la pertinence de telles introductions doit être évaluée.

Quel que soit l'enjeu écologique de la biostimulation lombricienne, il nous paraît opportun, vu les quantités de lombriciens que pourraient nécessiter les opérations de biostimulation, de développer les recherches engagées sur la production contrôlée des espèces écologiquement les plus intéressantes.

La disponibilité, en quantité suffisante, de telles espèces lombriciennes éliminerait les opérations fastidieuses et coûteuses de prélèvement de ces

animaux avec toutes les perturbations que cela entraîne au niveau des terrains concernés.

Il est à présent urgent d'envisager conjointement aux recherches fondamentales sur les capacités biostimulantes spécifiques, des recherches-développement à caractère innovant pouvant répondre à la demande de l'ingénierie dans la réhabilitation des milieux naturels dégradés.

Résumé

La prise de conscience du rôle joué par les lombriciens dans les écosystèmes terrestres est ancienne (Hensen 1877, Darwin 1881). Pourtant, l'acquisition des connaissances fondamentales sur la biologie, puis l'écologie de ces espèces animales est récente.

L'application en France de ces connaissances pour développer un outil écologique d'amélioration des sols est ponctuelle et anecdotique. La technique, dans ce domaine, est donc restée pour une large part artisanale.

L'actualité des recherches-développement à caractère innovant, dans le domaine biologique et environnemental au sens large, nous conduit à débattre et argumenter les possibilités de mise en oeuvre de techniques crédibles pour l'amélioration biologique des sols par stimulation ou introduction d'espèces lombriciennes efficientes.

Summary

Biostimulation: Prospects and limitations of biological improvement of soils by stimulation or introduction of earthworms

Knowledge of the role played by earthworms in the regulation of soil system dates back to the 19th century (Hensen 1877, Darwin 1881). However the acquisition of scientific data on the biology and the ecological impact of these animals, is recent.

In France implementation of this knowledge has beeen restricted to a few cases. Techniques in this area have therefore remained largely empirical.

The current trend of innovatrice research and development in the area of biology and environnement lead us to argument the possibility of finding credible techniques allowing the large scale utilization of earthworms for soil improvment.

Références bibliographiques

I. — *Stimulation et biostimulation lombriciennes dans les différents continents*

A) En EUROPE.

Andersen (N. C.), 1983. — Nitrogen turnover by earthworms in arable plots treated with farmyard manure and slurry. *In : Earthworm Ecology.* (J. E. Satchell Ed.), Chapman and Hall, London, p. 139-149.

BOSSE (I.), 1967. — Restoration of biologically improverished Weinberg soils, an example of earthworms colonization (German). *In : Progress in Soil Biology.* (O. Graff et J. E. Satchell, Eds.). North Holland Publishing Company, Amsterdam). p. 299-309.

BOUCHÉ (M. B.), 1981. — *Lombriciens et développement. Biostimulation des sols et bio-indications.* C. R. Journées d'études de l'Association Française des Ingénieurs Écologues « *Indicateurs biol. et tech. d'études* ». p. 65-79.

BOUILLOT (H.) & FRENOT (Y.), 1981. — *Premier essai de biostimulation des sols par introduction de lombriciens sur les landes de Paimpont.* Mémoire DAA, ENSAR Univ. RENNES I. 40 p.

CASTEELS (H.), HEUNGENS (A.) & PELERENTS (C.), 1983. — Variations de la population des vers de terre dans des mélanges de limon, boue de papeterie, compost urbain et fumier (German). *Med. Fac. Landbouww., Rijksuniv. Gent,* **48**.

CLUZEAU (D.), 1983. — *Étude du peuplement lombricien autochtone de compost d'ordures ménagères broyées et introduction expérimentale d'anéciques.* Mémoire DEA Éco-Étho. Aménag., Univ. Rennes I, multigr. 40 p.

