

Mission DAR

Année et N° du projet : 2005 – N°321

## Programme Agroforesterie 2006/08



### **Groupe de Travail – GT6**

**Bilan économique et environnemental des projets existants**

**Responsable de groupe :  
Raphaël Métral (Centre de Transfert de Montpellier SupAgro)**

### **R 6.3 – Synthèse sur la diversité de la pédofaune en système agroforestier**

Réalisé avec la participation financière du Compte d'Affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural géré par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

## Étude de la diversité de la pédofaune dans les systèmes agrofôrestiers



Décembre 2007

Réalisé avec la participation financière du compte d'affectation spécial  
pour le développement agricole et rural géré par le Ministère de l'agriculture et de la pêche



Ce travail a été réalisé au Centre de Transfert de Montpellier SupAgro<sup>1</sup> dans le cadre du projet Casdar Agroforesterie 2006-2008 - Groupe de travail 6 : Bilan agro-environnemental des parcelles agroforestières (Chargé d'étude : G. Freyssinel).

Nous remercions les nombreuses personnes qui se sont associées à cette expérience, et aux différents partenaires du groupe de travail 6, avec notamment la Chambre d'Agriculture de Charente-Maritime, et l'équipe Agroforesterie de l'UMR System INRA-CIRAD-SupAgro de Montpellier.

Merci à M. Cogoluegne, M. Lamouroux et M. Jollet de nous avoir permis d'effectuer les échantillonnages sur leurs parcelles.

Merci à toutes les personnes qui nous ont guidé pour aborder ce sujet vaste et complexe. Les personnes de l'IRD de Bondy, Sébastien Barot, Florence Dubs, et Nuria Ruiz. Andre Chabert de l'ACTA pour les documents qu'il nous a fait parvenir, Michel Martinez et Romain Bonafos pour leur aide et leurs conseils. Merci à Michel Bertrand pour le temps qu'il nous a consacré et le matériel qu'il a mis à notre disposition.



Équipe Agroforesterie



---

<sup>1</sup> Centre de Transfert Montpellier SupAgro  
Domaine de La Valette - 900, rue Jean-François Breton – 34090 Montpellier  
Tel : 04 67 63 39 08 - Fax : 04 67 63 39 56 - E-mail : raphael.metral@supagro.inra.fr

# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b><u>PARTIE 1 : LA FAUNE DU SOL</u></b>	<b><u>7</u></b>
<b>1.1 CLASSIFICATION DE LA PEDOFAUNE</b>	<b>7</b>
<b>1.2 FACTEURS ECOLOGIQUES</b>	<b>7</b>
1.2.1 FACTEURS ABIOTIQUES	7
1.2.2 FACTEURS BIOTIQUES	10
1.2.3 FACTEURS HUMAINS	11
<b>1.3 ACTION DE LA FAUNE SUR LE SOL</b>	<b>11</b>
1.3.1 ACTION SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES DU SOL	11
1.3.2 ACTION SUR LES PROPRIETES CHIMIQUES DU SOL	12
1.3.3 ACTION SUR LES PROPRIETES BIOLOGIQUES DU SOL	13
<b>1.4 PRINCIPAUX REPRESENTANTS DE LA PEDOFAUNE</b>	<b>14</b>
<b><u>PARTIE 2 : METHODES D'ETUDE DE LA PEDOFAUNE EN SYSTEME AGROFORESTIER</u></b>	<b><u>19</u></b>
<b>2.1 PARTICULARITES DU SYSTEME AGROFORESTIER</b>	<b>19</b>
<b>2.2 METHODES D'ETUDES DE LA PEDOFAUNE</b>	<b>21</b>
2.2.1 ÉTUDE PAR APPROCHE GLOBALE	22
2.2.2 ÉTUDE PAR APPROCHE FONCTIONNELLE	22
2.2.3 ÉTUDE PAR APPROCHE SPECIFIQUE	24
2.2.4 AUTRES THEMES	26
<b>2.3 PLAN D'ECHANTILLONNAGE</b>	<b>26</b>
2.3.1 LES MILIEUX ETUDIES	26
2.3.2 PERIODES ET FREQUENCE D'ECHANTILLONNAGE	27
2.3.3 OUTILS ET METHODES D'ECHANTILLONNAGE DE LA FAUNE DU SOL	27
2.3.4 CONSERVATION DES ECHANTILLONS	31
2.3.5 IDENTIFICATION DE LA RECOLTE	31
2.3.6 DONNEES SUPPLEMENTAIRES POUR LA CONNAISSANCE DU MILIEU	31
<b><u>PARTIE 3 : PREMIERS RESULTATS</u></b>	<b><u>32</u></b>
<b>3.1 ÉTUDE DE LA FAUNE EPIGEE</b>	<b>32</b>
3.1.1 MATERIEL ET METHODE	32
3.1.2 RÉSULTATS	33
<b>3.2 BILAN GLOBAL DE LA MESO- ET MACROFAUNE EN SYSTEME AGROFORESTIER</b>	<b>34</b>
3.2.1 MATERIEL ET METHODE	34
3.2.2 RESULTATS	37
<b><u>PARTIE 4 : BILAN DES PREMIERS SUIVIS ET PERSPECTIVES</u></b>	<b><u>41</u></b>
<b>4.1 RESULTATS</b>	<b>41</b>
<b>4.2 PROTOCOLES D'ECHANTILLONNAGE UTILISES</b>	<b>42</b>
<b>4.3 BILAN DES ANALYSES ET DES DETERMINATIONS</b>	<b>43</b>
<b>LISTES DES FIGURES ET DES TABLEAUX</b>	<b>44</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>45</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>46</b>

## INTRODUCTION

Le sol, à l'échelle de la planète, est une très mince couche de terre recouvrant les roches émergées. Malgré cela, c'est un système complexe responsable de nombreuses fonctions naturelles, en interaction directe avec les autres compartiments de l'écosphère. Il est à la fois un support pour les êtres vivants, un réservoir de matières organiques et minérales, un régulateur des échanges et des flux dans l'écosystème, un lieu de transformation de la matière organique, et un système épurateur de substances toxiques (Gobat et al., 2003).

C'est également un écosystème à part entière, et en cela un système dynamique basé sur une multitude de cycles. Ces derniers sont en interaction pour finalement agir sur son propre fonctionnement. Il est à la fois indispensable à la vie qu'il abrite, et c'est en retour la vie biologique qui participe activement à sa formation (pédogénèse) à partir de la roche mère.

En plus des racines des plantes et de la microflore, le sol abrite de nombreux représentants de la faune. Appelée pédofaune, cette communauté rassemble les organismes présents de manière permanente ou temporaire dans le sol, à sa surface, ou dans les annexes (bois mort, sous les pierres,...). Elle est représentée par de nombreux taxons comprenant eux même des centaines voire des milliers d'espèces (Bachelier, 1978). Les abondances numériques sont très hétérogènes. En prairie, il y a en moyenne 150g d'animaux par mètre carré de terre ce qui représente environ 260 millions d'individus (Gobat et al., 2003) et confirme la dominance des espèces de petite taille. Cette communauté est active, elle se déplace, se nourrit, excrète et meure et pour chacune de ces étapes, interfère avec le sol.

L'ensemble des interactions entre le milieu et les organismes vivants induisent un certain nombre de fonctions écologiques et environnementales : on regroupe l'ensemble dans la notion de fonctionnement biologique des sols. Dans une perspective agronomique on parlera de qualité biologique. Cette notion fait intervenir 4 composantes du milieu (Chaussod, 1996) : (i) la fertilité, c'est-à-dire les potentialités agronomiques directement liées à l'activité biologique, (ii) l'état sanitaire, faisant référence à la présence ou non d'organismes vivants indésirables (ennemis des cultures), (iii) l'impact environnemental du fonctionnement du sol (ou externalité) et (iv) la résilience, sensibilité aux contraintes extérieures et aptitude au retour à l'état initial. Chacune de ces composantes est dépendante de facteurs pédoclimatiques, agronomiques et biologiques. On notera l'effet du sol et du climat, du système de culture, des pratiques culturales et des relations entre les être vivants.

En tant que lieu de la production agricole, le sol a longtemps été considéré comme support des cultures et réservoir de matière organique et minérale. Cette image est extrêmement réductrice en comparaison à l'ensemble des fonctions dont il est le siège. L'exploitation de ce « simple » sol par l'agriculture moderne a permis, avec l'aide de la technologie, d'améliorer les rendements de manière spectaculaire. Seulement, l'exportation soutenue, l'augmentation de l'érosion, et l'utilisation d'intrants ont conduit à l'épuisement des ressources nutritives, à la diminution des processus biologiques, à la dégradation des structures et donc à la perte de la qualité biologiques des sols.

Ces faits sont observés depuis des années déjà et si tous ne les ont pas intégrés dans leurs itinéraires de production, on a observé plusieurs tendances, illustrées en premier lieu par l'agriculture biologique, au développement de techniques plus respectueuses de l'environnement, du sol et de la biodiversité.

Pour palier à ces dégradations, les itinéraires de production se sont basés sur l'amélioration du fonctionnement biologique des milieux. Ces techniques se basent sur l'optimisation du fonctionnement naturel des écosystèmes et non son exploitation.

Cet objectif se retrouve dans le concept de l'agroforesterie qui consiste à introduire des rangées d'arbres dans les surfaces dédiées à la production agricole animale ou végétale

(Dupraz et al., 2005). Ce système de coplantation est une pratique ancienne et toujours extrêmement répandue dans les pays tropicaux ou méditerranéens. Il est utilisé en premier lieu pour limiter les excès du climat sur les cultures. A partir des années 1950, l'intensification, les remembrements, la modernisation du matériel agricole ont conduit à une nette régression des formations arborées des champs et bordures. L'agro-sylvi-culture moderne ou agroforesterie tient aujourd'hui compte des contraintes techniques liées à la mécanisation des cultures (espacement des rangées d'arbres, élagage, dégagement de tournières...).

Le programme européen de recherche Sylvoarable Agroforestry For Europe (SAFE) (Dupraz et al., 2005), de 2001 à 2005, a permis de nombreux progrès dans la connaissance du fonctionnement des systèmes agroforestiers, et notamment concernant leurs avantages économiques et environnementaux attendus. Au niveau économique, le bénéfice de cette synergie a été démontré dans différents travaux de recherches (Dupraz et al., 2005). Le rendement global d'une parcelle agrosylvicole peut ainsi être augmenté de 30 %. Les gains environnementaux sont de divers ordres (Dupraz et al., 2005). Plusieurs effets contribuent à améliorer le caractère durable du système de production agricole en jouant sur la complémentarité et la synergie des arbres et des cultures. On relèvera notamment : la protection des sols contre l'érosion, la perte de fertilité, et la fuite d'éléments nutritifs ; la protection des eaux en réduisant les risques de pollution diffuse des nappes et rivières, et en maintenant l'hygrométrie (l'évapotranspiration limitée diminue les besoins en irrigation) ; la stimulation de la biodiversité en offrant une grande diversité de refuges et de ressources alimentaires ; la fixation du carbone à long terme dans les arbres et son enfouissement en profondeur par le système racinaire. Tous ces éléments sont étroitement liés aux problématiques de l'agriculture actuelle. A une autre échelle on retiendra également Le bien-être animal, La qualité des paysages et encore la protection contre les incendies.

Faisant suite au programme SAFE, le projet DAR (Développement Agricole Rural) sur l'agroforesterie poursuit au niveau français le développement et l'évaluation de ce système. Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'étude des effets de l'agroforesterie sur la production agricole et l'environnement, domaines pour lesquels la composante biologique, et plus particulièrement la pédofaune constituant un des facteurs clé, suscite de nombreuses interrogations. Les volontés de préservation de la biodiversité, mais également d'une meilleure connaissance de son interaction avec le système agronomique ont motivé ces travaux. Ce rapport présentera donc (i) les relations entre la pédofaune et le sol, (ii) les particularités du système agroforestier qui peuvent affecter ces relations, et enfin (iii) les premiers résultats de l'étude menée sur le site expérimental de Vézénobres.

# Partie 1 : La faune du sol

## 1.1 Classification de la pédofaune

En biologie, les niveaux systématiques constituent la classification couramment utilisée. Ils divisent les êtres vivants selon le Règne, l'Embranchement, la Classe, l'Ordre, la Famille, le Genre et l'Espèce (annexe 1). Ce classement est basé sur les caractères génétiques et phénotypiques.

Une classification plus fonctionnelle peut être utilisée en liant les organismes à leur milieu et notamment aux ressources qu'il propose (alimentation et habitat). La taille, le régime alimentaire, la position dans le sol, les adaptations morphologiques, les modes de progression, la durée de présence dans le sol constituent d'autres paramètres pour classer la pédofaune.

Au sein des agrosystèmes, c'est l'impact de la faune sur la culture et plus précisément sur la production finale qui est pris en compte. On distingue alors deux grands ensembles, les ravageurs, qui occasionnent des dégâts sur la culture, et les auxiliaires qui protègent la culture en limitant les dégâts des ravageurs et/ou en agissant sur le milieu.

Chez les auxiliaires, trois groupes sont définis :

- Les prédateurs et parasites qui contrôlent les populations de ravageurs,
- Les détritivores, responsables de la dégradation de la matière organique et du recyclage des nutriments,
- Les organismes ingénieurs qui, par leur activité mécanique, modifient et améliorent les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol, support de production.

Au sein des ravageurs, on distingue en production végétale essentiellement la communauté des phytophages. En se nourrissant des tissus vivants des plantes, ils peuvent causer leur mort de manière directe par broutage, ou indirecte en transmettant des pathogènes.

## 1.2 Facteurs écologiques

« On appelle facteur écologique tout élément du milieu susceptible d'agir directement sur les êtres vivants, au moins durant une partie de leur cycle de développement » (Gobat et al., 2003). Ces facteurs n'agissent jamais seuls, ils sont en étroites interactions. On distinguera ici, les facteurs abiotiques, qui comprennent l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques du milieu, des facteurs biotiques, interactions entre les organismes composant la communauté.

### 1.2.1 Facteurs abiotiques

#### Caractéristiques pédologiques

Le sol est un milieu poreux constitué de trois phases, solide, liquide et gazeuse (Calvet, 2003), dont les proportions varient au cours du temps. La phase solide varie peu, elle occupe entre 40 et 70% du volume total du sol. La texture, la structure et la porosité sont trois des paramètres couramment retenus pour la décrire.

Cette phase solide est constituée par des minéraux et des matières organiques en proportion variable. La nature des minéraux est déterminée par les roches mères du sous-sol et par les processus de pédogenèse<sup>2</sup>. Les matériaux organiques proviennent principalement des résidus végétaux (mais aussi animaux) qui subissent diverses transformations physiques et chimiques.

La texture traduit la composition granulométrique de ces matériaux (proportion, taille). L'organisation de ces matériaux solides reflète la structure du sol. Il s'agit d'un état du sol basé sur le mode d'assemblage des différents constituants (minéraux et/ou organiques), qui peuvent

---

<sup>2</sup> Ensemble des processus menant à la formation et à l'évolution d'un sol

s'agréger ou non (Gobat et al., 2003). Elle dépend de la texture, de l'état des colloïdes<sup>3</sup>, du taux d'humidité ou de matière organique et détermine le volume des vides du sol, ou porosité, (exprimé en pourcentage du volume total) (Gobat et al., 2003). De cette dernière propriété, dépend la circulation de l'eau, de l'air mais aussi de la faune.

Ces paramètres mettent en évidence les caractéristiques physiques et chimiques de ce milieu, caractéristiques ayant un rôle sélectif sur la faune du sol. Celle-ci a besoin notamment de trouver certains éléments minéraux (ex : les crustacés ont besoin de calcium pour le développement de leur cuticule), des conditions atmosphériques et hydriques particulières, mais aussi de se déplacer. Il existe une corrélation entre la taille des microarthropodes et la porosité des sols (Pesson, 1971).

D'autres propriétés peuvent être utilisées pour caractériser l'état d'un sol, et expliquer le comportement des communautés. On notera que le pH, les échanges ioniques (Capacité d'échange cationique, taux de saturation,...), le potentiel d'oxydo-réduction, la quantité et la qualité de la matière organique, interviennent également sur la pédofaune. La sensibilité d'une communauté à chacun des paramètres est variable.

### **Humidité du sol**

L'eau est présente dans le sol sous plusieurs états (Dajoz, 2000) dont deux seulement sont disponibles pour les êtres vivants : l'eau capillaire absorbable et l'eau de gravité. La première est normalement absorbée par les végétaux et permet l'activité des bactéries et petits protozoaires. L'eau de gravité occupe de manière temporaire les pores les plus grands du sol. Elle circule au travers des compartiments sous l'effet de la pesanteur, des tensions superficielles,... La teneur en eau globale est soumise à des changements très rapides en fonction des précipitations.

Rencontrée dans le sol, l'eau est enrichie en ions et en molécules minérales et organiques : on parle de solution du sol. Elle joue alors un rôle supplémentaire en mettant en avant sa capacité de transport, et son action dans les processus de solubilisation et insolubilisation (Gobat et al., 2003).

L'humidité du sol a une influence sur la conductivité et la capacité thermique et donc sur les variations de température en fonction de la profondeur et du temps.

Pour la pédofaune, l'eau est un facteur primordial, l'excès comme l'insuffisance lui est néfaste. En fonction de son affinité envers l'eau, on distingue la faune hydrobionte (avide d'eau), la faune hygrobionte (avide d'humidité) et la faune xérophile qui supporte la sécheresse.

### **Atmosphère du sol**

L'air occupe, dans le sol, les pores abandonnés par l'eau lors de son retrait. Sa quantité dépend donc d'une combinaison entre la texture, la structure et le taux d'humidité (Gobat et al., 2003). Sa composition est différente de l'atmosphère extérieure (Tableau 1). Elle présente des fluctuations saisonnières liées à l'activité biologique (respiration des racines, de la microflore aérobie et de la faune) qui consomme de l'oxygène et rejette du gaz carbonique. La fixation de l'azote et la dénitrification bactérienne modifient également les concentrations en azote.

