

**Adapter la technique de semis des prairies
pour maintenir de fortes biomasses de lombriciens
dans des sols normands hydromorphes**

P. Granval¹, D. Leconte², M.B. Bouché³

Dans la perspective de systèmes agricoles durables et respectueux de la faune sauvage, la recherche d'itinéraires techniques peu destructeurs des lombriciens s'avère pertinente : tout en maintenant le niveau de production fourragère, certaines techniques de semis des prairies s'avèrent aussi moins coûteuses, intéressantes pour la portance et le lessivage...

RESUME

Trois techniques de rénovation de prairies permanentes ont été comparées : semis avec labour, travail simplifié ou semis direct, avec dans les 2 dernier cas destruction de la végétation par un herbicide (non toxique pour les lombriciens) à l'automne. Le semis après travail simplifié, moins coûteux et moins destructeur pour la faune lombricenne que le semis après labour, assure des productions fourragères identiques. Le semis direct, encore moins coûteux et moins destructeur pour les lombriciens, est plus aléatoire quant à l'installation de la prairie. Au cours de l'hiver, les lombriciens anéciques ont ici assimilé la litière morte et préparé le lit de semences. L'absence de travail du sol est favorable à la portance et limite le lessivage. Le maintien d'une population lombricenne importante (2,37 t/ha) contribue à la fréquentation de la prairie par divers prédateurs.

MOTS CLES

Azote, environnement, étude économique, faune lombricenne, lessivage, maïs, prairie, prairie permanente, portance, semis, semis direct, technique culturale.

KEY-WORDS

Carrying capacity, cultivation techniques, direct seeding, earthworm fauna, economical study, environment, leaching, maize, nitrogen, pasture, permanent pasture, seeding.

AUTEURS

1 : Direction de l'Evaluation et de la Prospective (ONCFS), domaine de Saint Benoist, F-78610 Auffargis ; mél : philippe.granval@onc.gouv.fr

2 : Domaine Expérimental Fourrager du Vieux Pin, F-61310 Le Pin-au-Haras.

3 : INRA, Laboratoire de zoécologie du sol, 2, Place Pierre Viala, F-34060 Montpellier cedex 1.

1. Introduction

* Les prairies permanentes accueillent de fortes populations de lombrics

Les prairies permanentes occupent en France 10,5 millions d'hectares (IFEN, 1996) et sont moyennement productives. Une fertilisation raisonnée et un mode d'exploitation judicieux permettent d'augmenter leur production. Au domaine INRA du Vieux Pin (Le Pin-au-Haras, Orne), la production d'une prairie pâturée suivie pendant quinze ans est passée de 4,5 à 8 t MS/ha après emploi d'une fertilisation modeste. Bien que la production puisse atteindre 12 tonnes avec une fertilisation importante (Laissus, 1985), l'équilibre économique de l'exploitation et le souci de l'environnement poussent vers une utilisation modérée des intrants ; ceux-ci ne sont d'ailleurs pas toujours suffisants lorsqu'on veut obtenir une franche et rapide amélioration d'une prairie dégradée (Leconte *et al.*, 1993).

La prairie permanente, non labourée, est particulièrement favorable au maintien de fortes populations de lombriciens (Granval, 1988b). Les sols de prairie sont caractérisés par un taux important de matières organiques, de 4 à 12% du poids de matière sèche du sol dans les dix premiers centimètres. Les biomasses de lombriciens sont élevées, supérieures à 1 t/ha de poids frais (Bouché, 1972 ; Lee, 1985). Or cette biomasse, la deuxième de la communauté de l'écosystème prairial, joue des rôles importants dans la percolation de l'eau et le recyclage des éléments minéraux. On estime que les sols de prairies permanentes sont moins denses et mieux aérés que les sols cultivés, à condition de maintenir une forte biomasse lombricienne car ils ne sont jamais aérés par les façons culturales. Le rôle agronomique des vers de terre a été résumé par Bachelier (1978), Bouché (1984a et b), Lee (1985), et Syers et Springett (1983).

* Diverses méthodes de ressemis des prairies permanentes existent...

Le ressemis d'une prairie dégradée ou la destruction d'une prairie, voire l'installation d'une culture de maïs, impliquent de travailler le sol pour créer un lit de semence favorable. Le labour des prairies permanentes est souvent difficile à réaliser à cause de la forte quantité de matière organique. Celle-ci nécessite le passage d'outils à fraise pour le déchiquetage du gazon avant le labour. Dans les sols minces et hétérogènes reposant sur un sous-sol argileux, le labour doit être réalisé à faible profondeur et risque de remonter les cailloux en surface et de colmater les galeries de lombriciens par lissage de la semelle de labour. Le travail du sol profond diminue les peuplements lombriciens (Edwards et Lofty, 1982 ; Granval, 1994 ; Lavelle *et al.*, 1989).

Les problèmes liés au labour ont conduit à tester des techniques de semis direct sans labour rendues possibles par l'utilisation d'herbicides. Le principe initial consiste à détruire la végétation des prairies en période de végétation active par des herbicides non rémanents et à ressemer immédiatement avec des semoirs spécialisés (Leconte et Jeannin, 1991). La réussite de ces semis directs est difficile à maîtriser pour deux raisons : d'une part, la végétation est parfois assez difficile à détruire totalement lors de la période de forte croissance et, d'autre part, les limaces, tipules et taupins, toujours très nombreux en prairie permanente, occasionnent souvent de gros dégâts aux jeunes semis. De plus cette technique, où la graine est déposée dans la couche de matière organique, est aléatoire lorsque la pluviométrie est faible, sans oublier les phénomènes d'allélopathie liés aux exsudats racinaires des agrostides (Delabays *et al.*, 1998).