CLUZEAU (D.), LEBOUVIER (M.), TREHEN (P.), BOUCHÉ (M. B.), BADOUR (C.) & PERRAUD (A.), 1985. — Relationships between earthworms and cultural methods in the vineyards of Champagne. First results. *In : 4th Symp. Earthworms.* 01-05/04/85. Bologne ITA, (OMODEO P. Ed.) (*sous presse*).

CURRY (J. P.), 1976. — Some effects of animal manures on earthworms in grassland. *Pedobiologia,* **16**: 425-438.

CURRY (J. P.) & COTTON (C. F.), 1983. — Earthworms and land reclamation. *In : Earthworm Ecology.* (J. E. Satchell Ed.), Chapman and Hall, London, p. 215-229.

DE BLIGNIÈRES (F. X.), 1983. — Effets d'un apport d'ordures ménagères sur la faune lombricienne d'une lande. *Comp. Inf.,* **11**: 5-10.

DIAGNE (A.), 1982. — *Effets d'une fertilisation minérale sur l'humification, les cycles biologiques, et la productivité d'une hêtraie acidiphile sur grès de l'est de la France.* Thèse Doc. Ing., Univ. de Nancy. I. 80 p.

DUNGER (W.) 1969. — Enquiries into the natural and experimental colonisation of uncultivated soils by earthworms (German). *Pedobiologia,* **9**:146-152.

DUNGER (W.), 1969. — On the role of arthropods in the composition of litter in the initial stages of soil formation (German). *Pedobiologia,* **9**: 366-371.

EDWARDS (C. A.), 1983. — Earthworms ecology in cultivated soils. In : *Earthworms Ecology.* (J. E. Satchell Ed.), Chapman and Hall, London, pp. 123-137.

EIJSACKERS (H. P. J.), 1983. — Development of earthworm populations in abandonned arable fields under grazing management. *In : Earthworms Ecology* (J. E. Satchell Ed.), Chapman and Hall, London, pp. 241-246.

GRAFF (O.), 1970. — The influence of different mulch materials on the content of nutrient elements in subsoil earthworm tubes. *Pedobiologia, 10* : 305-319.

GRAFF (O.) & MAKESCHIN (F.), 1980. — Crop yield rye-grass influenced by the excretions of three earthworm species (German). *Pedobiologia,* **20**: 176-180.

HEIDET (J. C.), 1983. — *Essai de biostimulation de sols par introduction de lombriciens.* Mémoire DEA. Écologie. Univ. de Montpellier, 37 p.

HEIDET (J. C.), BRUN (J. J.) & BOUCHÉ (M. B.), 1987. — Biostimulation par introduction de lombriciens en sols argileux et reconstitués. *Acta Oecol. Oecol. Appl.* (*à paraître*).

HOOGERKAMP (M.), ROGAAR (H.) & EIJSACKERS (H. J. P.), 1983. — Effect of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherlands. *In : Earthworm Ecology* (J. E. Satchell Ed.), Chapman and Hall, London, pp. 85-105.

HUTVA (V.), 1979a. — Effects of liming and deciduous litter on earthworms (Lumbricidae) populations of a spruce forest, with an inoculation experiment on Allolobophora caliginosa. *Pedobiologia,* **19**: 340-345.

HUHTA (V.), 1979b. — Succession of invertebrate populations in artificial soil made of sewage sludge and crushed bark. *Ann. Zool. Fennici,* **16**: 223-270.

HUSTON (B. R.), 1972. — *The invertebrates fauna of a reclaimed pit heap.* Landscape Reclamation, Vol. 2, IPC Press, Guilford, pp. 64-69.

HUSTON (B. R.), 1980a. — Colonization of industrial reclamation sites by Acari, Collembola and other invertebrates. *J. Appl. Ecol.,* **17**: 255-275.

HUTSON (B. R.), 1980b. — The influence on soil development of the invertebrate fauna colonizing industrial reclamation sites. *J. Appl. Ecol.,* **17**: 276-286.

KOSCIELNY (L.), 1984. — Colonization mechanisms and succession of isopods (Crustacea, Isopoda, Oniscoidea) on differently treaded refuse tip covers. *In : New Trends in Soil Biology.* (Lebrun P. *et al.* Eds.), Proc. VIIIth Int. Soil Zool. Coll., Dieu-Beichart. Louvain-la-Neuve, pp. 535-540.