Le drainage des eaux de pluies et les variations de pression atmosphérique aident à la diffusion des gaz dans le sol et aux échanges avec l'atmosphère extérieure. Ces mouvements sont favorisés par une porosité élevée, et permettent de conserver un milieu favorable à la faune.

---

<sup>3</sup> Substance formée d'éléments de très petite taille, les micelles, capables de flocculer ou de se disperser dans un liquide

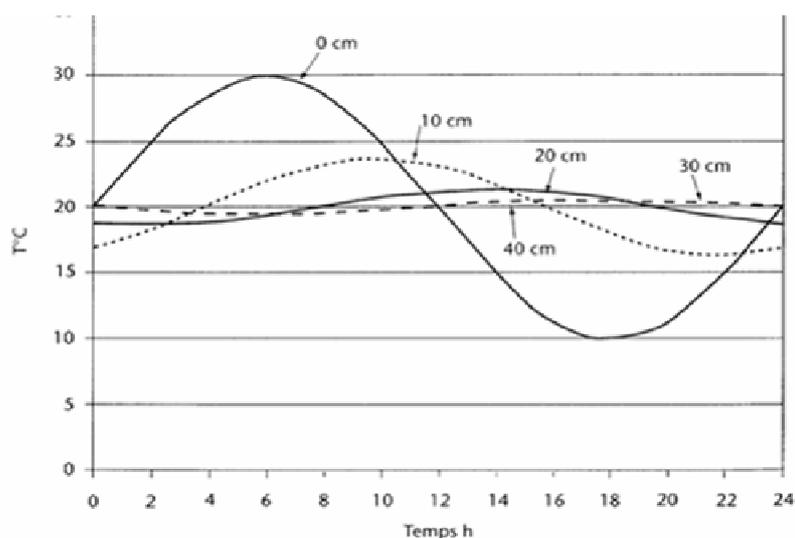
**Tableau 1 : Composition de l'atmosphère aérienne et souterraine. Extrait et adapté de Gobat et al. (2003) et Pesson (1971)**

Constituant	Air du sol (%)	Air extérieur (%)
Oxygène	18 à 20.5 en sol bien aéré 10 après une pluie 2 en structure compacte 0 dans les horizons réduits	21
Azote	78.5 à 80	78
Gaz carbonique	0.2 à 3.5 5 à 10 dans la rhizosphère	0.03
Vapeur d'eau	75 à saturation	Variable
Gaz divers	Traces de H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, Ar En anoxie : NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub>	1 (surtout Ar, autres en traces)

Pour des concentrations élevées en gaz carbonique la plupart des animaux peuvent entrer en vie ralentie sur des périodes plus ou moins longues (Pesson, 1971). Il existe des différences entre les groupes : les animaux de surface et de litière résistent moins bien que les espèces euédaphiques<sup>4</sup>. Certaines espèces peuvent également être attirées par des concentrations plus élevées en CO<sub>2</sub> (larves d'agrites et de Melolontha, microarthropodes des fumiers et des composts).

### Température

L'hétérogénéité du sol (structure, taux d'humidité, couleur, charge en éléments grossiers,...) est à l'origine d'une grande variabilité dans les températures et dans leur transfert dans le sol. L'énergie calorifique qui arrive au sol peut ainsi être atténuée ou amplifiée. Sa progression verticale est très lente. Une fluctuation thermique met ainsi une douzaine d'heures à se propager jusqu'à 50 centimètres de profondeur (Figure 1).



**Figure 1 : Simulation de la variation de la température en surface et à 4 profondeurs (10, 20, 30 et 40 centimètres). (D'après Calvet, 2003)**

La température du sol agit sur les phénomènes physiques tels que la rétention et la circulation des fluides (eau, gaz), mais aussi sur les transformations chimiques (la vitesse des réactions est une fonction de la température) (Pesson, 1971). Au niveau biologique, elle agit sur la répartition des espèces, dans le temps et dans l'espace, en fonction de leurs écologies. Elle influence également l'activité générale intervenant dans les relations interspécifiques (ex : compétition). Les effets de la température sont prépondérants dans les premiers centimètres où est rassemblée la majorité des représentants de la pédofaune (Pesson, 1971). Lors de températures « extrêmes » (hautes ou

<sup>4</sup> Espèces vivant en profondeur, dans la partie minérale du sol

basses), qui peuvent lui être fatales, la faune dispose de plusieurs moyens d'adaptation : régulation thermique (relativement limité chez les invertébrés hétérothermes<sup>5</sup>), un passage en vie ralentie (diapause, hibernation) ou encore la migration vers un milieu favorable (souvent en profondeur).

## 1.2.2 Facteurs biotiques

Les facteurs biotiques correspondent aux différentes interactions existantes entre les êtres vivants. Elles ont lieu lorsque les individus utilisent les ressources disponibles pour satisfaire leurs besoins vitaux. On distingue plusieurs types d'interactions (Tableau 2), ce sont les mêmes qui agissent dans la plupart des écosystèmes. La prédation et la compétition constituent les principales interactions intervenant dans le fonctionnement des communautés.

**Tableau 2 : Effet positif (+), négatif (-) ou nul (0) des différents types d'interactions entre 2 organismes A et B. d'après Gobat et al, 2003.**

Interaction	Organisme A	Organisme B
Mutualisme	+	+
Neutralisme	0	0
Compétition	-	-
Commensalisme	+	0
Parasitisme	+	-
Prédation	+	-

### Compétition

La compétition a lieu lorsque l'individu ou l'espèce lutte pour s'assurer un accès suffisant aux ressources du milieu. On peut en observer deux types :

- la compétition intraspécifique, entre les individus d'une même espèce, qui dépend de la densité des populations. Les conséquences en sont la malnutrition et ses répercussions (mortalité juvénile, cannibalisme).
- La compétition interspécifique, met en concurrence (directe ou non) deux espèces différentes, pour l'utilisation d'une ressource (alimentaire ou refuge).

### Prédation

La prédation correspond à la consommation d'un organisme vivant par un second. Ses effets sont importants car elle met, plus ou moins rapidement, les populations de proies en équilibre avec les ressources disponibles (Gobat et al, 2003). Par leur action, les prédateurs diminuent la compétition entre les individus d'une même espèce. Ils tendent également à préserver l'avenir et à améliorer la qualité d'action de leurs proies. Dans les systèmes agricoles, on considère la prédation comme la consommation et le contrôle des ravageurs par les auxiliaires. Elle concerne pourtant l'ensemble des communautés présentes dans le système. On observe ainsi certains prédateurs consommer d'autres prédateurs ou des détritivores en plus des ravageurs.

Une définition plus globale de la prédation, généralisant le phénomène à la consommation d'un niveau trophique par un autre, permet de considérer la phytophagie comme tel. Chew (Dajoz, 1998) émet ainsi l'hypothèse que la phytophagie pourrait ne pas avoir que des effets négatifs et pourrait entre autre stimuler la croissance des végétaux. Cette notion est bien connue en foresterie concernant les ravages dus aux insectes dont les effets peuvent être compensés au bout de quelques années. Au sein d'un agrosystème, l'objectif de production sur une échelle de temps limitée permet difficilement de tenir compte de ce paramètre.

<sup>5</sup> Se dit d'un animal dont la température corporelle varie selon celle de l'extérieur.

### 1.2.3 Facteurs humains

On reconnaît à l'agriculteur et à ses pratiques culturales plusieurs impacts sur la faune du sol. **Le travail du sol** agit de manière directe en blessant et tuant une partie de la pédofaune. Il expose également celle-ci aux conditions extérieures qui lui sont souvent défavorables (lumière, humidité, prédation...). De manière indirecte, il modifie les paramètres physiques du sol et ainsi l'ensemble du milieu dans lequel évoluait cette faune. **L'utilisation d'intrants chimiques**, si elle permet la destruction des ravageurs, agit également sur toute une partie de la pédofaune. Ils tuent directement (cas des biocides à large spectre d'action), diminuent la longévité ou encore la fertilité des communautés. Les phénomènes de bioaccumulation sont à l'origine de la concentration et du transit des substances ingérées au travers de la chaîne alimentaire. **L'exportation de matière organique** (récoltes et parfois des résidus) entraîne une diminution des ressources nutritives pour la communauté des décomposeurs. Sa restitution est alors favorable au développement de la biomasse microbienne. A une échelle plus grande, **la modification du paysage** agit sur les conditions macroclimatiques et par extension sur l'ensemble du microclimat des différents milieux.

## 1.3 Action de la faune sur le sol

### 1.3.1 Action sur les propriétés physiques du sol

L'action physique de la faune intervient sur des propriétés tels que la porosité, ou la structure. Indirectement, c'est l'évolution des gaz et liquides dans le milieu qui est améliorée. Elle permet également la création d'habitat et de réseaux de migration pour toute une partie de la pédofaune. L'activité de la faune est largement dépendante de l'organisation créée par les organismes ingénieurs.

**Le macrobrassage** : Il permet la circulation d'important volume de terre entre les horizons du sol. Il permet la remontée en surface des horizons riches en matières minérales et l'enfouissement des horizons organiques superficiels, les litières et le fumier. Dans nos régions tempérées les organismes concernés sont les vers de terre, les fourmis, les scarabées et certains mammifères (taupes, campagnols,...).

**Le microbrassage** : Si son effet sur la structure est moins visible, il n'en est pas pour autant moins important. Il y a peu de remontée de matières minérales, en revanche l'incorporation de la matière organique au sol par l'intermédiaire des déjections n'est pas négligeable. Cette activité se limite aux horizons superficiels mais ses effets s'observent jusqu'à 60cm de profondeur par lessivage et accumulation des crottes (Gobat et al., 2003).

**La formation de galeries** : Ces structures jouent un rôle important pour l'aération du sol et son régime hydrique. Elles sont le fait des vers de terre et enchytréides, auxquels on ajoute les nids et déblais de fourmi. Chacun agit à son échelle et crée des galeries de diamètres variés. Elles offrent des voies de pénétration préférentielle pour les racines, les éléments fins lessivés, les excréments, ou encore les invertébrés épigés. Ces derniers n'ayant pas la capacité d'agir sur le sol, profitent de ces aménagements pour fuir des conditions défavorables. En revanche, la mésofaune (acariens, collemboles,...) ne paraît pas modifier directement la porosité du sol mais tend à agrandir et aménager les cavités naturelles. Il semble que « des centres de peuplement liés à la reproduction » y soient créés (Gobat et al., 2003).

**La fragmentation** : Il s'agit d'une réduction mécanique de la matière organique. Elle permet la multiplication des surfaces attaquables (de l'ordre de 50 à 200 fois selon Bachelier, 1978). Elle est due à l'activité successive des phytosaprophages<sup>6</sup> qui ingèrent et transforment leurs aliments. Ainsi, les fragmenteurs influencent fortement l'évolution de la matière organique dans le sol et permet l'intervention successive et organisée de chaque maillon. Ils conditionnent en grande partie l'importance des peuplements bactériens, fongiques et microfauniques.

**La formation d'agrégats** : Les vers de terre et les macroarthropodes qui ingèrent des particules de terre avec leur nourriture contribuent à la formation d'agrégats, en mélangeant matières organiques et matières minérales dans leur tube digestif. Les sécrétions intestinales et les colloïdes bactériens du tube digestif jouent le rôle de ciment sur ces agrégats. Pour leur stabilisation, le chevelu racinaire a une action mécanique et enrobante, mais également une action par les sécrétions de la microflore de la rhizosphère. Le réseau d'hyphes de champignons et de fibres végétales (issues des feuilles consommées) peut également consolider la structure des sols. La pédofaune associée à la microflore participe donc à l'amélioration et la stabilisation de l'organisation structurale du sol.

### **1.3.2 Action sur les propriétés chimiques du sol**

La faune influence les caractéristiques chimiques des sols par des voies très variées. L'effet le plus net est la modification de la nourriture durant son passage à travers la chaîne alimentaire (Gobat et al., 2003). Les excréta produits par la faune modifient également de manière directe la composition chimique du sol.

La faune constitue en elle-même une réserve importante d'éléments qui redevient mobilisable à sa mort. En comparaison à la micro et mésofaune, les cadavres de la macrofaune fournissent des apports beaucoup plus élevés. Il en est de même pour les vertébrés formant la mégafaune.

Plusieurs effets indirects sur la composition chimique du sol peuvent également être observés. Les protozoaires sont capables de minéraliser l'azote, le phosphore et le soufre à partir de leur nourriture (bactéries). Les ingénieurs par la remontée de matériaux profonds peuvent également augmenter le potentiel chimique des sols.

---

<sup>6</sup> Voir annexe 1 : les régimes alimentaire du sol

### 1.3.3 Action sur les propriétés biologiques du sol

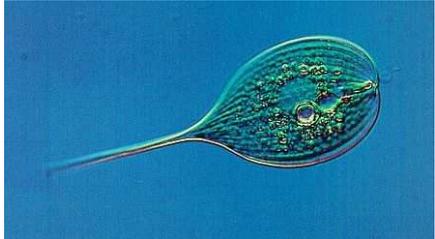
L'activité biologique d'un sol est le résultat des interactions entre les différents organismes. Elle se traduit par une variation de l'activité ou de la densité de la communauté. Elle tend à installer un certain « équilibre » pour un fonctionnement optimal et durable des processus en cours. Parmi eux, on notera la compétition, ou l'effet des prédateurs sur les ravageurs (Tableau 3). On notera également le rôle joué par la pédofaune pour la dissémination des spores et bactéries. Cette propagation s'effectue soit par des crottes dispersées dans le sol soit par transport sur le corps des animaux.

**Tableau 3 : Synthèse des fonctions essentielles jouées par les organismes vivants du sol (D'après Girard et al., 2005) (les représentants de la pédofaune sont indiqués en « gras »)**

<b>Fonctions</b>	<b>Organismes impliqués</b>
Décomposition de la matière organique	<b>Invertébrés détritivores</b> , champignons, bactéries, actinomycètes
Recyclage des nutriments	Principalement micro-organismes et racines, <b>quelques invertébrés du sol et de la litière</b>
Echanges gazeux et séquestration du carbone	Principalement micro-organismes et racines, <b>carbone protégé dans les agrégats créés par la méso et macrofaune</b>
Entretien de la structure du sol	<b>Invertébrés fousseurs</b> , racines, mycorhizes, autres micro-organismes
Régulation des processus hydrologiques du sol	<b>Invertébrés fousseurs</b> , racines
Relations symbiotiques et asymbiotiques avec les plantes et leurs racines	Rhizobium, mycorhizes, actinomycètes, autres micro-organismes de la rhizosphère, <b>fourmis</b>
Détoxification du sol	Principalement micro-organismes
Suppression des nuisibles, des parasites et des maladies	Plantes, mycorhizes, autres champignons, bactéries, <b>nématodes, collemboles, vers de terre, prédateurs</b>
Sources d'aliment et de médicaments	Racines, <b>insectes, vers de terre, vertébrés</b> et leurs sous-produits

## 1.4 Principaux représentants de la pédofaune

### Les protozoaires (Protistes)

	<p><i>Classe de taille</i> : microfaune, 3 µm à 3 mm <i>Habitats</i> : eau pelliculaire et interstitielle <i>Abondance</i> : 10 à 1000 millions d'individus par mètre carré (estimations) <i>Régime alimentaire</i> : bactériophages, saprophages, prédateurs d'autres protozoaires <i>Intérêt agronomique</i> : très important pour les équilibres biologiques au niveau des micro-organismes, principaux prédateurs de bactéries</p>
---	--

### Les nématodes (Némathelminthes)

	<p><i>Classe de taille</i> : microfaune – 0.5 à 3 mm <i>Habitats</i> : eau pelliculaire et interstitielle en zone d'enracinement et matière en décomposition <i>Abondance</i> : 100 à 1000 individus/g de terre <i>Régime alimentaire</i> : phytophages, carnivores <i>Intérêt agronomique</i> : ravageurs ou auxiliaire, ce sont des intermédiaires entre microflore et mésofaune</p>
---	--

### Les vers de terre (Annélides, oligochètes)

	<p><i>Classe de taille</i> : macro- mégafaune, jusqu'à 35 cm <i>Habitats</i> : litière et sol <i>Abondance</i> : entre 30 et 100g/m<sup>2</sup> <i>Régime alimentaire</i> : détritiphages (racines morte, humus) <i>Intérêt agronomique</i> : aération du sol, brassage des éléments, amélioration de la structure, dégradation des matières organiques</p>
---	---

Là où les vers de terre sont présents, ils forment entre 50 et 75% de la biomasse animale (Bachelier, 1979)

Selon Bouché (1972), on distingue trois catégories :

- Les épigés vivent en surface, ils sont liés à la litière, au fumier, compost ou encore bois mort
- Les anéciques sont les vers verticaux, de grande taille, ils creusent un réseau de galerie. Ils ont le plus d'impact sur le sol
- Les endogés vivent en profondeur et « horizontalement »

### Les enchytréides (Annélides, oligochètes)

	<p><i>Classe de taille</i> : mésofaune, 2 à 35 mm <i>Habitats</i> : litière (10 premiers centimètres du sol) <i>Abondance</i> : entre 3 à 53g/m<sup>2</sup>, 10.000 à 290.000 indiv/m<sup>2</sup> <i>Régime alimentaire</i> : microphages, phytosaprophages <i>Intérêt agronomique</i> : augmentation de la porosité superficielle, stimule l'activité des micro-organismes</p>
---	---

### Les mollusques (escargots, limaces)

	<p><i>Classe de taille</i> : macrofaune,</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Escargots (coquille) : 2 à 50 mm de haut, 1 à 50mm de diamètre</li><li>• Limaces : 20 à 200 mm de long</li></ul> <p><i>Habitats</i> : dans les sols et les litière humides (10 premiers centimètres)</p> <p><i>Abondance</i> : 110-150 individus/m<sup>2</sup></p> <p><i>Régime alimentaire</i> : phytophages et quelques espèces carnivores</p> <p><i>Intérêt agronomique</i> : ravageurs importants des cultures</p>
---	---

### Les cloportes (Arthropodes, Crustacés, Isopodes)

	<p><i>Classe de taille</i> : macrofaune, 5 à 20 mm</p> <p><i>Habitats</i> : litière et annexes du sol<sup>7</sup></p> <p><i>Abondance</i> : jusqu'à 8.000 individus/m<sup>2</sup> en prairie</p> <p><i>Régime alimentaire</i> : phytosaprophages (feuilles, bois mort)</p> <p><i>Intérêt agronomique</i> : Responsable de la fragmentation : première étape de la dégradation de la matière organique, favorise l'activité des micro-organismes</p>
---	---

### Les diplopedes (Arthropodes, Myriapodes)

	<p><i>Classe de taille</i> : macrofaune, 5 à 50 mm</p> <p><i>Habitats</i> : litière et annexes du sol</p> <p><i>Abondance</i> : plusieurs centaines par mètre carré lorsque les vers de terre sont rares.</p> <p><i>Régime alimentaire</i> : phytosaprophages (feuilles, bois mort), coprophages</p> <p><i>Intérêt agronomique</i> : Responsable de la fragmentation : première étape de la dégradation de la matière organique, favorise l'activité des micro-organismes</p>
--	---

### Les chilopodes (Arthropodes, Myriapodes)

	<p><i>Classe de taille</i> : macrofaune, 5 à 100 mm</p> <p><i>Habitats</i> : milieux humides (litières, compost, habitats cryptozoïques)</p> <p><i>Abondance</i> : 40 à 400 individus/m<sup>2</sup></p> <p><i>Régime alimentaire</i> : carnivores, peuvent ingérer de la litière</p> <p><i>Intérêt agronomique</i> : contrôle des populations de proies (auxiliaires comme ravageurs)</p>
---	---

### Les Arachnides (Arthropodes, Chélicérates)

Ils appartiennent à l'embranchement des arthropodes et sous-embranchement des chélicérates. La classe des arachnides comporte 11 ordres dont 5 seulement sont présents en zone tempérée : aariens, aranéides, opilions, pseudo-scorpions et scorpions. Les acariens ont un rôle important sur le fonctionnement du sol. Les aranéides et opilions évoluent en surface du sol, ce sont des prédateurs généralistes, efficaces contre les ravageurs des cultures.