* ... mais elles sont plus ou moins respectueuses des populations de lombriciens

Si les travaux aratoires du sol ont un effet négatif sur les peuplements lombriciens, peut-on concevoir des techniques de semis qui préservent cette source de nourriture importante pour la faune ? Peut-on obtenir une production fourragère élevée, sans dégrader les sols, tout en maintenant leur portance et les potentialités alimentaires hivernales pour le gibier ? Quels sont les impacts environnementaux des différents itinéraires techniques sur les pertes en nitrate, sur l'érosion et les risques de pollution diffuse ? Quelle est l'influence des pratiques fourragères intensives sur les peuplements de lombriciens ?

Le labour suivi d'un ressemis est une solution courante mais il entraîne une forte diminution des populations de lombriciens (Edwards et Lofty, 1982 ; Granval, 1994). Le drainage et la mise en culture des prairies humides entraînent leur assèchement et l'appauvrissement des populations de vers de terre. Or, ceux-ci ont un rôle tropique considérable puisqu'ils sont consommés par 200 vertébrés terrestres (Granval, 1988b ; Granval et Aliaga, 1988 ; Granval et Muys, 1996).

Ces pratiques réduisent notablement les capacités d'accueil hivernales (moindre richesse alimentaire et absence d'eau) de ces milieux pour les limicoles comme la bécassine des marais (*Gallinago gallinago*), le vanneau huppé (*Vanellus vanellus*), le pluvier doré (*Pluvialis apricaria*) et les laridés qui sont les principaux groupes consommateurs de lombriciens. L'alimentation énergétique de la bécasse des bois (*Scopolax rusticola*) est constituée de 88% de vers de terre (Granval, 1988b). Forestier le jour, cet oiseau se nourrit la nuit dans les milieux prairiaux riches en lombriciens.

Une autre technique de ressemis des prairies, plus respectueuse des populations de vers de terre et des propriétés des sols prairiaux, a été testée au domaine du Vieux Pin ; elle consiste à désherber à l'automne et à ressemer au printemps suivant (Laiussus, 1985 ; Leconte *et al.*, 1998). Les lombriciens, très actifs en période de jours courts (automne, hiver), prélèvent les organes végétaux détruits par les herbicides et les entraînent sous terre pour s'en nourrir ; ils ont donc un rôle important de "nettoyage" de la surface du sol avant le semis. Ils utilisent l'énergie de la litière de végétation morte pour effectuer un labour créateur de porosité, d'agrégats de sol stables et anti-érosifs ; ils recyclent les éléments fertilisants contenus dans la matière organique.

2. Méthodes

* Présentation de l'expérimentation du Vieux-Pin

Les essais conduits au domaine expérimental du Vieux Pin avaient pour but l'amélioration quantitative et qualitative de la production de la prairie permanente, et de permettre notamment :

- une amélioration de la pérennité de la prairie ressemée,
- un allongement de la durée de pâturage (mise en herbe plus précoce, rentrée en stabulation plus tardive, permises *a priori* par une portance améliorée),
- un temps de travail réduit et une économie d'énergie lors de l'implantation,
- une meilleure portance l'année du semis,
- la possibilité de semer en une seule journée avec des semoirs à céréales non spécialisés.

Les sols et les prairies du domaine du Vieux Pin sont représentatifs de la région est de la Basse-Normandie et en présentent les mêmes contraintes : sols minces riches en argile ; sous-sols argileux, imperméables, souvent pierreux ; portance faible, flore médiocre. En fond de vallée, les sols argilo-limoneux (35 à 47% d'argile) sont profonds. Sur les pentes, les sols limono-argileux (13 à 25% d'argile) reposent sur de l'argile à glauconies parsemée de blocs de grès de grosseurs très variables (5 à 50 cm de diamètre). Les teneurs en matière organique oscillent entre 4 et 11%. La profondeur des sols n'excède pas 15 cm sur les plateaux, en bordure de forêt. Tous ces sols, à présent bien pourvus en éléments minéraux, conservent une tendance acide, avec des pH eau compris entre 5,9 et 7,1.

Les précipitations s'élèvent à 720 mm et sont bien réparties. Les potentialités agronomiques des sols font classer le domaine du Vieux Pin parmi les surfaces agricoles défavorisées (1/3 de la SAU française) pour lesquelles la prairie est l'utilisation dominante du sol.

* Techniques de semis comparées

Trois techniques de semis (tableaux 1 et 2) ont été comparées à des témoins de prairie permanente :

- Itinéraire " labour " : déchiquetage mécanique du gazon puis labour, passage d'une herse rotative et semis au semoir à céréales.
- Itinéraire " travail simplifié " : destruction herbicide à l'automne (aminotriazole + thiocyanate d'ammonium à 3 600 g + 3 225 g MA/ha ou glyphosate à 1 000 g MA/ha, selon la végétation à détruire) puis, au printemps, passage de herse rotative, semis avec un semoir à classique, roulage.
- Itinéraire " semis direct " : destruction herbicide à l'automne (glyphosate à 1 000 g MA/ha), semis direct au semoir spécialisé au printemps suivant.

* Mesures réalisées

Les comparaisons ont porté sur le coût d'implantation de la culture, le rendement de deux productions fourragères (herbe et maïs), les biomasses lombriciennes, la minéralisation de l'azote et la portance du sol.

Les coûts d'implantation comprennent les produits de traitement, l'amortissement et l'entretien du matériel aux tarifs CUMA (Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie, 2000), et le coût de la main d'œuvre, dont les durées de travail ont été enregistrées par ailleurs.