KRAEUTLER (L.), 1982. — *Étude de quelques facteurs écologiques régissant la colonisation des sols des landes de Paimpont par les lombriciens.* Mémoire DAA, ENSAR. Univ. Rennes I. 40 p.

LOUINEAU (J. F.), 1983. — *Contribution à l'étude de lombriciens anéciques introduits dans les sols artificiels en Bretagne.* Mémoire DEA Éco-Étho. Aménag. Univ. Rennes I. 40 p.

MARSHALL (B.) — *Improvement of Scottish hill pastures by earthworms, clover and lime. In :* Int. Conf. Earth. in Waste and Environnement Manag. (BET and Edwards C. A., Eds), Cambridge 23-27/07/84, *(à paraître).*

MARSHALL (V. G.), 1977. — Effects of manures fertilizers on soil fauna : a review. *Commonwealth Bureau of soils,* 79 p.

NEUMANN (U.), 1973. — Succession of soil fauna in afforested spoil banks of the brown-coal mining district of Cologne. *In : Ecology and Reclamation of devasted lands.* (Hutnick R. J. and Davies G., Eds). Vol. 1, Gordon and Breach, New York, pp. 335-348.

RHEE Van (J. A.), 1969. — Inoculation of earthworms in a newly drained polder. *Pedobiologia,* **9**: 128-132.

RHEE Van (J. A.), 1969. — Development of earthworms populations in polder soils. *Pedobiologia,* **9**: 133-140.

RHEE Van (J. A.), 1971. — *The productivity of orchards in relation to earthworm activities.* In : IV Coll. Pedobiologiae. (J. d'Aguiler, Ed.), *Ann. Zool. Ecol. Anim.,* INRA. N° hors-série, **7**: 99-109.

RUHSTON (S. P.), 1986. — Development of earthworm populations on pasture land reclaimed from open coal mining. *Pedobiologia,* **29**: 27-32.

RUHSTON (S. P.), 1986. — The effects of soil compaction on Lumbricus terrestris and its possible implications for populations on land reclaimed from open cast coal mining. *Pedobiologia,* **29**: 85-90.

SATCHELL (J. E.), 1980a. — Earthworm populations of experimental birch plots on a Calluna podzol. *Soil Biol. Biochem.,* **12**: 311-316.

SATCHELL (J. E.), 1980b. — Potential birch plots as a habitat for Lumbricus terrestris. *Soil Biol. Biochem.,* **12**: 317-323.

SCHREIER (H.) & TIMMENGA (H. J.), 1986. — Earthworm response to asbestos rich serpentimtic sediments. *Soil Biol. Biochem.,* **18**: 85-89.

STANDEN (V.), STEAD (G. B.) & DUNNING, (A.), 1982. — Lumbricid populations in open cast reclamation sites and colliery spoil heaps in County Durham. *Pedobiologia,* **24**: 57-64.

STEWART (V. I.) & SCULLION (J.). — *Earthworms, soil structure and the rehabilitation of former opencast coal mining land.* In : Int. Conf. Earth. in Waste and Environnement Manag. (BET and Edwards C. A., Eds), Cambridge 23-27/07/84 *(à paraître).*

STRASMAN (A.) & DALLEINNE (E.), 1985. — Matériels de conception originale adaptés à une agriculture sans labour. *CEMAGREF, BI 331-332 Août-Septembre,* pp. 31-34.

TREHEN (P.) & BOUCHÉ (M. B.), 1983. — Place des lombriciens dans les processus de restauration des sols de lande. In : *New Trends in Soil Biology.* (Lebrun P. et *al.* Eds.), Proc. VIIIth Int. Soil Zool. Coll., Dieu-Beichart. Louvain-la-Neuve, pp. 471-485.