<sup>7</sup> Structure qui diversifie la surface du sol : bois mort, cadavres, bouses, tas de cailloux

## Les acariens (Gamasides, Actinédides, Oribates)

	<p><i>Classe de taille</i> : mésofaune, 0.1 à 6 mm <i>Habitats</i> : litière et annexes du sol <i>Abondance</i> : très abondants (jusqu'à 425.000 oribates/m<sup>2</sup> dans les sols de forêt) <i>Régime alimentaire</i> :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Gamasides → carnivores, fongivores</li><li>• Actinédides → carnivores, suceurs de sèves, ectoparasites</li><li>• Oribates → phytosaprophages, microphages, coprophages, pollinivores</li></ul> <p><i>Intérêt agronomique</i> : microfragmentation et brassage des matières organiques, dispersion et régulation de la microflore, régulation des populations de la micro et mésofaune</p>
---	--

Acarien oribate

## Les aranéides et les opilions

	<p><i>Classe de taille</i> : macrofaune, 0.5 à 90 mm <i>Habitats</i> : litière, surface du sol <i>Abondance</i> : 40 à 400 individus/m<sup>2</sup> <i>Régime alimentaire</i> : prédateurs généralistes <i>Intérêt agronomique</i> : contrôle des populations de proie (ravageurs)</p>
---	---

Aranéides

## Les insectes

De l'embranchement des arthropodes et sous embranchement des antennates ou mandibulates Ils sont classés en 42 ordres.

Les insectes présentent des comportements et des besoins très diversifiés. Les 4 ordres présentés ci-dessous interviennent plus spécialement dans le sol : les collemboles, les diptères, les coléoptères et les hyménoptères.

## Les collemboles

	<p><i>Classe de taille</i> : mésofaune, 0.25 à 10 mm <i>Habitats</i> : jusqu'à 10 cm de profondeur avec le maximum dans les 3 premiers centimètres, également dans les annexes du sol <i>Abondance</i> : 2.000 à 200.000 individus/m<sup>2</sup> <i>Régime alimentaire</i> : fongivores (surtout), phytosaprophages, coprophages, pollinivores, carnivores, phytophages <i>Intérêt agronomique</i> : microfragmentation et brassage des matières organiques, dispersion et régulation de la microflore, stimulation des populations fongiques, peuvent devenir nuisibles</p>
---	--

### Les coléoptères (larves et adultes):

Une vingtaine de familles est représentée dans le sol. Elles offrent des adaptations très variables aux conditions du sol, tant au niveau de la morphologique, que du régime alimentaire (Tableau 4). La diversité et l'abondance au sein de ce groupe en fait un acteur important du fonctionnement du sol et particulièrement les sols agricoles.

	<p><i>Classe de taille</i> : macrofaune</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• adultes → 0.5 à 75 mm</li> <li>• larves → &lt;1 à 100 mm</li> </ul> <p><i>Habitats</i> : surface du sol jusqu'à 1 m de profondeur, annexes du sol</p> <p><i>Abondance</i> : 10 à plusieurs centaines par mètre carré</p> <p><i>Régime alimentaire</i> : Tableau 4</p> <p><i>Intérêt agronomique</i> : prédateurs jouant un rôle dans l'équilibre biologique des sols, ravageurs des cultures, dégradation de la matière organique</p>
Coléoptère carabidés	

**Tableau 4 : Régimes alimentaires des principaux coléoptères du sol (Gobat et al, 2003)**

Familie	Régimes alimentaires dans le sol (voir annexes 1)					
	Prédateur	Nécrophage	Coprophage	Mycétophage	Rhizophage	Saprophyophage
Cantharidés	L					
Carabidés	L+A					
Cerambycidés						L
Curculionodés					L	L
Elatéridés	L				L	L
Scarabéidés			L+A	A	L	L
Silphidés	L+A	L+A				
Staphylinidés	L+A			A		

L = larves, A = adultes

### Les diptères :

Les formes larvaires sont dominantes dans le sol. Elles montrent une grande diversité morphologique, écologique et comportementale. Elles peuvent utiliser les différentes ressources offertes par le sol et par ses annexes (Tableau 5). Si quelques espèces présentent des formes imaginaires aptères vivant dans le sol, la plupart des adultes sont aériens.

	<p><i>Classe de taille</i> : macrofaune, 2 à 40 mm</p> <p><i>Habitats</i> : sol humide, litière et annexes du sol</p> <p><i>Abondance</i> : 10 à quelques milliers d'individus par mètre carré (souvent répartis en tache)</p> <p><i>Régime alimentaire</i> : Tableau 5</p> <p><i>Intérêt agronomique</i> : fragmentation de la litière, dégradation des matières organiques, prédateurs jouant un rôle dans l'équilibre biologique des sols, ravageurs des cultures</p>
Larve de tipulidés	

**Tableau 5 : Régimes alimentaires de quelques familles de diptères du sol (Gobat et al, 2003)**

Familie	Régimes alimentaires des larves dans le sol (voir annexes 1)							
	Prédateur	Nécrophage	Coprophage	Mycophage+ Mycétophage	Phytosaprophage + Microphage	Microphage	Phytophage	Saprophyophage (+ Microphage)
Bibionidés			X		X	X	X	
Calliphoridés	X	X	X		X			
Cécidomyiidés	X			X				(X)
Chironomidés					X	X		
Dolichopodidés	X							
Drosophilidés	X	X	X	X	X	X	X	
Empididés	X							
Limonidés	X				X	X		
Muscidés	X	X	X		X			
Mycétophilidés	X			X				
Phoridés	X	X	X	X				
Scatopsidés			X	X	X	X		X
Sciaridés			X	X	X	X		
Sphérocéridés		X	X		X			
Stratiomyiidés	X		X		X		X	
Tabanidés	X							
Tipulidés	X				X		X	X

### Les fourmis (Hyménoptères – Formicidés)

	<p><i>Classe de taille</i> : macrofaune  <i>Habitats</i> : de la surface à plusieurs mètres en profondeur  <i>Abondance</i> : jusqu'à plusieurs millions d'individus à l'hectare regroupés en colonie ou supercolonie  <i>Régime alimentaire</i> : phytophages, granivores, carnivores, souvent omnivores  <i>Intérêt agronomique</i> : bioturbation du sol</p>
--	---

L'ordre des isoptères (termites) peut également avoir un impact fort sur le sol. Les effets les plus importants sur les sols agricoles sont cependant observés sous climat tropical. Sous les climats tempérés, trois espèces sont représentées. Elles vivent en société à l'intérieur d'un nid qu'ils construisent dans le sol, à sa surface ou dans le bois mort.

### Les vertébrés

Seul un petit nombre de vertébrés influencent de manière significative le fonctionnement des sols. Les campagnols et les taupes peuvent avoir un impact considérable par bioturbation. À une échelle plus locale, les fousseurs peuvent remuer de grande quantité de terre (lapin, blaireaux). D'autres mammifères n'appartenant pas à la pédofaune peuvent modifier la surface du sol (piétinement, labourage), et peuvent causer des dégâts important dans les cultures.

## Partie 2 : Méthodes d'étude de la pédofaune en système agroforestier

### 2.1 Particularités du système agroforestier

L'agroforesterie consiste à introduire des rangées d'arbres dans les surfaces dédiées à la production agricole, animale (sylvo-pastoralisme) ou végétale (agrosylviculture) (Dupraz et al., 2005). En comparaison à la monoculture, ce système présente une structure et une évolution particulière.

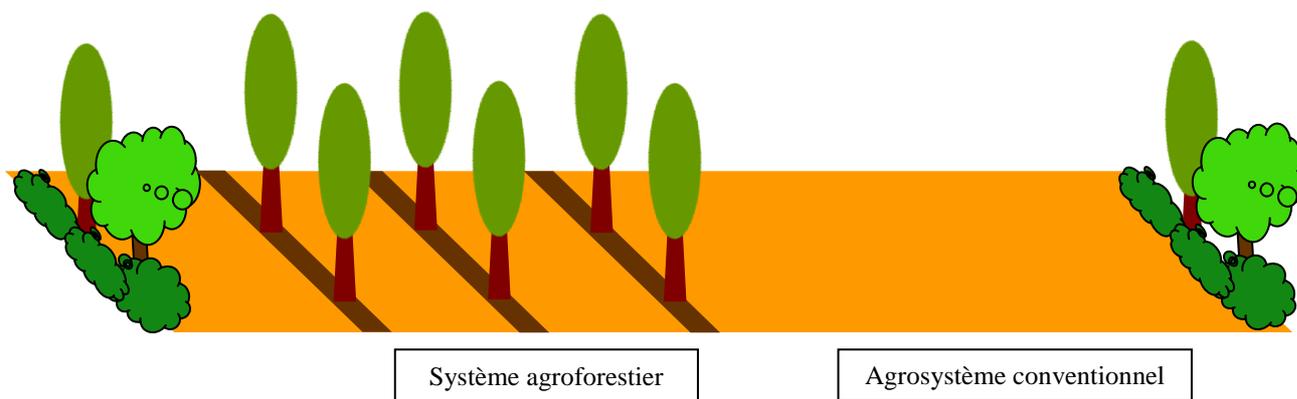


Figure 2 : Comparaison simplifiée des zones aériennes de système agroforestier et de monoculture

Dans l'espace, la parcelle agroforestière se caractérise par une grande diversité de compartiments (Figure 2) : l'arbre, le couvert « forestier », la zone de culture, la ligne de plantation. Ces sous-systèmes créent une structure particulière avec sur le plan vertical la succession du sol, de la rhizosphère<sup>8</sup>, de la litière, de la strate herbacée (culture en place) et de la strate arborée. Sur le plan horizontal, on observe l'alternance des bandes cultivées et des lignes de plantation d'arbre. Cette alternance s'observe pour chaque niveau (strate verticale) et met en évidence les liens entre chacun d'eux.

#### Le couvert forestier

L'arbre modifie la quantité et la diversité des ressources disponibles (alimentation et refuge) pour la faune. La partie aérienne apporte au sol de manière régulière feuilles et bois morts dont l'accumulation au sol permet le développement d'une litière. Cette dernière fournit une source d'énergie supplémentaire (alimentation), un refuge pour la faune (reproduction, hibernation,...) et une couche protectrice contre les excès du climat. Dans le sol, le système racinaire, fournit également une ressource alimentaire pour les phytophages qui consomment les parties vivantes comme pour les détritivores qui consomment les racines mortes. Le réseau créé par les racines, permet également le maintien et la stabilité de la structure du sol en association avec les champignons mycorhiziens.

Le couvert forestier a également un effet propre sur le climat : maintien de l'humidité, effet tampon sur les températures, modification des courants aériens, tendant ainsi à atténuer les excès.

<sup>8</sup> Région du sol sous l'influence directe de la racine

## **La ligne d'arbre**

La ligne d'arbres constitue une zone pérenne, indemne de la plupart des travaux réalisés pour la production agricole (travail du sol,...). Elle constitue en cela un milieu à part entière où les ressources alimentaires et les refuges s'accumulent sous l'effet des arbres et en voyant se développer une litière. Sa place au sein des parcelles en fait une zone en interaction permanente avec le milieu cultivé et se rapproche par définition de la haie ou de la bande enherbée. On peut ainsi attendre de ces lignes qu'elles constituent des sites pour l'alimentation, l'hivernation, la reproduction, la protection ou encore le point de départ pour la colonisation des milieux adjacents par la faune auxiliaire. La disposition des lignes et le maillage créé permettent de leur attribuer le rôle de barrière et/ou de corridor biologique, favorisant ou non la mobilité des espèces, en fonction de leur « morphologie » et de leur comportement.

## **La zone cultivée**

La zone de culture annuelle est sous l'influence des compartiments présentés ci-dessus (lignes d'arbres et couvert forestier). Cette influence est permanente, elle évolue avec les arbres sur une journée, une année, de la plantation jusqu'à leur récolte.

La culture annuelle bénéficie de l'apport des arbres (feuilles et racines), de leur action sur le climat et le sol mais aussi de l'intervention de la ligne de plantation sur la dynamique des populations et leur activité.

La proximité des lignes d'arbre devrait faciliter les mouvements de populations entre la bande cultivée et les lignes d'arbre et améliorer l'occupation de la culture annuelle par la faune auxiliaire. En fonction des capacités de déplacement des populations, les lignes d'arbres peuvent favoriser les transferts sur l'ensemble de la parcelle ou bien isoler chaque bande cultivée en jouant le rôle de barrière.

Son influence sur le milieu cultivé peut s'observer à différentes échelles de temps :

- Sur une journée, l'influence des arbres par l'ombrage agit sur le réchauffement du milieu et ainsi sur l'activité journalière de la faune
- A l'échelle d'une année, l'influence du système sur le sol varie au fil des saisons et en interaction avec les pratiques culturales (Figure 3)
- Sur 15 à 50 ans, durée du cycle de l'arbre avant récolte (en fonction de l'essence plantée) durant laquelle, l'emprise des arbres sur la culture évolue et modifie les interactions avec la production végétale mais aussi l'ensemble des être vivants du milieu. Cette échelle de temps constitue une véritable innovation quant à l'approche de la dynamique d'un écosystème agricole.

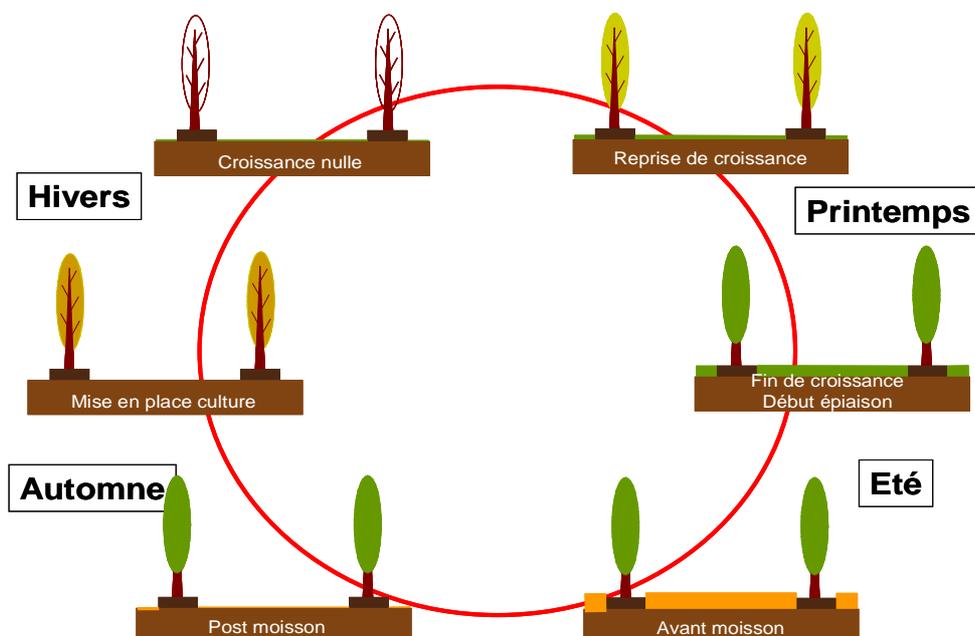


Figure 3 : Évolution de l'exposition du sol en système agroforestier sur une année en relation avec une culture annuelle (ex : blé d'hiver)

## **2.2 Méthodes d'études de la pédofaune**

Il n'est pas simple de définir la qualité biologique optimale d'un sol, et d'en donner une mesure quantifiée pour un système agricole. La diversité des sols, des pratiques culturales, des espèces (animales et végétales) à l'échelle mondiale comme locale représentent un nombre important de paramètres qu'il est très difficile voire parfois impossible à prendre en compte.

L'étude biologique d'un milieu consiste à analyser une fraction représentative de la réalité des communautés présentes de ce milieu. Elle met en œuvre à cette fin de nombreuses techniques d'échantillonnages et d'analyse.

Le résultat ne prend de valeur qu'en comparaison avec un autre système, un autre milieu, ou une autre période. Les protocoles et les thèmes d'études proposés ici ne trouvent leur intérêt que dans ce contexte. Ils doivent ainsi profiter d'un état initial des parcelles expérimentales en place et de zones témoins. Ce n'est pas la qualité que l'on observera mais l'évolution d'un ensemble de paramètres en fonction d'un objectif final, comme produire en quantité et de manière durable.