Les lombriciens ont été prélevés par la méthode d'échantillonnage étho-physique mise au point par Bouché et Beugnot (1972) : arrosage au formol, puis bêchage et lavage-tamisage d'échantillons de sols prélevés à 20 cm de profondeur. Le travail de prélèvement consiste à nettoyer la surface du sol en dégageant la végétation et ensuite à effectuer quatre arrosages successifs (un toutes les dix minutes) avec 10 litres d'eau contenant respectivement 25, 25, 50, 50 cm³ de formol (à 38% de formaldéhyde) sur deux fois 0,5 m². L'arrosage se fait sur un carré de 1,2 m de côté pour compenser l'effet d'obliquité des galeries. Seuls les vers de terre remontés à l'intérieur de la surface du cadre sont collectés (Bouché, 1975, 1977). Ensuite, on prélève deux échantillons de 0,02 m³ de terre (0,1 m² x 0,2 m de profondeur) et les vers de terre de l'échantillon sont triés manuellement. Les biomasses lombriciennes sont exprimées en kg de poids vif par hectare.

L'analyse de variance a été utilisée pour comparer les biomasses lombriciennes obtenues dans les différents traitements comparés. L'égalité des variances n'est pas vérifiée avec les données brutes. On remarque que la variance est une fonction linéaire de la moyenne : $Sy^2 = ay$ avec $a=3$; dans ce cas, la transformation de la racine carrée est la mieux adaptée.

La minéralisation nette d'azote a été estimée par dosage des quantités contenues dans le sol (mesures en laboratoire de l'azote nitrique contenu dans l'horizon 0-30 cm) et dans les cultures en fin d'hiver.

L'appareil de pénétrométrie utilisé était de fabrication artisanale et composé d'une tige de 150 cm, d'une masse de 3,0 kg coulissant sur la tige et d'une pastille de 4 cm de diamètre à l'extrémité d'un tube muni d'une garde à 12 cm de la pastille. On compte le nombre de chutes d'une hauteur de 1 m nécessaires pour que la masse enfonce la pastille jusqu'à la garde, c'est-à-dire à 12 cm de profondeur. Les valeurs de l'indice de pénétrométrie varient de 1 (sol peu portant nécessitant l'utilisation de pneus très larges basse pression) à 16, lorsque le sol est sec, en fin de printemps ou début d'été.

3. Résultats

* Cas d'un ressemis de prairie

En première année, la production d'herbe est significativement plus élevée en parcelle labourée (tableau 1) à cause de l'important flux de minéralisation d'une forte nécromasse, flux obtenu après aération et travail du sol. En seconde année, la parcelle labourée ne marque plus de différence de productivité avec les traitements sans labour.

Tableau 1 : Comparaison technique et économique des 3 itinéraires de ressemis de prairie au Pin-au-Haras.

Table 1 : Technical and economic comparison of 3 techniques of pasture reseeding at Le Pin-au-Haras sStation.

	Coût (F) 2000	Nombre d'interventions	Temps de travail (heure/ha)	Production* (t MS/ha)	
				Année 1	Année 2
Semis classique après labour	2 554	5 - 6	10 - 11	13,1 a	10,9 b
Semis classique après travail simplifié	1 711	4	4-5	11,5 b	10,9 b
Semis direct	1 460	2	2-3	10,4 b	11,0 b
Témoin (prairie permanente)				10,1 b	10,6 b

* Test T : des lettres différentes verticalement indiquent des différences significatives au seuil P 0,05% entre traitements

La technique du semis classique après travail simplifié permet une implantation très régulière pour un coût (1 711 F TTC en 2000) moindre qu'avec la méthode traditionnelle utilisant le labour (2 554 F/ha en 2000), soit une réduction des coûts de 843 F/ha (33%). Le désherbage total avant l'hiver suivi d'un ressemis au printemps suivant est une technique fiable et économe qui est régulièrement pratiquée depuis plus de 15 ans au domaine du Vieux Pin. Le moindre coût s'explique surtout par la diminution des temps de travaux (Leconte *et al.* 1998, tableau 1).

La technique du semis direct en cours de végétation est encore moins coûteuse (réduction de 43% du coût d'un semis après labour). Mais ce désherbage total suivi d'un ressemis en cours de saison donne des résultats très dépendants du maintien continu de l'humidité du sol au cours des deux mois qui suivent le semis et de la présence d'agrostides dont les exsudats bloquent le développement des plantules semées (phénomène d'allélopathie décrits par Delabays *et al.*, 1998).

Les prix présentés dans le tableau correspondent au traitement à l'aminotriazole dont le coût a peu évolué au cours des 15 dernières années. En revanche, le prix du glyphosate est passé de 140 F en 1990 à 80 F en 1999 et 40 F en 2000 ; le gain supplémentaire des techniques simplifiées et semis direct après emploi de glyphosate est passé de 125 F/ha en 1990 à 345 F/ha en 1999 et 465 F/ha en 2000. Ainsi, en 2000, pour un coût après labour de 2 554 F, les techniques simplifiées et semis direct s'élèvent respectivement à 1 246 F/ha et 995 F/ha pour les ressemis de prairies (1 497 F/ha et 1 105 F/ha pour les semis de maïs).

* Destruction de la prairie permanente pour implantation de maïs

La mise au point de cette technique de semis sans labour avec façons culturales simplifiées a permis d'envisager l'introduction de la culture du maïs au domaine du Vieux Pin (tableau 2). On n'observe pas de différence significative de rendement quel que soit l'itinéraire technique adopté. Il est à noter une baisse de rendement (non significative) en deuxième année pour la parcelle labourée. Le sol limoneux battant se réchauffe moins bien (-0,7°C au milieu du printemps). Le maintien de la matière organique en surface préserve la structure du sol, sa porosité et favorise le réchauffement de la couche superficielle.

Tableau 2 : Comparaison technique et économique des 3 itinéraires de semis du maïs après prairie au Pin-au-Haras.