B) **En URSS.**

BELOUSAVA (N. K.), 1975. — Soil zoological studies in fruit-tree plantations of the S. E. par of Kazackstan (Russian). Problemy Pocvennoj *Zoologii-Mater. V. Vsescocjuzn. Sovesc.* : 76-78.

DIMO (N. A.), 1938. — The earthworms in the soils of Central Asia (Russian). *Pochvovedenie,* **4**: 494-526.

DZANGALIEV (A. D.) & BELOUSAVA (N. K.), 1969. — Earthworms in irrigated orchards with various systems of treatement (Russian). *Pedobiologia,* **9**: 103-105.

GHILAROV (M. S.), 1965. — Some practical problems of soil zoology. *Pedobiologia,* **5**: 189-204.

GHILAROV (M. S.) & MAMAEV (B. M.), 1966. — Uber die Ansiedlung von Regenwormern in den artesisch bewasserten Oasen der We ste Kysil-Kum. *Pedobiologia,* **6**: 197-218.

GHILAROV (M. S.) & PEREL (T. S.), 1984. — Transfert of earthworms foi soil amelioration in the USSR. *Pedobiologia,* **27**: 107-113.

JAGDYEV (A.), 1969. — Soil dwelling invertebrates along the Karakun Canal (Russian). Avtoreferat Kanddissert. *Akad. nauk Tarkmenskoj SSR, Ashhabad :* 1-20.

PEREL (T. S.), 1969. — Earthworms (Lumbricidae) of montane Central Asia (German). *Pedobiologia,* **9**: 55-68.

PEREL (T. S.), 1975. — Experimentation of an introduction of earthworms into forest plantations of the clay semi desert (Russian) *Tez. Dokl. Vseojuzn Sovescanija. Moskva*: 52-55.

ZRAZEVSKY (A. I.), 1958. — Earthworms and the interrelations of tree and shrub species (Russian). *Priroda (Mosc.),* **47**: 96-98.

C) **En AMÉRIQUE.**

BROCKMANN (W.) KOEHLER (H.) & SCHRIEFER (T.), 1980. — Recultiviation of refuse tips: Soil ecological studies. *In: Soil Biol. as related to land use practices.* (D. L. Dindal, Ed.) Proc. VIIth Int. Soil Zool. Coll., E.PA., Washington D. C., pp. 161-168.

DINDAL (D. L.), SCHWERT (D. P.), MOREAU (J. P.) & THEORET (L.), 1977. — Earthworms communities and soil nutrients levels as affected by municipal wastewater irrigation. *In: Soils Organisms as Components of Ecosystems.* (U. Lohm and T. Persson, Eds.), Ecol. Bull. (Stockholm) 25: 284-290.

HAMILTON (W. E.) & VIMMERSTEDT (J. P.), 1980. — Earthworms of forested spoil banks. *In: Soil Biol. as related to land use pratices.* (D. L. Dindal, Ed.), Proc. VIIth Int. Soil Zool. Coll. E.P.A. Washington D.C., pp. 409-417.

LANGMAID (K. K.), 1964. — Some effects of earthworms invasion in virgin podzols. *Can. J. Soil Sci.*, **44**: 34-37.

PARSONS (W. F. J.) & PARKINSONS (D.), 1986. — Species composition distribution and abundance of Collembola colonizing reclaimed mine spoils in Alberta. *Pedobiologia*, **29**: 33-45.

VIMMERSTEDT (J. P.), 1983. — Earthworms ecology in reclaimed open cast coal mining sites in Ohio. *In Earthworm Ecology.* (J. E. Satchell Ed.), Chapman and Hall, London, pp. 229-240.

VIMMERSTEDT (J. P.) & FINNEY (J. H.), 1973. — Impacts of earthworm introduction on litter burial and nutrient distribution in Ohio strip-mine spoil banks. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, **37**: 388-391.

D) **En OCÉANIE.**

ABBOTT (L.), 1985. — Distribution of introduced earthworms in the northern Jarrah Forest of Western Australia. *Aust. J. Soil. Res.*, **23**: 263-270.