Le système agroforestier, présenté ci-dessus, modifie les ressources offertes à la faune du sol en qualité et en quantité. Afin d'observer comment s'organise cette communauté face à ces modifications, plusieurs niveaux d'études sont envisageables : depuis une approche globale, qui alimentera la réflexion sur une approche dite fonctionnelle, permettant à son tour d'aborder une approche dite spécifique.

***Remarque : Les outils et précautions à prendre seront présentés dans la partie suivante. Des propositions de protocoles adaptés aux thèmes définis sont présentés en détail dans les annexes de ce document (annexe 2).***

## 2.2.1 Étude par approche globale

Cette approche vise à avoir une image des organismes vivants du sol et de la structure des populations.

Dans le cadre de la mise en place d'un suivi expérimental, ce niveau d'approche permet de réaliser un état des lieux initial généralement indispensable. Celui-ci servira de base pour observer l'évolution des parcelles au cours du temps. Les analyses réalisées dans ce cadre doivent fournir une vue globale du système en place. Elles associent des analyses physico-chimiques (densité apparente, pH, carbone, azote,...) et une analyse biologique du système.

L'ensemble des communautés vivantes du sol en surface et en profondeur sont concernées : mégafaune, macrofaune, mésofaune et micro-organisme (microfaune + microflore). Les informations recueillies sont la diversité, l'abondance ou encore la biomasse des communautés à l'échelle des systèmes comparés.

La **bioindication** est un des outils possibles pour l'évaluation globale de la biodiversité. Son objectif est de caractériser un milieu en concentrant les analyses sur quelques espèces dite bioindicatrices, ce qui limite les besoins en temps et en main d'œuvre.

La bioindication est basée sur le principe que chaque espèce porte une quantité d'information sur le milieu. Elle est donc fondée sur une excellente connaissance des organismes utilisés, ce qui limite son utilisation à quelques taxons seulement. Dans les systèmes agricoles, on reconnaît les coléoptères carabidae ou encore les vers de terre comme de bons indicateurs de biodiversité.

## 2.2.2 Étude par approche fonctionnelle

On considère par approche fonctionnelle, l'étude de la place de la pédofaune dans la réussite d'une production agricole et pour ses effets sur :

- La fertilité, c'est-à-dire la mise à disposition de ressources nutritives pour la plante
- L'état sanitaire faisant référence à la présence ou non d'organismes ennemis des cultures (les ravageurs de culture)

Elle tend à mettre en évidence les services rendus par les différentes communautés présentes.

### 2.2.2.1 *Les ravageurs de culture*

On souhaite observer la présence et l'action des ravageurs et de leurs prédateurs naturels (carnivores et parasitoïdes). La dynamique de ces populations dépend de 2 paramètres : les conditions de leur émergence et de leur activité d'une part et l'occupation de l'espace cultivé d'autre part.

#### **Activité et émergence des populations**

La présence des organismes au sein d'une parcelle est fonction de nombreux paramètres. Leur activité dépend, en grande partie, des conditions climatiques du milieu. Lorsque ces conditions deviennent défavorables (températures extrêmes : hiver et été) ils peuvent stopper leur activité (diapause) ou migrer vers un milieu plus favorable.

La modification de ces paramètres dans le système agroforestier par rapport aux systèmes de monoculture peut ainsi intervenir sur les périodes de début ou de fin d'activité. Les impacts sur les communautés de ravageurs et de prédateurs naturels peuvent modifier leur importance pour la culture en place.

#### **Colonisation des milieux cultivés (culture annuelle)**

L'occupation d'un milieu, agricole ou non, par la faune résulte de leur développement sur place ou de leur migration. Les perturbations au sein d'un système agricole (travail du sol, intrant, simplification du paysage) rendent les zones cultivées dépendantes des milieux adjacents et des capacités de migration des organismes.

Les itinéraires de production et les aménagements des agrosystèmes visent notamment à limiter la colonisation des cultures par les ravageurs et à favoriser celle des prédateurs. La structure des systèmes agroforestiers augmente le lien des zones cultivées (production agricole) avec les zones de bordure (rangées d'arbre). Il apparaît primordial de comprendre ses effets sur l'occupation des cultures annuelles par ces communautés.

### **2.2.2.2 Fonctionnement du sol (notion de fertilité)**

Le fonctionnement biologique du sol, dans l'objectif de production agricole, met en relation étroite le sol, sa faune et sa microflore avec la plante cultivée. Connaître la qualité d'un sol agricole oblige ainsi à relier les données physiques, chimiques, biologiques et microbiologiques de ce dernier. Si les paramètres physiques et chimiques ne sont pas l'objet direct de ce rapport, ils sont des témoins de l'évolution du sol.

Les thèmes principaux de cette partie concernent l'importance de la faune du sol dans le recyclage de la matière organique et l'évolution de la structure du sol.

#### **Efficacité de la communauté d'invertébrés décomposeurs/cinétique de dégradation des pailles**

Le recyclage de la matière organique est un paramètre important du fonctionnement biologique du sol. Il est réalisé par la communauté des décomposeurs. Ils appartiennent successivement à la macrofaune, la mésofaune, la microfaune avant l'intervention de la microflore du sol responsable de la remise à disposition des éléments nutritifs pour les végétaux. Les apports de matières organiques supplémentaires (aériens et souterrains) dus aux arbres peuvent modifier la dynamique des détritivores dans chaque compartiment du système.

#### **Efficacité des organismes ingénieurs**

Les organismes ingénieurs participent à l'amélioration de la structure du sol, à l'augmentation de la porosité, au brassage de la matière minérale et organique, et à la propagation des micro-organismes.

#### **Étude de la microflore**

L'étude de la microflore intervient ici comme indice de la qualité biologique globale du milieu. Cette communauté représente le maillon le plus élevé de la chaîne alimentaire, responsable de la minéralisation (dernière étape de transformation du matériel organique avant sa remise à disposition pour les êtres vivants). Les paramètres présentés ici concernent :

- la quantification des micro-organismes,
- la mesure de leur activité,
- le développement des mycorhizes, association symbiotiques entre des champignons du sols et les racines de plantes étroitement lié à la mise à disposition des éléments nutritifs du sol pour les plantes et à la dégradation de molécules organiques complexes lié à l'arbre (lignine,...)

**Biomasse microbienne :** Elle représente l'ensemble des micro-organismes du sol (bactéries, champignons,...). Il s'agit d'une mesure globale de la quantité de carbone vivant dans le sol. Celui-ci traduit le potentiel de recyclage du sol et de stockage d'éléments fertilisant (N, P,...)

immobilisés dans les constituants cellulaires (Comm. pers. X. Salducci<sup>9</sup>). Elle s'exprime en pourcentage de carbone organique total.

### Activité biologique

L'activité biologique d'un sol peut être évaluée à travers :

- La minéralisation du carbone et de l'azote : cette mesure permet d'évaluer l'activité globale de la microflore. Elle s'effectue en conditions contrôlées (incubation pendant 28 jours à 28°C à l'humidité à la capacité au champ). La minéralisation du carbone par unité de biomasse (respiration spécifique) permet de compléter l'analyse par le taux de renouvellement apparent du compartiment vivant du sol.
- Les activités enzymatiques du sol : la présence et l'activité d'être vivant dans le sol se traduit par la synthèse d'enzymes de toutes sortes. La mesure de leur activité permet de visualiser le potentiel de dégradation des substrats organiques du sol et vérifie la qualité de la biomasse microbienne.

### Microbiologie fongique

Les plantes sont très souvent en relation étroite avec les champignons du sol avec des effets bénéfiques, ou non dans le cas de parasites des racines. Il est possible d'évaluer :

- Le taux d'endomycorhization des racines : Il représente la longueur de racine où la mycorhize est présente (exprimée en pourcentage). Un suivi des cultures sur l'ensemble de l'itinéraire de production peut être réalisé. Il est mesuré facilement par une réaction colorimétrique.
- Le pouvoir endomycorhizogène du sol (PEM) : Cette analyse consiste à estimer le nombre de propagules de champignons par kilogramme de sol capable d'engendrer une mycorhization des racines. Elle reflète un bon état biologique du sol. Elle est mesurée avant implantation de la culture (semis, plantation) mais après la préparation de la parcelle.

## **2.2.3 Étude par approche spécifique**

Cette approche vise à observer les effets d'une pratique culturale sur des espèces ou groupes d'espèce précis d'intérêt agronomique. Il peut s'agir de ravageurs, ou bien d'auxiliaires.

### ***2.2.3.1 Comparaison des populations de mollusques***

Les mollusques et particulièrement les limaces sont responsables de nombreux dégâts dans les cultures pouvant mener à la destruction complète de la culture (Tableau 6). Leur activité est conditionnée par la température et l'humidité. On les trouve aux périodes douces et humides (printemps et automne). Elles ont une activité nocturne qui peut se prolonger en fonction des conditions.

D'une manière générale, les limaces ont des déplacements limités (2 et 5 mètres dans une nuit). Cela leur permet cependant de coloniser une parcelle voire de migrer d'une parcelle à l'autre.

Les facteurs agronomiques tels que la rotation des cultures, le travail mécanique du sol, le type de sol ou encore la faune auxiliaire constituent également des paramètres influant la dynamique des populations.

**Tableau 6 : Stades et organes des plantes sensibles aux attaques de mollusques dans les principales grandes cultures**

---

<sup>9</sup> Gérant du laboratoire Celesta (analyses biologiques des sols)

Culture	Principaux stades ou organes sensibles de la plante	Autres
Colza/Tournesol	Emergence jusqu'au stade 4 feuilles	
Céréales à paille	graine	Jusqu'au stade 4 feuille
Maïs	feuillage	grains
Pomme de terre	Tubercules	
Betterave	levée	Tous les stades

Autres cultures touchées : culture légumières (carotte, navet, épinards, pois, haricots, salades), ornementales (pépinières), légumineuses fourragères ou encore en vigne. Ils occasionnent des dégâts directs sur la plante et indirects pour la commercialisation.

### 2.2.3.2 Comparaison des populations de taupin

Les taupins (Coléoptère Elateridae) sont reconnus comme ravageurs importants des cultures (Tableau 7). Les stades larvaires (vers fil de fer) sont à l'origine des dégâts en attaquant le système racinaire des plantes. Parmi les taupins, seules quelques espèces sont phytophages, d'autres par contre peuvent être prédatrices.

Le cycle biologique du vers fil-de-fer comprend plusieurs stades, il s'étend sur 2 à 6 ans, selon l'espèce et l'emplacement. Dans la plupart des champs infestés, on peut ainsi trouver des individus appartenant aux différents stades larvaires. En fonction des conditions de milieu (température, humidité), ils se déplacent verticalement dans le sol. Il peut ainsi s'enfoncer jusqu'à 60 cm lors de conditions défavorables. Leur activité peut être observée presque toute l'année suivant le type de culture.

Tableau 7 : Stades considérés comme sensibles aux attaques de taupins pour quelques productions

Production	Période sensible
Maïs	Du semis au stade 6 feuilles
Betteraves	Du semis au stade 4 feuilles
Tournesol	Du semis au stade 4 feuilles
Céréales	Du semis au tallage
Colza	
Pomme de terre	Principalement à la récolte

### 2.2.3.3 Comparaison des populations de micromammifères

Les micromammifères représentent la grande majorité des groupes composant la mégafaune du sol (taille supérieure à 80mm). Dans les milieux agricoles, deux principaux ordres sont présents : les rongeurs et les insectivores.

**Les insectivores** sont représentés dans le sol essentiellement par les taupes (Talpidae). En surface on retrouvera les hérissons (Erinaceidae) et les musaraignes (Soricidae). Comme leur nom l'indique ils se nourrissent principalement d'invertébrés.

**Les rongeurs** constituent le plus grand ordre des mammifères. Deux familles sont représentées dans les agrosystèmes : les Cricétidae (campagnols, rats musqué) et les Muridae (rats, souris, mulots). Leur régime alimentaire est très variable. Ils se nourrissent de graines, fruits, rameaux, invertébrés, racines, plantes.

Les campagnols sont les seuls à vivre sous terre. Ils creusent un réseau de galeries très ramifiés (les galeries utilisées pour se nourrir sont superficielles). On peut le retrouver en surface durant les périodes sèches pour se procurer de la nourriture. Les campagnols sont connus pour les dégâts qu'ils occasionnent dans les prairies. Leur action peut s'observer également dans les céréales d'hivers (blé, orge et colza d'hivers), les vergers, les cultures maraîchères et voire les vignes.

## 2.2.4 Autres thèmes

Les thèmes et approches proposés dans cette partie tiennent principalement compte des effets de l'agroforesterie sur la quantité des ressources alimentaires mises à disposition, sur le climat et sur la diversité des habitats mis à disposition pour les communautés d'intérêt agronomique.

D'autres paramètres peuvent être pris en compte pour appréhender les effets de ce système sur la faune du sol :

- Le type de cultures annuelle (céréales, légumineuses,...)
- Les essences d'arbres employées
- L'aménagement des lignes d'arbre
- La région climatique (méditerranéen, continental, océanique)

## 2.3 Plan d'échantillonnage

### 2.3.1 Les milieux étudiés

La structure du système agroforestier présentée en Partie 2, offre une grande diversité de ressources à la faune du sol (voir 2.1 Particularités du système agroforestier). Le schéma ci-dessous (figure 4) situe ces milieux caractéristiques, dont l'étude aidera à la compréhension du fonctionnement global.

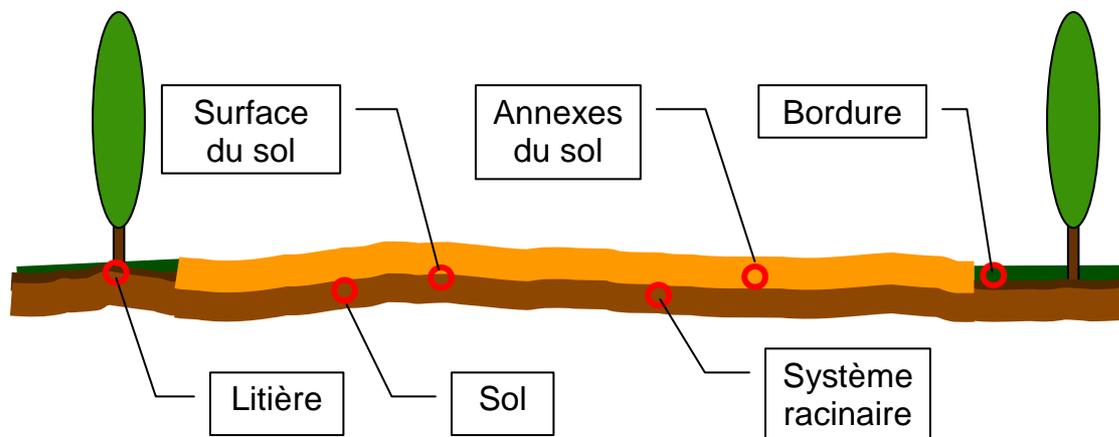


Figure 4 : Ressources (habitats, alimentation) disponible pour la faune du sol en système agroforestier.

Dans une approche expérimentale, la présence de témoins (culture pure ou forestier pur) permet des comparaisons, mais selon le thème, leur étude n'est pas systématique. Ainsi l'utilisation d'une parcelle forestière témoin n'apparaît pas nécessaire pour des problématiques agronomiques telles que l'impact des ravageurs ou des prédateurs. En revanche pour ce qui est du fonctionnement des lignes de plantation d'arbre ou des caractéristiques des communautés de décomposeurs et d'organismes ingénieurs, l'étude d'un témoin forestier est nécessaire.

Il faut également tenir compte dans le plan d'échantillonnage des caractéristiques biologiques de la communauté étudiée. Pour l'étude d'une parcelle agricole, la capacité de dispersion de la macrofaune nécessite par exemple de disposer les pièges suffisamment loin des zones de bordure

pour s'affranchir au mieux de leur influence. Cette distance sera différente si l'on étudie la microfaune dont la mobilité est plus limitée.

L'échantillonnage est réalisé à plusieurs points des parcelles étudiées (nombre variable en fonction de la méthode utilisée). Ils doivent se situer sur des zones représentatives de la parcelle étudiée. Il faut notamment limiter les zones où le milieu que l'on veut étudier subit l'influence du milieu adjacent.

### 2.3.2 Périodes et fréquence d'échantillonnage

Pour des mesures ponctuelles, il faut choisir un moment de référence indépendant des perturbations liées aux aléas climatiques extrêmes (sécheresse) et aux pratiques culturales (labour, fertilisation, semis,...). Le printemps est la période classiquement étudiée. C'est la période d'activité maximale des organismes du sol.

Pour les thèmes nécessitant un suivi dans le temps, il apparaît judicieux de se baser sur les grandes étapes de la culture en place (voir Figure 3). Afin de réduire le nombre d'analyses et de conserver une logique par rapport au fonctionnement du milieu. Une analyse par saison peut être une approche suffisante.

Plusieurs échantillonnages peuvent donc se succéder. Il faut dans ces cas-là limiter l'impact d'un piégeage sur la communauté présente. La capture d'une partie des organismes d'un milieu aura des conséquences sur le piégeage du lendemain. Il est possible de limiter la durée de piégeage, de déplacer les pièges ou d'espacer suffisamment les piégeages dans le temps.

### 2.3.3 Outils et méthodes d'échantillonnage de la faune du sol

Les différentes méthodes d'échantillonnage permettent de capturer des organismes dans leur milieu. Elles se basent sur plusieurs caractéristiques des communautés : la taille des individus, leur position dans le sol (surface, profondeur), le milieu occupé (rhizosphère, litière,...) ou encore le comportement (alimentaire,...). Elles permettent l'inventaire, le suivi de populations et les études écologiques ou encore comportementales.

Les méthodes exposées ici sont classées selon les **méthodes non spécifiques**, basées sur la taille et la localisation des individus, et selon les **méthodes spécifiques** basées sur une espèce ou un groupe d'espèces en fonction de leur intérêt pour le milieu étudié (exemple des taupins, ravageurs de culture). Quelques-unes de ces techniques sont illustrées dans l'annexe 3.