Table 2 : Technical and economic comparison of 3 techniques of maize seeding after a ley at Le Pin-au-Haras sStation.

	1 ^{ère} année		2 ^e année	
	Coût (F) 2000	Rendement(t MS/ha)*	Coût (F) 2000	Rendement(t MS/ha)*
Semis classique après labour	2 136	14,00 a	1 962**	11,72 a
Semis classique après travail simplifié	1 962	14,12 a	1 962**	13,32 a
Semis direct	1 570	13,29 a	1 962**	13,32 a

* : Test T : pas de différence significative au seuil P = 0,05% entre traitements
 ** Pour la 2^e année, même travail du sol : 2 passages croisés de cultivateur au printemps à 15-20 cm, 1 passage de herse rotative et semis conventionnel au semoir de précision

Une baisse de 30% du coût d'implantation de la culture est constatée en 2000 pour l'itinéraire semis direct ; de plus, une meilleure portance du sol facilite la récolte dans le cas d'automne pluvieux comme en 1999 et 2000, année où de nombreux maïs implantés après labour ont occasionné des surcoûts de récolte (et de remise en état du sol après récolte) ou ont même été perdus.

* Effet du milieu et des différents itinéraires techniques sur les populations lombriciennes

Dans les prairies sur sol hydromorphe, les populations lombriciennes sont très importantes (2,8 t/ha en moyenne), plus élevées qu'en sol brun lessivé (2,0 t/ha).

Les populations de vers de terre sont les mieux préservées avec désherbage d'automne et semis direct au printemps (74 à 83% du témoin prairie permanente, tableau 3) ; les itinéraires avec travail superficiel à la herse rotative, ou avec labour font nettement chuter la biomasse lombricienne : respectivement 66-74% et 57% de la biomasse mesurée dans la technique de semis direct.

Tableau 3 : Influence du travail du sol sur les biomasses lombriciennes (t/ha) selon le type de sol.

Table 3 : Earthworm bio-mass (t/ha) in permanent pastures according to soil cultivation and soil type.

	Parcelle 1 (sol hydromorphe)	Parcelle 2 (sol brun lessivé)	Parcelle 3 (sol hydromorphe)
Semis classique après labour		1,32 ± 0,40 D	
Semis classique après travail simplifié	1,43 ± 0,29 D	1,72 ± 0,40 CD	
Semis direct	2,15 ± 0,48 B	2,33 ± 0,30 BC	2,73 ± 0,30 AB
Témoin " prairie permanente "	2,91 ± 0,62 B		3,28 ± 0,62 A

A, B, C, D : test de rang de Newman-Keuls à 5%

*** Réduction des pertes de nitrate en l'absence de travail du sol profond**

La mise en culture des sols riches en matière organique présente des risques importants de libération de nitrate. En revanche, après un désherbage automnal, la minéralisation de la matière organique est limitée car le sol n'est pas oxygéné (tableau 4). Dans ces sols froids, les pertes hivernales de nitrate dans les 30 premiers cm sont très faibles comparativement à un sol travaillé profondément avant l'automne (de 30 à 60 cm, le sous-sol d'argile à glauconies, très imperméable, n'a pas été analysé).

Tableau 4 : Effet du travail du sol sur la libération d'azote en cours d'hiver après une prairie.

Table 4 : Effect of soil cultivation on the nitrogen release during winter after a pasture.

	Occupation du sol en hiver	Azote nitrique en fin d'hiver (kg N/ha)	Azote exporté par la culture (kg N/ha)	Azote libéré (kg N/ha)
Glyphosate en automne	Sol nu	21	0	21
Glyphosate en automne et semis direct	Triticale	7	20	27
Glyphosate en été, labour et semis	Triticale	69	81	150

Au printemps, cette minéralisation " explose " dès que le sol est travaillé, avant l'implantation d'une culture. Mais à cette période la pluviométrie est moins importante et limite les risques de lessivage. En revanche, la minéralisation étant limitée en l'absence d'oxygénation, les semis directs doivent donc, malgré la richesse du sol, recevoir une fumure azotée suffisante pour favoriser l'implantation et assurer un développement correct des graminées.

*** Amélioration de la portance en l'absence de travail du sol profond**

La portance du sol avant le premier pâturage est diminuée de moitié avec l'itinéraire " labour ", de 30% avec travail superficiel, et de 10% (NS) après semis direct (tableau 5). L'effet est encore plus marqué à la sortie de l'hiver. Cette amélioration de la résistance au piétinement peut contribuer à allonger la période de pâturage, tout en augmentant la pérennité de la prairie.

Tableau 5 : Incidence du travail du sol sur la pénétration des sols en fin d'hiver.

Table 5 : Effect of soil cultivation on the resistance of soils to penetration at the end of winter.

Pénétration*	Semis classique après labour	Semis classique après travail superficiel	Semis direct	Témoin : prairie permanente
- en sortie d'hiver	1,8 (\pm 0,37)	4,0 (\pm 0,69)	6,6 (\pm 0,62)	7,5 (\pm 0,93)
- avant le 1 ^{er} pâturage	4,5 (\pm 0,62)	6,9 (\pm 0,92)	8,9 (\pm 0,89)	9,8 (\pm 1,06)

* Normes de référence : 1 à 2 : sol peu portant nécessitant l'utilisation de pneus très larges basse pression
5 à 6 : niveau à partir duquel le pâturage est possible sans dégradation de la prairie
8 à 10 : sol présentant une bonne portance aussi bien pour le pâturage que les récoltes
12 à 16 : normes de fin de printemps, début d'été

4. Discussion : intérêt de l'association du travail biomécanique des lombriciens et du travail du sol superficiel

* Intérêt agricole

La mise au point de la technique de travail du sol superficiel après désherbage chimique d'automne et travail biomécanique hivernal des lombriciens a bien répondu aux objectifs initiaux. Cette technique permet d'obtenir des rendements comparables à ceux obtenus dans un itinéraire technique classique (labour) avec des coûts réduits.