ADEM (H. H.) & (TISDALL (J. M.), 1984. — Management of South-Eastern Australia. *Soil Tillage Res.*, **4**: 577-589.

BARLEY (K. P.), 1961. — The abundance of earthworms in agricultural land and their possible significance in agriculture. *Adv. Agron.*, **13**: 249-268.

BARLEY (K. P.) & KLEINIG (C. R.), 1964. — The occupation of newly irrigated lands by earthworms. *Aust. J. Sci.*, **26**: 290-291.

LACY (H.), 1977. — Putting new life in worm less soil. *N. Z. Farmer*, **98**: 20-22.

NIELSON (R. L.), 1951. — Effects of soil minerals on earthworms. *N. Z. J. Agric.*, **83**: 433-435.

NIELSON (R. L.), 1953. — Earthworms: recent research work. *N. Z. J. Agric.*, **86**: 374.

STOCKDILL (S. M. J.), 1959. — Earthworms improve pasture growth. *N. Z. J. Agric.*, **98**: 227-233.

STOCKDILL (S. M. J.), 1982. — Effects of introduced earthworms on the productivity of New-Zeland pastures. *Pedobiologia*, **24**: 29-35.

STOCKDILL (S. M. J.) & COSSENS (G. G.), 1966. — *The role of earthworms in pasture production and moisture conservation.* Proc. 28th Conf. N. Z. Crassld. Assoc., pp. 168-183.

SYERS (J. K.) & SPRINGETT (J. A), 1983. — Earthworms ecology in grassland. *In: Earthworm Ecology.* (J. E. Satchell Ed.), Chapman and Hall, London, pp. 67-83.

TISDALL (J. M.), 1985. — Earthworms activity in irrigated Red-brown earths used for annual crops in Victoria. *Aust. J. Soil Res.*, **23**: 291-299.

TISDALL (J. M.), OLSSON (K. A.) & WILLOUGHBY (P.), 1984. — Soil structural management and production in a non-cultivated peach orchard. *Soil Tillage Res.*, **4**: 165-174.

II. — *Généralités et divers*

ATLAVINYTE (O.), BAGDONAVICENNE (Z.) & BUDVICIENE (L.), 1968. — The effect of lumbricidae on the barley crops in various soils. *Pedobiologia*, **8**: 415-423.

BOUCHÉ (M. B.), 1972. — Lombriciens de France : Écologie et systématique. *Ann. Zool. Écol. Anim. numéro spécial*, 72-2, 671 p.

BOUCHÉ (M. B) & ALIAGA (R.), 1986. — Contre une dégradation physique et chimique des sols et pour leur optimisation économique, l'échantillonnage des lombriciens en milieu rural : une urgente nécessité. *La défense des végétaux*, **242**: 30-36.

BRUN (J. J.), 1978. — *Étude de quelques humus forestiers de l'Est de la France. Critères analytiques et classification morphologique.* Thèse 3e cycle Nancy I, 118 p.

BRUN (J. J.), 1982. — Revégétalisation des terrains dégradés : Éléments d'une méthodologie pour restaurer la fertilité des sols. *CEMAGREF, Étude n°* **182**, 97 p.

CLUZEAU (D.) & TREHEN (P.) *(présent colloque).* — Approche descriptive du système lande en Bretagne centrale dans les inter-relations Sol-Végétation-Faune édaphique après appors massifs de déchets ménagers broyés.

CURRY (J. P.) & BOLGER (T.), 1984. — Growth, reproduction and litter and soil comsumption by *Lumbricus terrestris* (L.) in reclaimed peat. *Soil Biol. Bioch.*, **16**: 253-257.

DARWIN (C.), 1881. — *The formation of vegetable mould through the action of worms, with observations on their habits.* C. Reinwald, Paris, 264 p.

EDWARDS (C. A.) & HEATH (G. W.), 1963. — The role of soil fauna in breakdown of leaf material. *In: Soils Organisms,* (J. DOEKSEN and J. van der DRIFT, Eds), North Holland Publishing Company, Amsterdam, p.