**Remarque :** Pour ces études, il est indispensable de sacrifier une partie des populations présentes. Il convient d'adapter ses prélèvements afin de limiter l'impact sur le milieu en disposant néanmoins d'un échantillon représentatif de la population. Cette adaptation se fait au cas par cas, elle peut nécessiter un essai sur le terrain avant de fixer la durée ou l'intensité du prélèvement. **Le but n'est pas de vider le milieu mais d'en avoir une représentation la plus fiable possible.**

Le plan d'échantillonnage contenant le nombre de répétition et la durée d'installation nécessaire est à adapter au thème choisi et au milieu étudié, quelques pistes sont données dans l'annexe 2.

#### 2.3.3.1 Méthodes non spécifiques

##### Échantillonnage suivant la méthode TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility)

Communauté ciblée : macrofaune endogée (larves ou adultes)

Cette méthode consiste à prélever un échantillon de sol de 25cm de côté sur une profondeur de 30cm. La récolte de la faune se fait manuellement après avoir partager l'échantillon en 3 strates suivant la profondeur (0-10cm, 10-20cm, 20-30cm). Cette méthode est coûteuse en temps et en main d'œuvre.

Une adaptation utilise l'injection un « répulsif » (solution formolée à 0.2% ou solution à base de moutarde) dans le sol pour faire remonter la faune. On verse pour cela la solution sur la surface étudiée à 2 reprises. L'extraction se fait alors sur les 15 premiers centimètres du sol.

Le prélèvement simple permet une représentation fiable de la diversité et de l'abondance des organismes présents. L'adaptation réduit la qualité de l'échantillonnage notamment l'information sur l'abondance (une partie de la faune fuit dans d'autres directions que celle de la surface). Il est également difficile d'injecter le répulsif dans un volume précis de sol. Pour limiter cela, il peut être utile de planter un cadre de la largeur voulu (25x25cm) avant l'injection du répulsif.

### **Extracteur de Berlese Tullgren**

Communauté ciblée : méso et macrofaune endogée (larves ou adultes)

Son principe consiste à placer un volume connu de terre dans un entonnoir, dont le trou de sortie est fermé par un grillage, et de le soumettre à la chaleur d'une lampe à incandescence.

La faune, chassée par le sec, migre vers le fond de l'entonnoir puis tombe à travers le grillage jusqu' à un récipient contenant un liquide conservateur (alcool à 70%).

Pour la mésofaune (acariens, collembole,...), on réalise l'extraction sur plusieurs petits échantillons homogènes (autour de 200cm<sup>3</sup>) issus du regroupement de plusieurs prélèvements. Pour la macrofaune un nombre de prélèvements plus restreint est réalisé mais sur des volumes plus grands.

### **Cage à émergence :**

Communauté ciblée : insectes aériens à larves souterraines (nombreux diptères, coléoptères)

Il s'agit d'une nasse, en grillage ou en tulle, placée sur le sol sur une surface de 0.1 à 0.25m<sup>2</sup>. Elles permettent de capturer les adultes dont les nymphes vivent dans le sol.

C'est une méthode quantitative (nombre / surface x durée) particulièrement intéressante. La difficulté réside aujourd'hui dans la détermination des individus capturés, notamment des diptères.

### **Piège barber :**

Communauté ciblée : macrofaune épigée active (araignée, insectes, myriapodes, cloportes), mégafaune.

Ce piège est constitué d'un pot en plastique, de diamètre 7 à 10cm, enterré jusqu'au bord supérieur de façon à créer un puit dans lequel les individus marcheurs vont tomber. Les pots sont recouverts d'un toit pour éviter d'être remplis lors des pluies. Ils sont remplis au tiers d'un liquide non attractif à base d'eau, de détergent (sans parfum) et de sel. Cette solution permet de noyer les individus piégés et de les conserver jusqu'au relevé des pièges. À date fixe le contenu de chaque pot est relevé et étiqueté (date, lieu, n° de piège). Il est rincé puis transféré dans de l'alcool à 70° pour assurer la conservation des arthropodes jusqu'à leur détermination et leur comptage.

La durée d'installation varie de 24 heures à une semaine et peut être renouvelée. Cette durée peut être fixée après un essai. La zone d'influence de ce piège est importante, il convient d'espacer

correctement les pièges (espacement autour de 4 mètres pour 24h d'installation et supérieure à 10 mètres pour une semaine).

Pour la mégafaune, il n'est pas nécessaire de tuer les individus capturés, le fond du pot doit être percé et on disposera du coton ou de la paille pour éviter la mort par hypothermie des individus. Pour cette communauté, les relevés doivent être journaliers. Les grandes boîtes de conserves (15cm de diamètre, 30cm de profondeur) conviennent parfaitement.

Ce type de piège permet la collecte de nombreux individus et donne une bonne image de la diversité présente. En terme d'abondance, il n'indique pas le nombre exact d'individus présents dans un endroit mais le nombre d'individus en activité sur la durée de piégeage.

### **Pièges grillagés de type Firobin**

Communauté ciblée : mégafaune épigée (rongeurs et insectivores)

Il s'agit d'une cage contenant un appât (pâte composée de farine, d'eau et de sardine). L'animal qui entre, actionne le système de fermeture de la porte lorsqu'il met en mouvement le crochet auquel est fixé l'appât.

L'utilisation de ce piège nécessite le marquage des individus capturés, pour ne pas les confondre lors d'une nouvelle capture. Les relevés doivent être journaliers.

Il permet une bonne estimation des populations. La taille des individus permet de réaliser sur le terrain la détermination des individus et le relevé de paramètres descriptifs permettant de bien caractériser les populations (sexe, classe d'âges, état sexuel des femelles et des mâles).

### **La méthode de Winkler**

Communauté ciblée : macro et mésofaune de la litière

Le principe est de récolter de la litière à l'aide d'un filet. L'échantillon passe dans un tamis à large maille afin d'en extraire le matériel végétal grossier. Le restant contenant les arthropodes et des végétaux passe dans un extracteur. L'extracteur de Berlese-tullgren peut convenir, l'utilisation de lumière et l'augmentation de la température n'est pas nécessaire.

### ***2.3.3.2 Méthodes spécifiques***

Pour une espèce ou une communauté particulière, plusieurs méthodes de capture peuvent exister. Elles sont reliées à la biologie du groupe considéré et à son impact sur l'agrosystème. Ce sont des méthodes dites actives qui attirent ou repoussent les organismes visés vers le lieu de récolte. Pour l'attraction, trois types de pièges peuvent être utilisés: les pièges alimentaire, les substrats artificiels et les pièges à phéromones. Ce dernier type n'est pas utilisé pour la faune du sol.

### **Les pièges alimentaires**

- Méthode Kirfmann : capture des larves de taupins (Chabert, 1995)

Ce piège consiste à placer au printemps des pots en plastique de 650ml, contenant des grains de maïs, de blé humidifiés (appât) et de la vermiculite, entre 15 et 20cm de profondeur et à les recouvrir par une couche de terre de 2cm. Un couvercle destiné à retenir le gaz carbonique émis par les graines en germination est placé au-dessus. Les taupins, attirés par le dégagement de CO<sub>2</sub> en provenance du piège pénètrent dans le piège.

- Litter-bag : capture de la communauté des décomposeurs (micro, mésofaune)

Cette technique consiste à enfouir dans le sol, à une profondeur déterminée des sacs imputrescibles contenant une quantité connue de matière végétale (paille, ...). Le prélèvement de ces sacs à date régulière permet de suivre la dégradation de cette matière, et par extraction les populations (champignons, microarthropodes) qui se trouvent sur les résidus (Beare *et al.*, 1991).

### **Les substrats artificiels** (capture des limaces (Chabert, 2006))

Cette méthode vise à créer un abri pour les limaces qui s'y réfugient lorsque les conditions extérieures deviennent défavorables. Plusieurs matériaux peuvent être utilisés : Aquanappe-aluminium, carton recouvert de plastique noir, contreplaqué. La surface des pièges est d'environ 0.25m<sup>2</sup>. Cette méthode de piégeage traduit l'activité des limaces. Elle peut montrer sur une même parcelle des niveaux de capture très différents selon les conditions climatiques.

Pour avoir des données fiables sur le nombre d'individus qui utilisent ce piège durant son exposition, il est possible d'utiliser des micro-granulés afin de les tuer.

### **Les Pièges répulsifs**

La répulsion créée dans le milieu étudié des conditions défavorables. Ces méthodes peuvent être utilisées sur le terrain ou en laboratoire, elles sont souvent coûteuses en temps et en main d'œuvre.

- Arrosage à l'eau formolé : capture de limaces et vers de terre

Cette méthode utilise une solution de formol (concentration 0.25%) qui est injectée à plusieurs reprises dans le sol. Les vers et les limaces fuient la substance et remontent à la surface. Pour 1 m<sup>2</sup> de sol étudié, 10 litres sont versés à 3 reprises.

Le formol est un produit toxique, il peut être remplacé par une solution à base de moutarde

- Extraction par immersion progressive d'un échantillon de sol : capture de limace
- Extraction par flottation : capture de nématodes

### **Analyse de signaux d'activité**

Ces méthodes visent à estimer les populations sans les capturer.

- Méthode des indices d'activité de surface (Giraudoux 1995) :

Cette méthode permet d'évaluer les populations de campagnols et d'attribuer une note à partir des monticules de terre identifiés.

- Détection à ultrasons :

Cette méthode se base sur les signaux émis par les espèces rhizophages<sup>10</sup> (ravageurs) lors du broutage. Elle est encore utilisée à titre expérimental.

---

<sup>10</sup> Voir annexe 1

### **2.3.4 Conservation des échantillons**

La plupart des organismes piégés se conservent correctement dans de l'alcool à 70%. Les organismes à corps mou (vers de terre, larve) doivent être conservés dans du formol à 4% pour conserver certaines caractéristiques tel que la couleur, utilisées pour la détermination.

Les analyses microbiologiques se font sur du sol frais, il convient donc de conserver les prélèvements au frais (4°C) et de limiter la durée avant d'effectuer les mesures (48 à 72h maximum suivant le prélèvement).

L'étiquetage des échantillons de faune récoltés est obligatoire. On notera sur l'échantillon le site d'où il provient, la date et le numéro du piège qui renverra à un plan de la parcelle sur lequel chaque piège aura été répertorié.

La détermination à l'espèce des individus capturés permet d'obtenir le maximum d'information pour caractériser le milieu. Si ce niveau d'identification n'est pas atteint, il est utile, dans la mesure du possible, de conserver les échantillons.

### **2.3.5 Identification de la récolte**

L'identification des organismes capturés vise à accumuler les informations pour comprendre la place et l'impact qu'ils ont dans leur milieu. Ces informations concernent notamment ses besoins et les moyens dont il dispose pour les satisfaire

- Le moyen de déplacement permet de connaître l'impact sur le sol, les capacités de colonisation d'un milieu
- Le régime alimentaire permet de connaître l'impact de l'organisme pour la culture
- Le poids permet d'estimer les besoins nécessaires à l'individu pour se nourrir et la biomasse vivante au sein d'un milieu.
- La taille relie l'individu à son milieu en termes de mobilité, d'habitats et de proie (pour les prédateurs plus particulièrement)

L'identification à l'espèce constitue pour cela le niveau le plus intéressant. En effet, l'ensemble des connaissances biologiques et comportementales des organismes sont connues et organisées à ce niveau. Les connaissances restent cependant très inégales d'un groupe à l'autre et obligent souvent à avoir recours à des spécialistes.

L'approche fonctionnelle ne nécessite pas forcément d'atteindre ce niveau de détermination et permet néanmoins d'obtenir une information suffisante pour appréhender de manière globale le fonctionnement du milieu. Le niveau varie donc en fonction du groupe étudié, de la qualité d'information souhaitée mais aussi des outils à disposition (disponibilité et accessibilité des clés et outils de détermination).

### **2.3.6 Données supplémentaires pour la connaissance du milieu**

Pour compléter l'étude et aider à l'interprétation des résultats, il est nécessaire de suivre autant que possible les paramètres physico-chimiques du milieu ainsi que les caractéristiques des travaux effectués dans le cadre de la production. Ces connaissances permettent de relier les résultats d'échantillonnage aux conditions locales.

Quelques paramètres intéressants à analyser :

- Bilan de la matière organique du sol (quantité accumulée en surface et en profondeur)
- Caractéristiques pédologiques (texture, structure, porosité)
- Caractéristiques chimiques (pH, CEC, taux de saturation, potentiel d'oxydo-réduction)
- Itinéraires techniques de production
- Macro et microclimats : température, humidité, au niveau aérien et souterrain

## Partie 3 : Premiers résultats

### 3.1 Étude de la faune épigée

Deux thèmes ont été traités :

- La comparaison de la pédofaune épigée<sup>11</sup> entre une parcelle forestière et les lignes de plantation d'arbre d'une parcelle agroforestières.
- La comparaison de la pédofaune épigée entre une parcelle agroforestière et une parcelle agricole (Notion de mobilité).

Cette étude encadrée par C. Hutteau à la Chambre d'Agriculture de Charente-Maritime, a été réalisée par C. Maman d'avril à juillet 2007 sur des parcelles mises à disposition par C. Jollet.

#### 3.1.1 Matériel et méthode

##### Présentation du site d'étude

Le site d'étude se trouve sur la commune des Éduts en Charente-Maritime (17). C. Jollet, agriculteur, y cultive depuis 35 ans des parcelles agroforestières.

Les travaux seront menés sur une parcelle (i) d'orge et noyers associés, (ii) d'orge en monoculture (témoin agricole) et (iii) de noyers (témoin forestier).

La parcelle d'agroforesterie est composée de rangs de noyers distants de 14m. Au sein du rang les arbres sont distants de 8 à 10m (densité d'environ 100 arbres/hectare). Cette parcelle est née du reboisement partiel d'une forêt défrichée. Cette essence a été choisie pour son intérêt économique, et pour son adaptation à la région (climat, sol). Certains noyers morts ont été remplacés par des merisiers.

Les sols de la région sont en majorité des terres dites de groies. Ce sont des sols argilo-calcaires superficiels très proches de la roche mère. L'épaisseur est en moyenne de 15 à 20 cm sur la zone, avec une fraction importante de cailloux.

##### Protocole d'échantillonnage

Les plans d'échantillonnages sont détaillés en Annexe 3.

Pour les deux thèmes abordés, le piège Barber (voir 2.3.3. Outils et méthodes d'échantillonnage de la faune du sol) a été utilisé. Le dispositif d'étude comprend 54 pièges : 14 pour comparer les communautés des lignes d'arbres avec celles d'une parcelle forestière, (7 pièges dans chacun des milieux) et le restant pour l'étude de mobilité (thème 2). Ces derniers sont installés avec une barrière pour privilégier la capture d'arthropodes provenant des milieux adjacents à la culture (ligne d'arbre pour la parcelle agroforestière et bordure pour la monoculture).

Dans la parcelle agroforestière, les pièges Barber ont été installés à 3 distances successives des lignes d'arbre (40cm, 3,5m et 7m). Dans la parcelle témoin agricole 5 distances depuis la bordure ont été piégées : 40cm, 3,5m, 8,5m, 12m et 15m. Pour chacune des distances, 5 pièges (soit 40 pièges en tout) ont été installés en mai 2007 pendant un mois avec des relevés hebdomadaires.

---

<sup>11</sup> Espèces présentes à la surface du sol, dans différentes matières organiques en cours de décomposition mais aussi dans les horizons organiques.

### 3.1.2 Résultats

Le tableau ci dessous présente le résultat des échantillonnages, où les mêmes groupes ont été étudiés pour chaque thème.

**Tableau 8 : Abondances moyennes (écart type) des communautés (les Éduts 2007)**

Groupes taxonomiques		Thème 1		Thème 2		
		Forestier	Lignes agroforestières	Agricole	Agroforestier	
Isopodes		12,9(13,9) a	16,4(13,9) a	0,1(0,2) a	3,3(4,6) b	
Myriapodes	Diplopodes	0,1(0,7) a	0,04(0,2) a	0,1(0,3) a	0,3(0,7) b	
	Chilopodes	0,6(0,3) a	0,04(0,2) a	0(0) a	0,1(0,6) b	
Arachnides	Aranéides	28,1(18) a	23,6(9,4) a	9(5,3) a	15,1(8,6) b	
	Opilions	1,6(2,5) a	0,8(1) a	2,6(2,5) b	0,6(0,9) a	
Insectes	Orthoptères	0,1(0,3) a	0,7(0,8) b	0,3(0,5) a	0,1(0,3) a	
	Hyménoptères	22,1(16,4) a	36,5(64,4) a	1,3(1,4) a	7,4(6,4) b	
	Dermaptère	0,2(0,4) a	0,1(0,3) a	0,1(0,4) a	0,3(0,6) b	
	Hémiptère	0,4(0,7) a	0,8(0,9) a	0(0,2) a	0,3(0,5) b	
	Coléoptères	Curculionidae	0,9(0,8) b	0,1(0,2) a	0,1(0,4) a	0(0) a
		Scarabeidae	0,4(1) a	1,4(2,6) a	0,6(1,5) b	0,2(0,4) a
		Staphylinidae	2,3(1,5) a	4(3,3) b	2(1,8) a	2(1,9) a
Carabidae		13,1(6,8) a	19,4(14) b	6(4,8) b	3,3(2,9) a	

#### 3.1.2.1 Thème 1 : comparaison de communauté entre le témoin forestier et les lignes de plantation d'arbre agroforestiers

##### Analyse taxonomique

Sur l'ensemble des communautés relevées, les staphylins, les carabes et les orthoptères sont statistiquement plus abondants dans les lignes d'arbre des parcelles agroforestières. Les Curculionidae (charançons) sont plus représentés dans la parcelle forestière.

##### Analyse fonctionnelle

Le regroupement des individus capturés selon leur rôle dans l'agrosystème (phytophage, prédateur, détritivore, ingénieur) n'a pas permis de différencier statistiquement les deux milieux étudiés. Les carabidae et les staphylinidae, deux familles importantes parmi les auxiliaires prédateurs, sont néanmoins plus abondants dans les lignes de plantation d'arbre que dans la parcelle forestière.