La technique du semis direct est moins coûteuse mais présente deux inconvénients. D'une part, la réussite de l'implantation est aléatoire sur les sols riches en matière organique et hétérogènes ; cette technique est donc à réserver aux sols contenant moins de 3% de matière organique. D'autre part, l'utilisation d'un semoir spécialisé, équipement très peu répandu dans les fermes de polyculture-élevage, impose le recours à une Cuma ou à un entrepreneur de travaux agricoles.

Les temps de travaux sont réduits de trois quarts ou de moitié respectivement en semis direct et en travail du sol superficiel, ce qui représente un avantage indéniable dans les exploitations de polyculture-élevage et permet le semis en une seule journée (tableau 1). Cela diminue aussi la dépendance à l'égard des conditions climatiques et permet d'économiser de l'énergie et du matériel. L'amélioration de la portance du sol peut également être dans certains cas un aspect déterminant.

Le gain de temps consécutif à l'utilisation du semis sans retournement du sol débouche sur une organisation plus aisée du travail de l'agriculteur. Le semis de prairies sans labour préalable, après destruction à l'herbicide de la prairie à rénover, est une technique d'avenir qui doit permettre de pratiquer le ressemis dans les régions où les techniques classiques ne peuvent pas être mises en œuvre, économiquement ou en raison d'un sol trop mince.

La gestion intégrée du système "sol - lombriciens" grâce à une pratique avisée du semis sans labour est capable de s'adapter rapidement à un nouveau contexte économique, ce qui n'est pas négligeable dans le contexte actuel d'incertitudes et de changements rapides. Depuis l'apparition de produits contingentés (lait ou viande, céréales), la baisse du prix des céréales et le renchérissement du fuel et des engrais, la réduction du temps de travail, de l'énergie consommée et des temps de mécanisation ont des répercussions économiques très positives sur le revenu agricole.

* Intérêt des diverses populations de lombriciens

La forte abondance des peuplements lombriciens constatée sur le domaine du Vieux Pin a rarement été atteinte en France (Bouché, 1982, 1984a). Une intensification fourragère raisonnée associée à une très bonne gestion du pâturage en rotation est favorable aux vers de terre. Ce très haut niveau d'abondance de vers de terre conduit d'une part à un important et rapide travail d'incorporation de la litière végétale détruite par un herbicide et, d'autre part, à une réduction des quantités d'éléments fertilisants utilisées.

L'activité de cette biomasse, exceptionnelle au Pin-au-Haras, a conduit à un très important et rapide travail d'incorporation de la litière végétale détruite par l'herbicide. Pour l'expliquer, il faut considérer le rôle écologique des différentes espèces de lombriciens présentes (tableau 6) qui permet d'expliquer cette rapide incorporation de la litière végétale. Bouché (1972) distingue trois groupes écologiques de lombriciens :

– Les épigés qui vivent à la surface du sol et représentent moins de 2% de la biomasse lombricienne. Ils ont un rôle agronomique mineur.

– Les endogés sont apigmentés, vivent dans le sol et représentent 20 à 30% de la biomasse lombricienne. Ils créent un réseau de galeries plutôt horizontales. Ils complètent l'action de la catégorie écologique majeure des anéciques.

– Les anéciques sont des lombriciens pigmentés, résistants à la sécheresse par diapause. Ces gros lombriciens creusent des galeries verticales où ils entraînent des débris organiques situés à proximité de leurs trous ; ils s'en nourrissent en les mélangeant à la terre prise en profondeur. Dans les sols de France, ils représentent de 50 à 80% de la biomasse lombricienne (Granval *et al.*, 1993) en milieu prairial. Ils sortent de leurs galeries généralement au crépuscule et leur pigmentation traduit une homochromie nocturne. Cette catégorie écologique est la plus efficace pour la circulation de l'eau. Ainsi, Bouché et Al Addan (1996) et Assad (1987) ont établi une corrélation entre l'écoulement de l'eau et la biomasse lombricienne et tout particulièrement celle des anéciques (infiltration de 160 mm d'eau en 1 heure). Lopez-Assad (1987) a mesuré l'écoulement de l'eau en utilisant la technique de l'anneau de Muntz : 110 mm/h dans un sol riche en lombriciens anéciques au lieu de 15-20 mm/h calculés à partir de la texture.

Tableau 6 : Différentes espèces lombriciennes observées au Pin-au-Haras.

Table 6 : Different earthworms species observed in Le Pin-au-Haras pastures.

Lombriciens endogés :	Lombriciens anéciques :
<i>Allolobophora chlorotica leucotypica</i> (Savigny, 1826)	<i>Lumbricus festivus</i> (Savigny, 1826)
<i>Allolobophora chlorotica typica</i> (Savigny, 1826)	<i>Lumbricus terrestris typica</i> (Linné, 1756)
<i>Allolobophora icterica typica</i> (Savigny, 1826)	<i>Nicodrilus caliginosus meridionalis</i> (Bouché, 1972)
<i>Allolobophora muldali</i> (Omodeo, 1956)	<i>Nicodrilus caliginosus tuberculatus typica</i> (Cernosvitov, 1935)
<i>Allolobophora rosea typica</i> (Savigny, 1826)	<i>Nicodrilus giardi typica</i> (Rimbaucourt, 1900)
<i>Lumbricus rubellus typica</i> (Hoffmeister, 1843)	Lombriciens épigés :
<i>Octolasion cyaneum typica</i> (Savigny, 1826)	<i>Eiseniella tetraedra</i> (Savigny, 1826)
<i>Nicodrilus caliginosus partypicus</i> (Bouché, 1972)	<i>Lumbricus castaneus typica</i> (Savigny, 1826)

Dans l'expérimentation du Vieux Pin, le tapis végétal détruit par l'herbicide a totalement disparu en 5 mois d'activité hivernale des vers de terre anéciques (de novembre à mars). Les lombriciens assurent, gratuitement pour l'agriculteur, le travail du sol et son aération, l'incorporation et la redistribution des éléments minéraux en réduisant les pertes par lessivage grâce à la remontée d'éléments minéraux contenus dans les turricules déposés à la surface du sol.