EVANS (A. C.), 1948. — Studies on the relationships between earthworms and soil fertility: II - Some effects of earthworms on soil structure. *Ann. Applied Biol.*, **35**: 1-13.

EVANS (A. C.) & GUILD (D. W. McL.), 1947. — Some notes on reproduction in British earthworms. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, **11**: 654-659.

EVANS (A. C.) & GUILD (D. W. McL.), 1947. — On the cocoons of some British Lumbricidae. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, **11**: 714-719.

EVANS (A. C.) & GUILD (D. W. McL.), 1948. — Studies on the relationships between earthworms and soil fertility : IV-On the life cycles of some British Lumbricidae. *Ann. Appl. Biol..*, **35**: 471-484.

HENSEN (V.), 1877. — Die tätigkeit des Regenwurms (*Lumbricus terrestris* L.) für die fruchtbarkeit des Erdbodens. *Zeistschrift F. Wiss. Zool.* **28**: 354-364.

JEANSON (C.), 1963. — *Extracteur de vers de terre par le courant électrique.* Brevet d'invention C.N.R.S. du 12 octobre 1964, Nxl 378 869, 5 p.

JEANSON (C.), 1971. — Étude expérimentale de l'action de vers de terre sur les sols artificiels. *In : La vie dans les sols.* (Pesson, Ed.), Gauthier-Villars, Paris, pp. 213-229.

LAKHANI (K. H.) & SATCHELL (J. E.), 1970. — Production by *Lumbricus terrestris* (L.). *J. Anim. Ecol.*, **39**: 473-492.

LEE (K. E.), 1985. — *Earthworms : Their ecology and relationships with soils and land use.* Academic Press, Sydney, 411 p.

LE TACON (F.) & OBATON (M.). — Faune et flore du sol : les organismes symbiotiques. *In* : C. R. Journ. d'études et d'informat. ACTA, 4-5 Mai 1983. « *Faune et flore auxiliaires en agriculture* », pp. 119-134.

LOFS-HOLMIN (A.), 1979. — A pot method for field experiments with earthworms. *Inst. Ekol. Miljv.*, **6**: 41 p.

LOFS-HOLMIN (A.), 1983. — Reproduction and growth of common arable land and pasture species of earthworms (Lumbricidae) in laboratory cultures. *Swedish J. Agric. Res.*, **13**: 31-37.

NIELSEN (G. A.) & HOLE (F. E.), 1964. — Earthworms and the development of coprogenous A 1 horizons in forest soils Wisconsin. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **28**: 426-430.

RAW (F.), 1960. — Earthworm populations studies : a comparaison of sampling methods. *Nature (Lond.)*, **187**: 257.

RAW (F.), 1962. — Studies of earthworm populations in orchards. I. Leaf burial in apple orchards. *Ann. Applied Biol.*, **50**: 389-404.

RHEE Van (J. A.), 1963. — Earthworm activities and the breakdown of organic matter in agricultural soils. *In : Soils Organisms.* (J. DOEKSEN and J. van der DRIFT, Eds), North Holland Publishing Company, Amsterdam, pp. 360-371.

RUHSTON (S. P.) & LUFF (M. L.), 1984. — A new electrical method for sampling earthworm populations. *Pedobiologia*, **26**: 15-19.

SATCHELL (J. E.), 1955. — An electrical method of sampling earthworm populations. *In : Soil Zoology.* (D. K. McE. Kevan, Ed.), Butterworth, London, pp. 356-364.

SATCHELL (J. E.), 1969. — Methods of sampling earthworm populations. *Pedobiologia*, **9**: 20-25.

SPRINGETT (J. A.), 1983. — Effect of live species of earthworms on some soil properties. *J. Appl. Ecol.*, **20**: 865-872.

TOUTAIN (F.), 1981. — Les humus forestiers : structure et modes de fonctionnement. *Rev. Forest. Fr.*, **33**: 449-477.

WESTERINGH van (W.), 1972. — Deterioration of soil structure in worm free orchard soils. *Pedobiologia*, **12**: 6-15.