#### 3.1.2.2 Thème 2 : Comparaison des communautés agricoles et agroforestières

##### Analyse taxonomique

Le tableau 8 présente les deux communautés (agricole et agroforestière) sans tenir compte de la position des pièges par rapport aux bordures. Les analyses statistiques ont mise en évidence des populations supérieures dans le système agroforestier pour 7 des 13 taxons étudiés : les isopodes, les myriapodes (diplopodes et chilopodes), les aranéides, les fourmis, les hémiptères et les dermaptères. Les coléoptères Carabidae et Scarabeidae ainsi que les opilions sont plus abondants dans le milieu agricole.

##### Analyse fonctionnelle

Pour les prédateurs, il n'apparaît pas de différence significative entre les deux milieux étudiés. Les fourmis, principaux organismes ingénieurs piégés par cette méthode, et les détritivores sont plus abondants dans le système agroforestier. L'effet est inverse pour les phytophages, présents en plus grand nombre en milieu agricole.

L'analyse des échantillons en tenant compte de la distance du piège par rapport à la bordure (voir protocole d'échantillonnage) n'a pas apporté d'informations supplémentaires aux résultats ci-dessus. En effet, les distances choisies ne se sont pas avérées suffisamment pertinentes pour étudier correctement les capacités de dispersion (pas assez éloignées des bordures, notamment pour le témoin agricole).

## **3.2 Bilan global de la méso- et macrofaune en système agroforestier**

### **3.2.1 Matériel et méthode**

#### Présentation du site d'étude

Cette étude a été menée sur le site expérimental de Vézénobres (voir annexe 4) au Sud d'Alès (Gard) en bordure du Gardon. Il se divise en trois zones : une plantation agroforestière orientée Nord-Sud (n°96), une seconde orientée Est-Ouest (n°95). Toutes deux sont composées par une association de 3 clones de peupliers. Ces deux plantations disposent d'un témoin agricole et d'un témoin forestier. La troisième parcelle est une plantation plurispécifique dominée par du noyer. Seule la parcelle n°96 (orientée Nord-sud) est concernée par cette étude (Figure 5). Elle comprend une zone en agroforesterie, un témoin agricole et un témoin forestier. À ceci se rajoute une parcelle mitoyenne mise à disposition par P. Cogoluegne, agriculteur (second témoin agricole).

Le climat est de type méditerranéen sub-humide (voir annexe 4), caractérisé par une certaine sécheresse estivale et des précipitations élevées sous forme d'orages durant la période automnale. Le sol est de type sablo-limoneux, basique (pH eau compris entre 8.3 et 8.5 dans le premier mètre de sol) et pauvre en argile (voir annexe 4). Les conditions climatiques et la proximité de la nappe phréatique assurent généralement une croissance élevée pour les productions végétales.

#### Suivi du site expérimental

Depuis 1996, ces parcelles font l'objet de nombreuses études menées par l'équipe Agroforesterie de l'UMR SYSTEM de l'INRA, Montpellier SupAgro, CIRAD :

- Croissance annuelle des arbres
- Rendement des cultures
- Mesures du rayonnement incident
- Analyses de sol
- Bilan hydrique : infiltration, rétention et compétition entre les différents compartiments du système
- Stockage de carbone relié à la problématique du réchauffement climatique
- Modélisation couplée arbres-culture (modèle Hi-Safe).

#### Caractéristiques de la parcelle agroforestière

Les peupliers de cette parcelle ont été plantés en 1996. La densité de la plantation est d'environ 140 arbres à l'hectare (distance entre les lignes 15 mètres, distance entre les arbres 6 mètres).

Cette densité est aujourd'hui considérée comme trop élevée puisque les résultats montrent une densité optimale entre 30 et 100 arbres par hectare (Dupraz et al., 2005).

En 2006, une culture de colza était en place. La parcelle agroforestière a subi un travail du sol simplifié (enfouissement des résidus de récolte uniquement dans la couche superficielle du sol). Un traitement herbicide (glyphosate) a été réalisé 15 jours avant l'implantation du blé d'hiver pour le contrôle des adventices. Les semences n'ont pas été traitées.



**Figure 5 : Zone d'étude sur le site expérimental de Vézénobres (Gard) : 1-Parcelle agroforestière, 2-Témoin forestier, 3-Témoin agricole 1, 4-Témoin agricole 2 (parcelle de Mr Cogoluegne)**

#### Caractéristiques des témoins

- Témoin forestier

Cette parcelle a été plantée en même temps que la parcelle agroforestière à la densité de 205 arbres à l'hectare. Une inondation en 2002 a décapé la litière sur plusieurs centimètres entre les lignes d'arbres. Le sol du témoin forestier a été travaillé (travail superficiel) en 2005.

- Témoin agricole 1 : Au sein du dispositif expérimental

Les travaux effectués sur ce témoin sont identiques à ceux effectués sur la zone cultivée en agroforesterie. Malheureusement, ce témoin est situé à proximité immédiate de la parcelle agroforestière. Il ne s'affranchit pas en totalité des caractéristiques de ce système (présence de feuilles, possibilité de racines). Les dimensions de ce témoin (longueur 100 mètres, largeur 30 mètres) semblent faibles pour éviter les interactions avec les milieux voisins (parcelle de blé cultivée en conventionnel, bordure enherbée).

- Témoin agricole 2 : Parcelle de Mr Cogoluegne

Pour suppléer le premier témoin agricole, une deuxième parcelle de blé a été utilisée. Pour la mise en place de la culture, l'agriculteur a réalisé un labour profond. Le blé est traité (enrobage) par un insecticide (Lesgold). Il a été semé le 25 octobre 2006. Plusieurs traitements ont été effectués sur la culture : un herbicide (Hussard), un fongicide (Altitude). S'ajoute à cela des apports d'ammonitrate et d'azote à dissolution lente (Cotin 45).

L'itinéraire technique très différent limite les possibilités de comparaison avec le système agroforestier mais sa taille permet de réduire l'effet bordure (les pièges ont été disposés au centre de la parcelle). Elle apparaît pour cette dernière raison plus proche d'un réel témoin agricole. Seule la macrofaune épigée a été étudiée sur cette parcelle.

#### Protocole d'échantillonnage

Les plans d'échantillonnage détaillés sont présentés en Annexe 5, et la description des méthodes de piégeage dans la partie 2.3.3 Outils et méthodes d'échantillonnage. En résumé, les suivis effectués sont les suivants :

*1- Échantillonnage de la macrofaune endogée : Méthode TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility)*

L'échantillonnage a eu lieu du 17 au 21 avril. Six prélèvements choisis aléatoirement, ont été effectués sur les 3 zones du site expérimental : parcelle agroforestière, parcelle forestière et la zone agricole.

*2- Échantillonnage de la macrofaune épigée : Piège barber*

La mise en place des pièges s'est faite le 03 mai 2007, 10 pièges ont été disposés de manière aléatoire dans la parcelle agroforestière, les témoins forestier et agricole n°1 et n°2. La durée de piégeage s'est étalée sur trois semaines avec des relevés hebdomadaires.

*3- Échantillonnage de la mésofaune : Prélèvement et extraction à l'aide de la technique Berlèse Tullgren*

Les prélèvements ont été effectués le 24 avril, l'extraction de la faune s'est étendue sur 10 jours. Comme pour l'échantillonnage TSBF, seule la parcelle agroforestière, la parcelle forestière et la zone agricole 1 ont été échantillonnées.

#### Niveau de détermination

Comme on a pu le voir dans la première partie (Classification de la pédofaune), il est utile de disposer d'un niveau de détermination le plus proche possible de l'espèce. Ce travail long et laborieux est pour de nombreux groupes l'affaire de spécialistes (Pik et al., 1999), n'a donc pas pu être atteint.

Le niveau de détermination a été fixé en fonction du type de communauté piégée :

- pour la macrofaune épigée, le niveau fonctionnel (herbivore, prédateurs, détritivores) a été recherché. Il a été nécessaire pour cela d'atteindre des niveaux taxonomiques très variables allant de la classe (crustacés) jusqu'à la famille (Carabidae, Staphylinidae, Elateridae). Pour deux familles de prédateurs (Staphylinidae et Carabidae) la détermination c'est faite jusqu'à la morphoespèce afin d'utiliser d'autres outils d'analyse (richesse spécifique, organisation en fonction de la taille).
- Pour la macrofaune endogée et la mésofaune, les niveaux de détermination atteints n'ont pas permis de relier chaque groupe d'individus à un rôle dans leur milieu. La détermination des larves trouvées dans le sol a atteint au mieux, l'ordre (Coléoptère, Diptère,...).

## 3.2.2 Résultats

### 3.2.2.1 Macrofaune épigée

Tableau 9 : Abondances moyennes (écart type) des taxons de la macrofaune épigée (Vézénobres 2007)

Groupe taxonomique		Forestier	Agroforestier	Agricole 1	Agricole 2	
Isopodes		114,3(123,8) a	1047(532,5) b	437,35(304) b	0,7(1,4) a	
Myriapodes	Diplopodes	3,05(2,4) a	5,8(2,1) b	6,8(4,4) b	5,3(2,8) b	
	Chilopodes	0,2(0,5) a	0,1(0,3) a	0(0) a	0,1(0,2) a	
Arachnides	Aranéides	4,8(4,6) a	8,6(4,9) b	4,2(5,4) a	4(4,4) a	
	Opilions	2,1(3,2) ab	3,3(4,8) b	0,4(0,8) a	0,2(0,4) a	
Insectes	Thysanoures	0,55(0,9) b	0(0) a	0(0) a	0(0) a	
	Hyménoptères	14,45(15,5) b	0,5(0,8) a	2,25(2,4) a	9,4(9,6) b	
	Dermaptère	0,45(0,7) a	1,4(1,8) b	0,35(0,6) a	0(0) a	
	Hémiptère	0,1(0,3) a	0(0) a	0,5(1) a	0,1(0,3) a	
	Coléoptères	Total	7,9(7,8) a	22,2(8,9) b	38,1(23,2) c	32,3(14,7) c
		Geotrupidae	0,4(1,1) a	0,1(0,3) a	0,1(0,3) a	0,2(0,4) a
		Curculionidae	0,05(0,2) a	0,2(0,6) a	0,05(0,2) a	0,1(0,5) a
		Histeridae	0(0) a	0,1(0,2) a	0,05(0,2) a	0(0) a
		Scarabeidae	0(0) a	0(0) a	0,05(0,2) a	0(0) a
		Elateridae	0(0) a	0,2(0,7) a	0,2(0,4) a	0(0) a
		Oedemeridae	0,05(0,2) a	0(0) a	0(0) a	0(0) a
		Alleculidae	0(0) a	0(0) a	0(0) a	0,1(0,2) a
		Silphidae	0(0) a	0,1(0,2) a	0,3(0,6) a	0,2(0,5) a
	Bostrichidae	0(0) a	0(0) a	0(0) a	0,1(0,2) a	
	Staphylinidae	1,05(1,2) a	2,7(2) a	5,75(4,3) b	14,4(7,9) c	
	Carabidae	6,2(6,7) a	18,5(7,8) b	30,6(21) c	16,3(8,3) b	

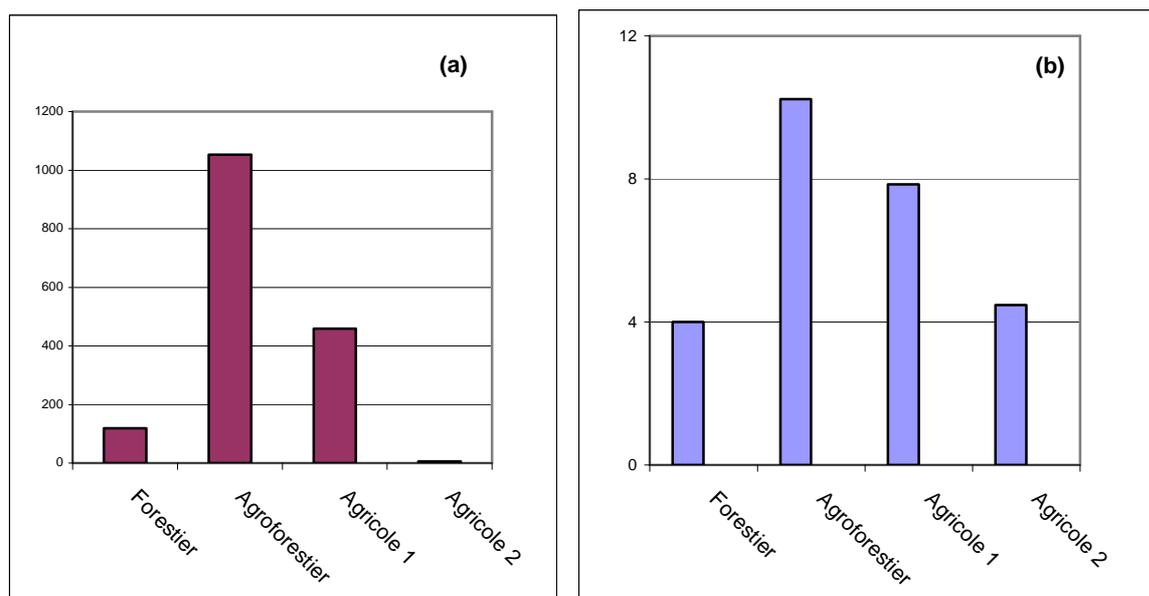
#### Analyse taxonomique

Le milieu agroforestier présente les effectifs globaux les plus importants. Cette donnée traduit une biomasse supérieure dans ce système agroforestier. Les isopodes tiennent là une place prépondérante.

Pour les isopodes et les arachnides (opilions et aranéides) les effectifs maxima sont observés dans le système agroforestier. Les diplopodes ont des effectifs plus abondants dans les milieux cultivés que dans la parcelle forestière.

Trois des cinq ordres d'insectes identifiés présentent des différences selon le milieu. Les hyménoptères (fourmis) sont plus abondants en milieu forestier et dans le second témoin agricole. Les dermaptères sont quant à eux plus abondants dans le système agroforestier. Les effectifs de coléoptères sont plus importants dans les parcelles agricoles que dans les autres systèmes. Deux familles de coléoptères dominent cet ordre, les Carabidae et les Staphylinidae. Les milieux agricoles sont plus riches en Staphylinidae. Les Carabidae sont plus abondants dans le premier témoin agricole, mais le système agroforestier et le second témoin agricole ont des effectifs similaires.

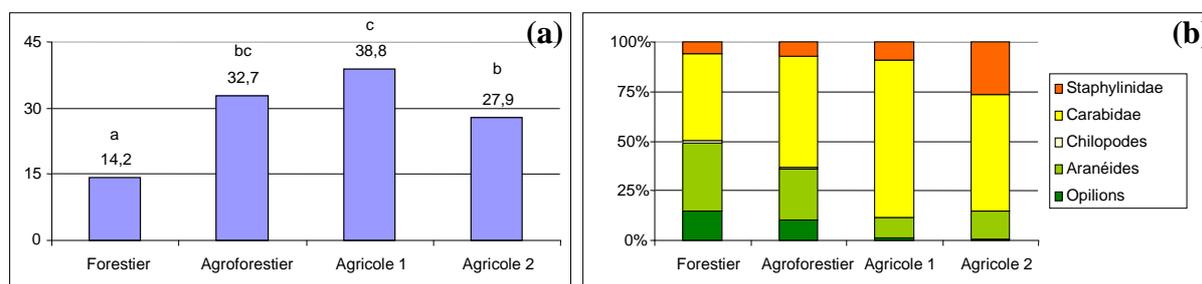
## Analyse fonctionnelle des communautés



**Figure 6 :** Abondance (effectifs piégés) des détritivores (a) et des phytophages (b) (Vézénobres 2007)

Les effectifs moyens (par piège) de détritivores varient entre quelques individus (témoin agricole 2) et plus de 1000 individus dans le système agroforestier. Ils sont largement dominés par les isopodes (cloportes). Le système agroforestier présente des effectifs largement supérieurs aux autres milieux. Les résidus du précédent cultural (colza) offrent une importante quantité de matière organique à cette communauté et peuvent expliquer en partie ces résultats. La différence entre le témoin agricole 1 et la parcelle agroforestière (qui ont des itinéraires culturaux identiques) montre cependant que ce dernier a une influence sur les détritivores (particulièrement les isopodes).

La communauté des phytophages présente des effectifs supérieurs dans le milieu agroforestier. Une diversité et une abondance des végétaux plus importante dans le système agroforestier peuvent expliquer ce résultat. Cette communauté ne doit pas être assimilée aux ravageurs de la culture, le niveau de détermination atteint n'est pas suffisant pour cela.



**Figure 7 :** Abondance moyenne des prédateurs (a) et proportions relatives des groupes représentés (b)

La communauté des prédateurs est la mieux déterminée de part des analyses plus précises. Les milieux cultivés présentent les effectifs de prédateurs les plus importants (Figure 7a). Les prédateurs sont moins abondants dans le témoin agricole 2 que dans le témoin agricole 1, ceci peut être dû aux traitements phytosanitaires effectués sur le Témoin 2. Il n'y a pas de différence significative avec le système agroforestier.

Le graphique (Figure 7b) présente la structure de la communauté des prédateurs. Les effectifs des groupes de prédateurs considérés (Carabidae, Staphylinidae, chilopodes, aranéides et opilions) sont présentés en pourcentage de l'effectif total des milieux. On observe une organisation particulière à chacun des milieux. Sur le site expérimental, les proportions de coléoptères prédateurs (Carabidae et Staphylinidae) augmentent dans les milieux les plus ouverts (forestier<agroforestier<agricole). La tendance est inversée pour les arachnides (opilions et aranéides) dont les proportions sont plus importantes en présence d'arbre.