Des mesures précises ont été établies pour le cycle de l'azote : d'après Ferrière et Bouché (1985), l'azote détourné par le métabolisme lombricien est très rapidement ré-excrété (10% de renouvellement corporel par jour, sous forme d'ammoniac, d'urée et surtout de mucoprotéines qui sont rapidement dégradées) ; au printemps, cet azote pénètre dans les végétaux très rapidement (en 9 à 10 jours à environ 8°C). Raw (1962) a montré, dans un verger de pommiers, que *Lumbricus terrestris* (L.) ingérait plus de 90% de la litière d'automne, entre octobre et février, ce qui contribue à réduire les ravageurs et les maladies hivernant dans les résidus de culture. Toutefois, ce nettoyage hivernal ne peut être efficace qu'en l'absence de traitements cupriques qui détruisent les vers de terre (Bouché et Fayolle, 1981).

* Importance du choix de l'herbicide appliqué

Il est important que les herbicides utilisés pour la destruction du tapis végétal ne présentent pas de risques pour les vers de terre, la faune du sol et le gibier. Les principaux produits utilisables sont des

spécialités à base de glyphosate, glufosinate, aminotriazole + thiocyanate d'ammonium et sulfosate. Les données disponibles laissent apparaître que ces matières actives présentent peu de risques pour la macrofaune. (ONC, 1988 ; Lee, 1985).

D'autre part, le risque d'une éventuelle contamination des eaux émises par ces parcelles doit être considéré en prenant en compte quelques critères majeurs : le potentiel de mobilité de la matière active de l'herbicide, la distance entre la zone traitée et les cours d'eau circulants, la maîtrise des phénomènes de dérive, la présence ou l'absence de dispositif de drainage, les risques de ruissellement et d'érosion de la parcelle et la présence d'obstacles naturels (bande enherbée ou haies) séparant la parcelle des cours d'eau environnants.

Glyphosate et sulfosate sont des produits réputés peu mobiles et qui sont absorbés par la végétation, mais ils s'accumuleraient néanmoins dans les sols (cf. voyage AFPP en Bretagne, 1999). Dans tous les cas, la possibilité de mettre en place ou de conserver les haies et les bandes enherbées (au moins 6 m de large) constitue un excellent outil pour capter plus de 90% des produits phytosanitaires qui pourraient quitter la parcelle (Camus *et al.* 1999).

Dans le cas d'une comparaison de l'effet de quatre modalités de travail du sol sur l'implantation du maïs en Bretagne, il a été mesuré par Heddadj (2001) que la réduction du travail du sol réduisait notablement les quantités de matière active d'herbicides quittant la parcelle de maïs.

* Intérêt environnemental

L'implantation d'une prairie ou d'un maïs après labour présente un risque certain de lessivage d'azote après un printemps pluvieux. Le risque est beaucoup moins grand dans le cas de l'implantation de la prairie après désherbage automnal. En effet, il n'a été mesuré que peu de libération d'azote dans le sol non travaillé (Leconte et Jeannin, 1993). Le sol froid en automne - hiver et l'absence de travail mécanique limite très fortement la minéralisation.

Le risque de voir un herbicide appliqué sur une culture de maïs ou de prairie quitter la parcelle par ruissellement après une implantation succédant à un labour est plus élevé car l'infiltration est moindre qu'en semis direct. L'eau ruisselle plus facilement sur un sol labouré et avec moins de débris végétaux en surface.

Pour éviter tout risque de pertes d'éléments fertilisants, de produits phytosanitaires ou de terre, le maintien d'une haie associée à une bande enherbée est à privilégier. Des aides financières (CTE, Jachères, Plan de développement rural...) aident les agriculteurs pour la conservation de ces éléments fixes du paysage, garants d'une agriculture propre et source d'une biodiversité faunistique importante. L'agriculteur, dans ce cas, dégagerait un revenu rural composé d'un revenu provenant de produits agricoles classiques, obtenus plus ou moins intensivement, et de la valorisation des produits issus de la faune sauvage.

Au Vieux Pin, la biomasse lombricienne, une des plus fortes observées à ce jour en France, est utilisée par de nombreux prédateurs de vers de terre (les géodrilophages). La fréquentation hivernale de ce site par une faune géodrilophage diversifiée et nombreuse a été décrite précédemment (Granval *et al.* 2000) ; elle montre l'intérêt pour le gibier d'utiliser des techniques respectant les peuplements lombriciens. Ces observations confirment les travaux antérieurs de Mac Donald (1977), Kruuk et Parish (1982) et Granval (1988a et b) qui ont montré respectivement que le renard, le blaireau (*Meles meles*) et la bécasse recherchent pour se nourrir des milieux prairiaux à végétation rase et riche en lombriciens... Le pâturage intensif pratiqué sur ce site jusqu'au début novembre, en maintenant la végétation au stade pelouse, favorise la consommation des lombriciens, et augmente la fréquentation du gibier prédateur des lombriciens.