En comparaison au témoin agricole 1, le Témoin 2 a une proportion de staphylin supérieure contrairement à celle des carabidae. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette tendance : Les staphylins ont de fortes capacités de colonisation (par le vol), le second témoin offre un milieu sans obstacle, favorable à leur mobilité. Contrairement au carabidae, ils sont connus pour occuper les milieux agricoles perturbés (travail du sol, pesticides,...). Les carabidae ont des moyens de dispersion plus faibles, ils profitent dans le témoin agricole 1 de la proximité des bordures non cultivés. Les carabidae sont sensibles aux produits chimiques et les traitements ont été plus nombreux dans le second témoin agricole.

### 3.2.2.2 Macrofaune souterraine

La méthode de prélèvement TSBF a permis la capture de plus d'un millier d'individus. Une grande diversité d'organismes appartenant aux 6 principaux groupes d'invertébrés du sol est représentée (insectes, myriapodes, arachnides, crustacés, annélides, et mollusques).

**Tableau 10 :** Abondance moyenne (écart type) de la macrofaune souterraine (Vézénobres 2007) (par m<sup>2</sup> et sur 30 cm de profondeur)

	Forestier	Agroforestier	Agricole
Mollusque	56,0(78)	37,3(25,1)	29,3(29,1)
Chilopode	22,2(32,5)	8,0(13,7)	7,1(9,8)
Diplopode	15,11(23,6)	16,9(24,2)	8,9(16,7)
Isopode	2,7(6,1)	5,3(11,0)	11,6(28,4)
Araignée	8,0(22,8)	2,7(8,2)	7,1(16,7)
Enchytreide	35,6(46,4)	6,2(11,2)	14,2(15,4)
Vers de terre	25,8(33,9)	60,4(62,2)	83,6(86,4)
Fourmi	136,0(424,1)	2,7(6,1)	0,9(3,8)
Larve de coléoptère	48,0(64)	26,7(32)	16,9(21,6)
Larve de diptère	13,3(30,7)	0,0(0,0)	1,8(5,2)
Larve d'Elateridae	10,7(21,2)	5,3(11,0)	6,2(9,7)
Adulte de coléoptère	13,3(16,7)	18,7(39,3)	20,4(30,0)

La comparaison par milieu sans tenir compte des profondeurs d'échantillonnage n'a pas mis en évidence de différences significatives (Tableau 10).

En accord avec la bibliographie, l'analyse par strates (0-10, 10-20, 20-30cm) a mis en évidence une plus forte présence des organismes dans les premiers centimètres du sol. Les 10 premiers centimètres du sol forestier abritent des effectifs supérieurs pour les Chilopodes, les larves de diptères et de coléoptère (dont Elateridae). Les isopodes et les vers de terre (tous stade confondus) sont présents en plus grand nombre dans les premiers centimètres du sol agroforestier.

### 3.2.2.3 Mésofaune

L'extraction à l'aide de l'appareil de Berlese-Tullgren a permis la capture de nombreux individus de la mésofaune. L'analyse s'est limitée pour des questions pratiques à la comparaison des 5 principaux groupes identifiés : les acariens, les collemboles, les fourmis, les larves de coléoptère et les enchytréides.

Les tests statistiques n'ont montré aucune différence significative entre les différents milieux échantillonnés (Tableau 11).

**Tableau 11** : Abondance moyenne (par Kg de terre) (écart type) de la mésofaune (Vézénobres 2007)

	forestier	agroforestier	agricole
Acariens	184,1(57,1)	165,9(211,8)	64,9(15,9)
Collemboles	16,2(3,7)	17,2(11,1)	17,6(12,3)
Larve de coléoptère	4,5(3,3)	2,6(2,7)	3,9(2,8)
Fourmis	17,9(19,8)	0,0(0,0)	1,95(2,9)
Enchytréides	0,0(0,0)	5,8(9,5)	7,9(10,7)

Ce niveau de détermination a permis de relier les enchytréides et les fourmis à leur fonction dans le sol : organismes ingénieurs influençant la structure du sol. Pour cette communauté, aucune différence n'a été mise en évidence. Les autres populations recensées possèdent des régimes alimentaires trop diversifiés pour estimer leurs impacts sur le milieu. On observe en effet des espèces phytophages, mycophages, prédatrices ou encore détritivores qui nécessitent d'aller plus en avant dans la détermination.

## **Partie 4 : Bilan des premiers suivis et perspectives**

### **4.1 Résultats**

#### Les détritivores

Pour la macrofaune détritivore, les deux études ont mis en évidence des effectifs plus importants dans les systèmes agroforestiers. Les résultats de capture sont très différents, quelques individus ont été capturés en moyenne en Charente-Maritime contre plusieurs centaines à plusieurs milliers dans le Gard. Si l'effet positif du système agroforestier apparaît, les résultats mettent en évidence l'effet d'autres paramètres tels que la quantité de matière organique disponible.

#### Les prédateurs

Aucune différence statistique significative entre le milieu agricole et le milieu agroforestier pour la communauté de prédateurs n'a été mise en évidence. Sa structure (composition en espèces ou familles) en revanche est variable suivant les lieux étudiés.

Les tendances observées sur les deux sites (Charente-Maritime et Gard) sont semblables pour les Carabidae et les aranéides : les Carabidae sont plus abondants en milieu agricole, alors que les aranéides sont plus présents dans le système agroforestier.

Les staphylins sont plus abondants dans les systèmes agricoles de Vézénobres, les chilopodes dans le système agroforestier de Charente-Maritime, ces résultats n'ont pu être confirmés sur les deux sites.

À Vézénobres, les effectifs et les proportions relatives d'opilions sont plus importants dans le système agroforestier que dans les témoins agricoles. L'inverse a été observé dans les parcelles de Charente-maritime. Cela confirme les difficultés d'interprétation et renforce l'intérêt d'un suivi pour voir l'évolution des effectifs dans le temps.

Les coléoptères Carabidae et Staphylinidae sont plus abondants dans le milieu agroforestier (lignes d'arbre et culture annuelle) que dans les témoins forestiers. Ceci est également observé pour les aranéides de la culture annuelle (plus abondant qu'en système forestier) mais pas pour les autres groupes de prédateurs (chilopodes, opilions).

#### Les phytophages

Les résultats des deux études sont différents. Si en Charente-Maritime les phytophages sont plus abondants dans la zone agricole que dans la parcelle agroforestière, c'est l'inverse dans les parcelles du Gard.

Pour ces études, le niveau de détermination ne permet pas d'assimiler l'ensemble de la communauté phytophage à des ravageurs des cultures en place. Les mollusques constituent cependant des ravageurs lorsqu'ils sont présents dans une culture. Les observations effectuées montrent des effectifs supérieurs en système agroforestier. Les prélèvements de sol indiquent des effectifs agroforestiers supérieurs à ceux des témoins agricoles mais inférieurs aux forestiers.

#### Les organismes ingénieurs

Pour les organismes ingénieurs les résultats sont variables en fonction du lieu étudié mais aussi de la méthode utilisée.

Sur l'ensemble du profil de sol étudié (30cm de profondeur) les vers de terre présentent des effectifs plus abondants dans le témoin agricole que dans les autres milieux. Le témoin forestier a l'effectif le plus faible. En revanche, les populations observées en surface (10 premiers centimètres) sont plus importantes dans le système agroforestier. Ceci indique une abondance supérieure de la communauté épigée, spécialisée dans la décomposition des litières, probablement lié aux résidus de végétaux.

Les résultats obtenus pour les fourmis sont variables. Dans le Gard, les effectifs les plus abondants sont observés dans la parcelle forestière. L'échantillonnage de surface (piège barber) montre également un effectif similaire avec le témoin agricole 2. En Charente-Maritime le témoin forestier et les rangées d'arbres présentent les mêmes effectifs. Les fourmis sont plus abondantes dans le système agroforestier que dans la parcelle agricole.

Les enchytréides ont été étudiés à l'aide des prélèvements TSBF, dans lesquels ils ont été extraits manuellement, et par l'échantillonnage de la mésofaune avec une extraction dans l'appareil de Berlese-Tullgren. Les deux méthodes montrent des effectifs plus importants dans le témoin agricole 1 que dans la parcelle agroforestière. En revanche pour la zone forestière les résultats sont radicalement opposés puisque l'effectif est nul par l'extraction de Berlese-tullgren et qu'ils sont plus abondants que dans les autres milieux par l'extraction manuelle.

La qualité des extractions dépend de l'observateur pour l'extraction manuelle et de plusieurs paramètres pour l'extraction Berlese-Tullgren (prédation, entrée en diapause et/ou mortalité des individus avant la capture). Les méthodes mises en place pour cette communauté n'ont pas permis d'obtenir des résultats précis. Des pistes sont proposées en annexe 2 afin d'améliorer la qualité des résultats.

## **4.2 Protocoles d'échantillonnage utilisés**

Sur le site gardois, les méthodes d'échantillonnage testées permettent d'étudier une grande partie des communautés vivantes du sol, exceptées la microfaune et la microflore.

Le plan d'échantillonnage utilisé (nombre de répétition, durée des piégeages,...) n'a pas permis d'avoir une image complète des communautés présentes, malgré une mise en place déjà coûteuse en temps, en main d'œuvre et en matériel.

Plusieurs modifications peuvent être apportées afin d'améliorer la qualité des résultats et de ne pas augmenter voire de diminuer les efforts nécessaires. L'ensemble de ces remarques est pris en compte dans les propositions de protocole (Annexe 2).

- Échantillonnage de la mésofaune : les prélèvements de terrain sont rapides et ne nécessitent que peu de matériel. L'extraction Berlese tullgren de la faune quant à elle nécessite une pièce et un dispositif d'extraction particulier (voir 2.3.3 Outils et méthodes d'échantillonnage). Le tri et la reconnaissance des individus réclament beaucoup de temps et nécessite du matériel de précision (loupe x60 ou microscope) et l'intervention d'un spécialiste.

Il apparaît donc difficile d'étudier « en routine » sur de nombreux sites la mésofaune du sol.

- Échantillonnage de la macrofaune de surface : La mise en place des pièges et les relevés hebdomadaires ne réclament pas beaucoup de matériel et se font rapidement. La phase de tri est plus laborieuse et la quantité d'individus récoltés nécessite une phase longue d'identification. Une loupe binoculaire (x40) suffit à la détermination de la majorité des groupes. L'intervention de spécialiste est conseillée pour atteindre le niveau de l'espèce. Il peut être utile de diminuer la durée de piégeage (24 ou 48 heures) ce qui, en permettant d'augmenter le nombre de pièges, peut limiter la quantité de travail et améliorer sa qualité.

- Échantillonnage de la macrofaune souterraine : Le prélèvement de sol et le tri manuel de la faune sont très coûteux en temps et en main d'œuvre. Les 18 échantillons réalisés (6 par milieu) ont nécessité environ 2 jours de travail à 4 personnes. Malgré cela la qualité des résultats est inférieure à celle espérée. L'utilisation d'un liquide répulsif et la réduction du prélèvement à 15cm de profondeur permettraient de réduire la quantité de travail par échantillon. Il est apparu nécessaire d'augmenter le nombre de répétition pour améliorer la qualité de représentation du milieu.

La faune de surface a été prélevée manuellement sur le carré observé (25x25cm). Les résultats obtenus par échantillonnage Barber (méthode efficace pour la faune épigée) sont cependant trop différents pour utiliser cette méthode sur la macrofaune de surface. Ceci est dû à la faible surface considérée, à la capacité de fuite des individus et à l'activité souvent nocturne de la faune épigée alors que les prélèvements ont été faits de jour.

- Pour la comparaison agroforesterie-monoculture menée en Charente-Maritime, le dispositif mis en place n'a pas permis d'observer la population de plein champ et leur évolution au fur et à mesure que l'on s'éloigne des bordures. Il faudrait prévoir une meilleure représentativité de la parcelle agricole en prenant des distances plus importantes par rapport aux bordures (ex : jusqu'à 100m). Au fur et à mesure que l'on s'éloigne des bordures, la direction prise par les arthropodes devient plus « aléatoire », l'utilisation de barrière ne serait donc pas justifiée.

### **4.3 Bilan des analyses et des déterminations**

Le temps a été un des principaux facteurs limitant pour l'obtention d'un bon niveau d'identification après la mise en place de l'échantillonnage, sa réalisation et la préparation des échantillons. Les outils de détermination sont généralement limités à un groupe ou un stade de développement. Ils sont difficiles à prendre en main et souvent l'affaire de spécialistes.

- Pour les larves capturées avec la méthode d'échantillonnage TSBF, seule la détermination au niveau de l'ordre est envisageable. Il n'est alors pas possible de déterminer les groupes fonctionnels auxquelles elles appartiennent. L'étude de la biomasse et des abondances globales peut permettre cependant des analyses comparatives des milieux.
- L'étude de la mésofaune s'est limitée aux grands groupes (acaréens, collembolés, coléoptères,...). Ce niveau ne permet pas d'y associer un rôle précis sur le système cultivé. L'intervention d'un spécialiste est obligatoire pour atteindre les niveaux supérieurs de détermination.
- Le niveau de détermination atteint pour les vers de terre ne permet pas d'expliquer les résultats obtenus. Les grands groupes mis en évidence par Bouché en 1972 (épigés, anéciques, endogés) permettraient d'améliorer le diagnostic en limitant l'effort d'identification. Le stade de développement des individus (œuf, juvénile, adulte) est également porteur d'information sur la reproduction et la dynamique de ces populations.

Des suivis plus ciblés sur un groupe, une fonction voire une espèce pourrait être mise en œuvre pour des questions précises à partir de ces premiers résultats. Un début de recensement des experts pour l'identification a été entrepris. Cette première liste est disponible en annexe 9.

Ce travail a permis de poser les bases méthodologiques à l'étude de la pédofaune en système agroforestier. Les résultats obtenus apportent une première évaluation de la diversité mais aussi des fonctions des communautés dans les milieux composés. Cela permet d'avoir une première référence pour mieux suivre l'évolution des différents groupes relevés.

## LISTES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

FIGURE 1 : SIMULATION DE LA VARIATION DE LA TEMPERATURE EN SURFACE ET A 4 PROFONDEURS (10, 20, 30 ET 40 CENTIMETRES). (D'APRES CALVET, 2003).....	9
FIGURE 2 : COMPARAISON SIMPLIFIEE DES ZONES AERIENNES DE SYSTEME AGROFORESTIER ET DE MONOCULTURE ....	19
FIGURE 3 : ÉVOLUTION DE L'EXPOSITION DU SOL EN SYSTEME AGROFORESTIER SUR UNE ANNEE EN RELATION AVEC UNE CULTURE ANNUELLE (EX : BLE D'HIVER).....	21
FIGURE 4 : RESSOURCES (HABITATS, ALIMENTATION) DISPONIBLE POUR LA FAUNE DU SOL EN SYSTEME AGROFORESTIER. ....	26
FIGURE 5 : ZONE D'ETUDE SUR LE SITE EXPERIMENTAL DE VEZENOBRES (GARD) : 1-PARCELLE AGROFORESTIERE, 2-TEMOIN FORESTIER, 3-TEMOIN AGRICOLE 1, 4-TEMOIN AGRICOLE 2 (PARCELLE DE MR COGOLUEGNE) .....	35
FIGURE 6 : ABONDANCE (EFFECTIFS PIEGES) DES DETRITIVORES (A) ET DES PHYTOPHAGES (B) (VEZENOBRES 2007) ..	38
FIGURE 7 : ABONDANCE MOYENNE DES PREDATEURS (A) ET PROPORTIONS RELATIVES DES GROUPES REPRESENTES (B) .....	38

\*\*\*\*\*

TABLEAU 1 : COMPOSITION DE L'ATMOSPHERE AERIENNE ET SOUTERRAINE. EXTRAIT ET ADAPTE DE GOBAT ET AL. (2003) ET PESSON (1971) .....	9
TABLEAU 2 : EFFET POSITIF (+), NEGATIF (-) OU NUL (0) DES DIFFERENTS TYPES D'INTERACTIONS ENTRE 2 ORGANISMES A ET B. D'APRES GOBAT ET AL, 2003.....	10
TABLEAU 3 : SYNTHESE DES FONCTIONS ESSENTIELLES JOUEES PAR LES ORGANISMES VIVANTS DU SOL (D'APRES GIRARD ET AL., 2005) (LES REPRESENTANTS DE LA PEDOFAUNE SONT INDICUES EN « GRAS »).....	13
TABLEAU 4 : REGIMES ALIMENTAIRES DES PRINCIPAUX COLEOPTERES DU SOL (GOBAT ET AL, 2003).....	17
TABLEAU 5 : REGIMES ALIMENTAIRES DE QUELQUES FAMILLES DE DIPTERES DU SOL (GOBAT ET AL, 2003).....	18
TABLEAU 6 : STADES ET ORGANES DES PLANTES SENSIBLES AUX ATTAQUES DE MOLLUSQUES DANS LES PRINCIPALES GRANDES CULTURES.....	24
TABLEAU 7 : STADES CONSIDERES COMME SENSIBLES AUX ATTAQUES DE TAUPINS POUR QUELQUES PRODUCTIONS ...	25
TABLEAU 8 : ABONDANCES MOYENNES (ÉCART TYPE) DES COMMUNAUTÉS (LES ÉDUTS 2007) .....	33
TABLEAU 9 : ABONDANCES MOYENNES (ÉCART TYPE) DES TAXONS DE LA MACROFAUNE ÉPIGÉE (VÉZENOBRES 2007) .....	37
TABLEAU 10 : ABONDANCE MOYENNE (ECART TYPE) DE LA MACROFAUNE SOUTERRAINE (VEZENOBRES 2007) (PAR M <sup>2</sup> ET SUR 30 CM DE PROFONDEUR) .....	39
TABLEAU 11 : ABONDANCE MOYENNE (PAR KG DE TERRE) (ECART TYPE) DE LA MESOFAUNE (VEZENOBRES 2007)....	40