Conclusions

Le maintien des rendements et de fortes biomasses lombriciennes est garant de la durabilité du système agricole. De plus, le maintien d'une portance élevée s'avère capital en cas de forte pluviométrie. Le meilleur écoulement de l'eau observé en présence de populations conséquentes de vers de terre réduit au minimum les risques d'érosion, de pertes d'éléments fertilisants et de produits phytosanitaires, surtout en présence d'un couvert permanent. Le maintien d'une bande enherbée, l'entretien ou la restauration du réseau de haies, sécuriseront le système de production fourragère vis-à-vis des contraintes environnementales (pollutions diffuses liées aux pertes de nitrate, de produits phytosanitaires et de terre). De plus, un tel système garantit une biodiversité avifaunistique élevée renforcée par la présence de haies présentant les trois strates de végétation.

La technique d'amélioration de la production végétale par sursemis de prairies permanentes dont la végétation a été dégradée concerne uniquement les prairies à vocation agricole. Elle ne concerne ni les prairies humides (133 000 ha de prairies de marais) ni les prairies sèches présentant une flore hautement diversifiée, c'est-à-dire des caractéristiques qu'il convient de maintenir pour conserver la "typicité des fourrages et des produits animaux". La prairie permanente plurispécifique apporte, par sa biodiversité, une richesse irremplaçable (Leconte *et al.* 1998).

En plaine, Leconte et Jeannin (1993) ont montré l'intérêt de l'élimination du couvert prairial au moyen d'herbicides avant l'hiver, ce qui offre la possibilité d'intercaler un maïs fourrage avant le ressemis de la prairie afin de valoriser l'excès de matière organique. L'implantation de la prairie à base de ray-grass anglais peut se faire après la récolte précoce du maïs fourrage. Une autre technique, encore plus respectueuse de l'environnement, consiste à planter la prairie sous couvert du maïs au stade 7-8 feuilles. La dose d'herbicide est réduite de plus de 50%. La végétation peut se développer sous des climats doux et humides (autorisant même un pâturage à l'automne en Bretagne). Les contraintes d'utilisation d'une bineuse, désherbant et semant l'interligne de manière simultanée, sont identiques à celle du binage mécanique classique. Le recours à des CUMA est nécessaire pour l'amortissement d'une telle machine.

La conduite agronomique d'un tel système en grande culture est tout à fait envisageable. Il s'agit dans ce cas d'associer systématiquement les techniques de non retournement du sol à des cultures "pièges à nitrate". Des agriculteurs français commencent à utiliser cette technique de semis sous couvert avec succès dans les zones de grande culture. La permanence d'un couvert végétal limite très fortement les pertes en nitrate, en terre et en produits phytosanitaires. L'apparition sur le marché de semoirs capable de réaliser des semis d'excellentes qualités dans les couverts végétaux (Semeato, Sulky unidril...) permet d'utiliser l'activité lombricienne comme agents naturels de travail du sol, et les racines comme créateurs de macroporosité.

Accepté pour publication, le 30 mars 2001.

Remerciements : Nous tenons à remercier P. Havet, F.X. de Montard et les lecteurs qui ont relu ce texte et apporté des critiques constructives.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Assad M.L. (1987) : *Contribution à l'étude de la macroporosité lombricienne de différents types de sols de France*, thèse de doct. 3e cycle, spé. Science du sol, USTL/ENSAM Montpellier, 240 p.
- Bachelier G. (1978) : *La faune des sols, son écologie et son action*, ORSTOM, 391 p
- Bouché M.B. (1972) : *Les lombriciens de France. Ecologie et systématique*, *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, INRA, n° spécial, 72-2, 671 p.
- Bouché M.B. (1975) : "Fonction des lombriciens. III. Premières estimations quantitatives des stations lombriciennes du PBI", *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 12, 25-44.
- Bouché M.B. (1977) : "Stratégies lombriciennes", *Ecol. Bull.*, Stockholm, 25, 122-132.
- Bouché M.B. (1982) : "L'écosystème prairial. 4.3. un exemple d'activité animale, le rôle des lombriciens", *Acta oecologica.*, *Oec. Gen.*, 3, 1, 127-154.
- Bouché M.B. (1984a) : "Les vers de terre", *La recherche*, juin 1984, 156, 796-804.
- Bouché M.B. (1984b) : "Faune et flore telluriques : leur contribution à la fertilité des sols", *C.R. Journées faune et flore auxiliaires en agriculture*, ACTA, 4-5 mai 1983, 105-117.
- Bouché M.B., Al Addan F. (1996) : "Earthworm, water infiltration and soil stability. Some new assessments", *Soil biology and biochemistry*, 29, 3-4, 441-452.
- Bouché M.B., Beugnot M. (1972) : "Contribution à l'approche méthodologique des biocénoses. II. L'extraction des macro-éléments du sol par lavage-tamissage", *Ann. Zool. Ecol. Anim.*, 4, 4, 537-544.
- Bouché M.B., Fayolle L. (1981) : "Effets des fongicides sur quelques éléments de la pédofaune : conséquences économiques", *3e colloque sur les effets non intentionnels des fongicides*, 107-121.
- Camus A., J.L. Bernard, P. Granval (1999) : *Gestion des bords de champs cultivés : Agriculture, faune sauvage et environnement*, Office national de la chasse et de la faune sauvage - Zeneca, 1-20.
- Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie (2000) : *Coûts d'utilisation prévisionnels des matériels agricoles*, brochure de 24 pages.

Delabays N., Ançay A., Mermillod G. (1998) : " Recherche d'espèces végétales à propriétés allélopathiques ", *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.*, vol. 30 (6), 383-387.

Edwards C.A., Lofty J.R. (1982) : " The effect of direct drilling and minimal cultivation on earthworm populations ", *J. Ayl. Ecol.*, 19, 723-734.

Ferrière G., Bouché M.B. (1985) : " Première mesure écophysiological d'un débit d'élément dans un animal endogé : le débit d'azote de *Nicodrilus longus longus* (Ude) (Lumbricidae, oligochaeta) dans la prairie de Cîteaux ", *C.R. Acad. Sci. Paris*, 301, III, 17, 789-794.

Granval P. (1988a) : " Influence de la disponibilité et de l'accessibilité des lombriciens sur le choix des milieux fréquentés par la bécasse des bois (*Scolopax rusticola*) ", *Proc. 3rd European Woodcock and snipe Workshop*, ONC, 14-16 oct 1986, Paris, 66-77.

Granval P. (1988b) : *Approche écologique de la gestion de l'espace rural : des besoins de la bécasse des bois (Scolopax rusticola L.) à la qualité des milieux*, thèse doct. 3e cycle, spéc. Ecologie, Univ. Rennes I, 186 p.

Granval P. (1994) : " Gestion des habitats nocturnes utilisés par la bécasse des bois ", *Proc. Int. Symp. Woodcock and Snipe research Group Saarbrücken*, Germany 6-8 April 1992.

Granval P., Aliaga R. (1988) : " Analyse des connaissances sur les prédateurs des lombriciens ", *Gibier et faune sauvage*, 5, 71-94.

Granval P., Muys B. (1996) : " Predation on earthworms by terrestrial vertebrates ", *Congrès des Biologistes du Gibier*, Sofia, 1-11.

Granval P., Aliaga R., Soto P. (1993) : " Effets des pratiques agricoles sur les lombriciens (Lumbricidae), les bécassines des marais (*Gallinago gallinago*) et la valeur pastorale du milieu dans les marais de la Dives (Calvados) ", *Gibier et faune sauvage*, 10, 56-76.

Granval P., Muys B., Leconte D. (2000) : " Intérêt faunistique de la prairie permanente pâturée ", *Fourrages*, 162, 157-167.

Heddadj D. (2001) : " Impact du travail du sol sur le ruissellement et les transferts de polluants ", *Journée conservation des sols et environnement*, 28 février 2000 (en cours d'édition).

IFEN (1996) : " Régression des milieux naturels : 25% des prairies ont disparu depuis 1970 ", *Les données de l'environnement*, n°25, 4 p.

Kruuk M., Parish T. (1982) : " Factor affecting population density, group size and territory size of the European badger, *Meles meles* L. ", *J. Zool. Land.*, 196, 31-39.

Laissus R. (1985) : " Re-semis de prairies permanentes sans labour préalable, après emploi de désherbants à l'automne, favorisant l'action des lombrics pendant l'hiver, sur la structure du sol ", *C.R. Acad. Agric. de France*, 71, 3, 229-240.

Lavelle P., Barois I., Martin A., Zaidi Z., Schaefer R. (1989) : " Management of earthworm populations in agro-ecosystems : a possible way to maintain soil quality ? ", Clarholm M. et Bergström L. eds., *Ecology of arable land*, Kluwer Academic Press, 109-122.

Leconte D., Jeannin B. (1991) : " Techniques of grassland renovation in France ", *Grassland renovation and weed control in Europe*, EGF, Graz, Austria, 18-21 september, 29-40.

Leconte D., Jeannin B. (1993) : " Diagnostic d'état et rénovation des prairies en France ", *BTI*, 11-12 Janv. Fév. Mars Avril 1993, 99-120.

Leconte D., Le Gall A., Pflimlin A., Straebler M. (1993) : *Améliorer les prairies, diagnostic et décision*, brochure GNIS, 35 p + annexes.

Leconte D., Luxen P., Bourrier J. (1998) : " Raisonner l'entretien des prairies et le choix des techniques de rénovation ", *Fourrages*, 153, 15-29.

Lee K.E. (1985) : *Earthworms, their ecology and relationships with soils and land use*, Academic Press London, 411 p.

Lopez-Assad M. (1987) : *Contribution à l'étude de la macroporosité lombricienne de différents types de sols de France*, thèse doct. 3e cycle, spéc. Science du sol, USTL/ENSAM, Montpellier, 21/05/87, 40 p.

Mac Donald D.W. (1977) : *The behavioural ecology of the red fox, *Vulpes vulpes* : a study of social organization and resource exploitation*, Phil D. Thesis, Oxford University.

O.N.C. (1988) : *Choisissez et dosez*, 1-80.

Raw F. (1962) : " Studies of earthworm population. I Leaf burial in apple orchards ", *Ann. Appl. Biol.*, 50, 389-404.

Syers J.K., Springett J. (1983) : " Earthworm ecology in grasslands ", *Earthworm ecology from Darwin to vermiculture*, J.E. Satchell ed., Chapman and Hall, London, 67-83.

SUMMARY

Adaptation of seeding techniques to the maintenance of large bio-masses of earthworms in water-logged soils of grasslands of Normandy

Three techniques for the renovation of permanent pastures were compared : seeding after ploughing, classical spring seeding after autumn weeding and surface cultivation, and direct spring seeding following an autumn weeding (with substances not toxic to earthworms in the 2 cases). Classical spring seeding after autumn weeding and surface cultivation is less expensive technique and less harmful to the soil fauna than seeding after ploughing, both in water-logged soils and in leached brown soils. Direct spring seeding is the least expensive technique, and the least harmful to the soil fauna but the success of seeding depends on spring rainfalls. The functions of earthworms vary according to the species ; they are all very active during winter ; they consume the senescent plant parts and create thus an ideal seed bed. The maintenance of a large earthworm bio-mass (2.37 t/ha on average for the various soil types) benefits the frequentation by various predators : woodcocks, snipes, lapwings and thrushes.