## BIBLIOGRAPHIE

- ANDERSEN A. (2003) - Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. II. Effect on pest and beneficial insects. *Crop Protection* 22, 147-152
- BACHELIER G. (1978) - La faune des sols Son écologie et son action. *ORSTOM* 391p
- CALVET R. (2003) - Le sol : Propriétés et fonction I et II. *France Agricole (Ed)* 455p
- CALVET R., BARRIUSO E., BEDOS C., BENOIT P., CHARNAY M.P., COQUET Y. (2005) - Les pesticides dans le sol, Conséquences agronomiques et environnementales. *France Agricole (Ed)*. 637p
- CHABERT A. (1995) – Les Taupins, vers une prévision des risques. *ACTA (Ed)*. 25p
- CHABERT A. (2002) - Utilisation d'indicateurs biologiques pour l'analyse de l'impact des pratiques agricoles sur l'environnement, Rapport final. *ACTA, Diagnostic environnemental et indicateurs biologiques dossier 99/19* 152p.
- CHABERT A. (2006) – Les limaces des cultures, éléments de gestion des risques. *ACTA (Ed)*. 62p
- COLLINS K.L. (2002) - Influence of beetle banks on cereal aphid predation in winter wheat. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93, 337-350
- CHAUSSOD R. (1996) - La qualité biologique des sols Evaluation et implications. *Etude et Gestion des Sols* 4, 261-276
- DAJOZ R. (1998) - les insectes et la forêt. *Technique et documentation (Ed)* 593p
- DAJOZ R. (2000) - Précis d'écologie. 7eme Edition, *Dunod (Ed)*, 615p
- DORE T., LE BAIL M., MARTIN P., ROGER ESTRADE J. (2006) - l'agronomie aujourd'hui. *Quae (Ed)*, 367p
- DUPRAZ C., BURGESS P., GAVALAND A., GRAVES A., HERZO F., INCOLL L., JACKSON N., KEESMAN K., LAWSON G., LECOMTE I., LIAGRE F., MANTZANAS K., MAYUS M., MORENO G., PALMA J., PAPANASTASIS V., PARIS P., PILBEAM D., REISNER Y., VINCENT G., WERF VAN DER W. (2005) - Synthesis of the Silvoarable Agroforestry For Europe project. *INRA-UMR System Editions*, Montpellier, 254 p.
- EKSCHMITT K., STIERHOF T., DAUBER J., KREIMES K., WOLTERS V. (2003) - On the quality of soil biodiversity indicators: abiotic and biotic parameters as predictors of soil faunal richness at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 98, 273-283
- EL TITI A. (2003) - Soil tillage in agroecosystem. *CRC Press* pp261-282
- FRONTIER S., PICHOT-VIALE D., LEPETRE A., DAVOULT D., LUCZAC C. (2004) - Ecosystème, Structure, Fonctionnement, Evolution. 3ème édition, *Dunod (Ed.)* 549p
- GIRARD M.C., WALTER C., REMY J.C., BERTHELIN J., MOREL J.L. (2005) Sols et Environnement. *Dunod (Ed.)* 816p
- GOBAT J.M. ; ARAGNO M. ; MATTHEY W. (2003) - Le sol vivant : Bases de pédologie, Biologie des sols. *Presses polytechniques et universitaires romandes (Ed)*, 528p
- GRIMALDI M. (2000) - Effet des structures biogéniques sur le fonctionnement du système Sol-Plante. *C.R. Acad. Agric. Fr.* n°8 86, 137-146
- KLADIVKO E.J. (2001) - Tillage system and soil ecology. *Soil and Tillage reserach* 61, 61-76
- LAVELLE P. (2000) - Macro-invertébrés du sol : des intestins de la terre aux organismes ingénieurs. *C.R. Acad. Agric. Fr.* n°8 86, pp.121-127
- PESSON P. (1971) - La vie dans les sols Aspects nouveaux études expérimentales. Gauthier Villars (Ed), 471p
- PIK A.J, OLIVER I., BEATTIE A.J. (1999) - Taxonomic sufficiency in ecological studies of terrestrial invertebrates. *Australian Journal of Ecology* 24, 555-562
- RAMADE F. (1993a) Diversité. In Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des Sciences de L'Environnement. *Ediscience internationale (Ed.)*, pp. 190-191
- RAMADE F. (1993b). Equitabilité. In Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des Sciences de l'Environnement. *Ediscience internationale (Ed.)*, pp. 239.
- RICOU G. 1967. Etude biocénotique d'un milieu naturel: la prairie permanente. INRA, Annal des épiphytes vol.18.
- WITTWER A. (1993), Peuplements de Staphylinidae (*Insecta Coleoptera*) de quelques prairies et champs cultivés de l'ouest de la Suisse. Thèse présentée à la faculté des sciences de l'Université de Neuchâtel.

## ANNEXES

ANNEXE 1 : CLASSIFICATION TAXONOMIQUE DE LA PEDOFAUNE.....	1
ANNEXE 2 : REGIMES ALIMENTAIRES RENCONTRES DANS ET A LA SURFACE DU SOL .....	2
ANNEXE 3 : ILLUSTRATION DE QUELQUES PIEGES ET TECHNIQUES D'ECHANTILLONNAGE .....	3
ANNEXE 4 : PROTOCOLES DETAILLES DES METHODES D'ANALYSE DE LA PEDOFAUNE EN SYSTEME AGROFORESTIER.....	5
ANNEXE 5 : PLAN D'ECHANTILLONNAGE DES SUIVIS 2007 CHEZ M. JOLLET .....	10
ANNEXE 6 : SITUATION, CONTEXTE CLIMATIQUE ET PEDOLOGIQUE DU SITE DE VEZENOBRES .....	11
ANNEXE 7 : PLAN D'ECHANTILLONNAGE DES SUIVIS 2007 A VEZENOBRES .....	12
ANNEXE 8 : RESULTATS DES ECHANTILLONNAGES REALISES A VEZENOBRES (GARD) .....	13
ANNEXE 9 : LISTE DES EXPERTS – RESSOURCES POUR IDENTIFICATION D'ECHANTILLONS DE PEDOFAUNE .....	14

## Annexe 1 : Classification taxonomique de la pédofaune

Embranchement	Classe	Ordre	Famille	
Protozoaires				
Némathelminthes	Nématodes			
Annélides	Lumbricidés			
	Enchytréides			
Mollusques	Gastéropodes			
Arthropodes	Crustacés	Isopodes		
	Diplopodes			
	Chilopodes			
	Arachnides	Acariens		Gamasides Oribates Actinedides
		Aranéides		
		Opilions		
	Insectes	Collemboles		
		Diploures		
		Thysanoures		
		Isoptère		
		Diptères (Larves)		
		Hyménoptères		
		Dermaptères		
		Orthoptères		
		Hémiptère		
		Lépidoptère (chenille)		
Coléoptères				Carabidae Elateridae Staphylinidae Alleculidae Bostrichidae Scarabeidae géotrupidae Curculionidae Histeridae Siphidae ...

## Annexe 2 : Régimes alimentaires rencontrés dans et à la surface du sol

Catégorie	Nourriture	Exemples d'organismes
<b>Nourriture vivante d'origine végétale</b>		
Algophages	Algues	Collemboles, larves, nématodes
Fongivores = mycétophages	Champignons	Larves de diptères
Frugivores	Fruits tombés	Fourmis, larves d'élatérides
Granivores	Graines	Carabes, charançons
Herbivores	Mousses, végétaux supérieurs, lichens	Chenilles
Lichenivores	Lichens	Oribates, thysanoures
Muscivores	Mousses	Tardigrades
Mycophages	Moisissures	Collemboles, oribates
Opophages	Sève	Pucerons des racines
Pollinivores	Pollen	Coléoptères, syrphidés
Rhizophages	Racines vivantes	Larves de charançon, de hannetons
Xylophages = lignivores	Bois vivant	Larves et adultes de coléoptères
<b>Nourriture vivante d'origine animale</b>		
Carnivores (vertébrés)	Herbivores	Belettes, renards
Drilophages	Vers de terre	Taupes
Entomophages	Insectes	Courtillières
Hématophages	Sang	Acariens, puces
Insectivores	Insectes	Musaraignes
<b>Nourriture vivante d'origine microbienne</b>		
Bactérovores	Bactéries	Protozoaires, nématodes
Microphages	Protozoaires, bactéries, algues, champignons	Larves de diptère, oribates, collemboles, nématodes
<b>Nourriture morte</b>		
Charognards	Cadavres de vertébrés	Oiseaux, mammifères
Coprophages	Excréments	Scarabées, larves de mouche
Fourrageurs	Litière	Fourmis
Géophages	Terre	Vers de terre
Humivores	Humus	Vers de terre
Nécrophages	Cadavres	Larves de diptère, nécrophores
Saprophages	Matières organiques mortes non-spécifiées	Nombreux groupes d'invertébrés
Saprophytophages = phytosaprophages	Feuilles mortes	Cloportes, diplopodes
Saprorhizophages	Racines mortes	Larves de coléoptère, vers de terre
Saproxylophages	Bois mort	Diplopodes, larves de diptère et de coléoptères

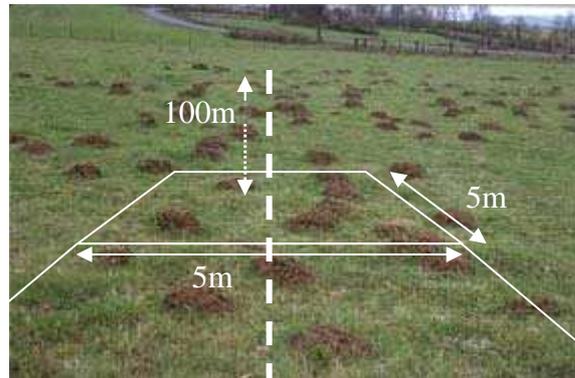
Les régimes alimentaires de la faune du sol sont plus ou moins stricts. Ils peuvent être mixtes (espèce polyphages) en fonction des ressources disponibles et des besoins, ou changer en fonction du stade de développement.

## Annexe 3 : Illustration de quelques pièges et techniques d'échantillonnage

- Piège Barber (macrofaune épigée)



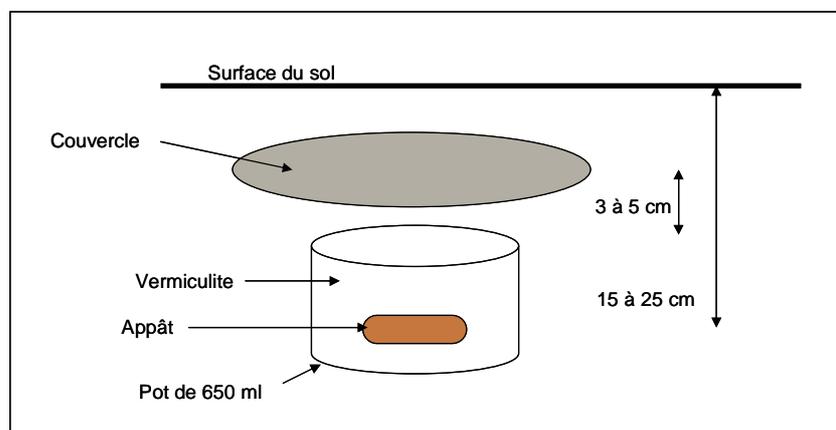
- Indice d'activité de surface (micromammifère souterrain)



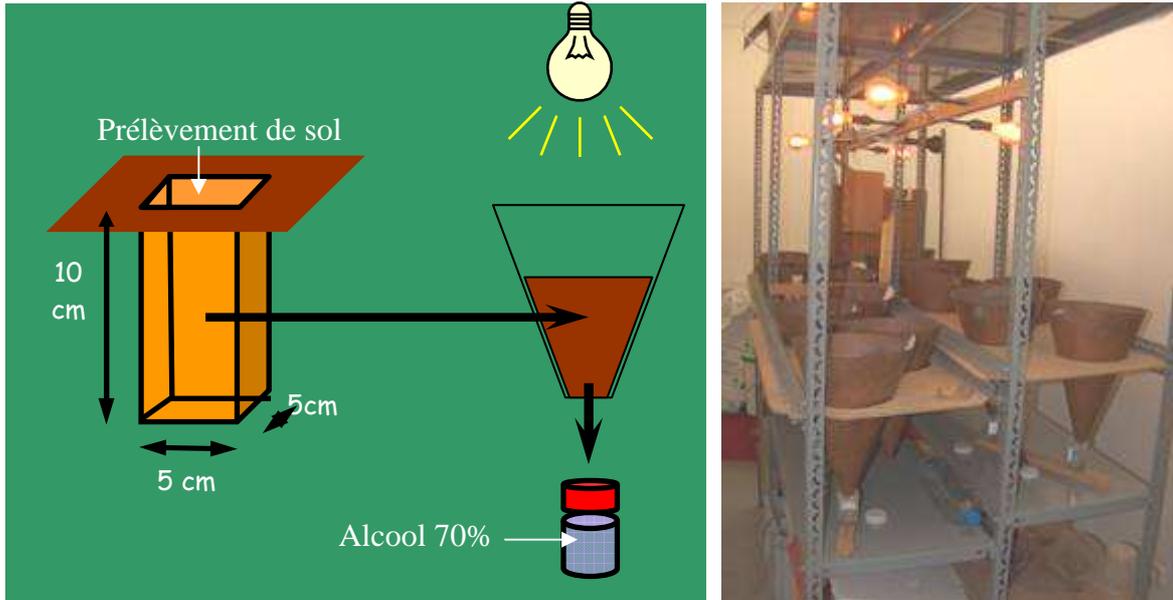
- Piège grillagé de type Firobin (micromammifères)



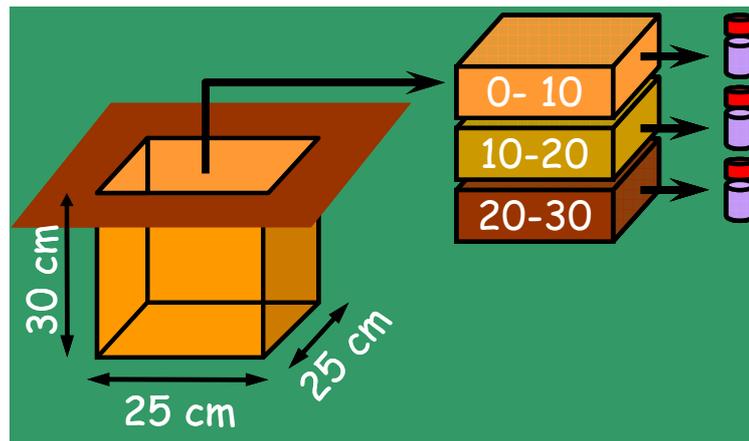
- Piège à taupin (adapté de KIRFMAN, 1986) in Chabert 1995



- **Prélèvement de sol et extraction Berlese-Tullgren de la mésofaune**



- **Prélèvement et extraction manuelle de la macrofaune souterraine (sans injection de répulsif)**



## Annexe 4 : Protocoles détaillés des méthodes d'analyse de la pédofaune en système agroforestier

Dans cette annexe sont présentés des protocoles détaillés pour l'analyse de la pédofaune en système agroforestier. Ils associent les outils d'échantillonnage pour répondre aux thèmes d'étude présentés dans la seconde partie du document principal. Il est bien évident que ce sont des propositions et que les techniques de piégeage peuvent être utilisées différemment. L'objectif est de disposer de plusieurs méthodes afin de laisser le choix aux expérimentateurs. Par thème sont ainsi proposées :

- des méthodes de précisions nécessitant souvent des investissements matériels, humains et financiers important.
- des méthodes plus globales permettant de répondre aux questions posées avec un investissement raisonnable (temps et matériel)

### Étude par approche globale

Le protocole proposé est plus complet que le dispositif mis en place sur le site de Vézénobres en 2007 afin d'améliorer la qualité de représentation du milieu.

Pour disposer d'une vue d'ensemble des communautés, les dispositifs présentés se basent sur deux paramètres principaux : la localisation (répartition verticale dans le sol et en surface) et la taille. Le tableau ci-dessous reprend les méthodes d'échantillonnage en fonction de la communauté considérée.

Tableau I : Méthode d'échantillonnage en fonction de la communauté et de la localisation dans ou sur le sol

	Milieu souterrain	Milieu aérien
Microfaune	Prélèvement d'échantillon puis traitement en laboratoire spécialisé	
Mésafaune	Prélèvement puis extraction Berlese-Tullgren	
Macrofaune	Méthode TSBF	Piège barber
Mégafaune	Indice d'activité de surface	Piège grillagé (type firobin)

- **Microfaune** : (voir p.23) Les analyses microbiologiques sont réalisées par des laboratoires spécialisés. Le prélèvement et la conservation des échantillons de sol nécessitent quelques précautions (voir p.31). Le protocole d'échantillonnage peut être variable (date, constitution des échantillons), dans tout les cas les analyses sont effectuées sur un échantillon de sol frais.
- **Mésafaune** : Constituer entre 5 et 10 échantillons en assemblant pour chacun 3 prélèvements de sol de 5x5x10cm (entre 200 et 300 cm<sup>3</sup>). Une quantité connue de ces échantillons (volume et poids) sera placé dans l'extracteur de Berlese tullgren (voir p.27) pour capturer la mésafaune.
- **Macrofaune souterraine** : réaliser 6 à 10 échantillons selon la méthode TSBF, prélèvements de blocs de 30cm de coté sur 15cm de profondeur après avoir injecté le liquide répulsif et laissé remonter les organismes (voir p.27).
- **Macrofaune épigée** : disposer 15 à 20 pièges Barber (voir p.27) par site étudié, les relever 24 à 48 heures plus tard.

Les points d'échantillonnage d'un système doivent se trouver hors de la zone d'influence du milieu adjacent. Il faut ainsi exclure les premières bandes cultivées du système agroforestier et les premières rangées du témoin forestier, et assez loin des bordures du témoin agricole (50 à 100 mètres)

La mésofaune intervient dans la régulation des populations bactériennes et fongiques par prédation et en mettant à disposition les matériaux organiques. Elle constitue également une nourriture pour les prédateurs supérieurs en constituant le lien entre la macrofaune et les micro-organismes. Une bonne activité de ces dernières peut témoigner ainsi d'une bonne activité de la mésofaune. Face à ce constat et à la lourdeur des étapes de son étude, il apparaît plus judicieux de se concentrer sur les communautés précédentes témoins.

Sa connaissance informe cependant sur de nombreux paramètres du milieu (climat, matière organique,...). Il apparaît donc utile de disposer d'une image de cette communauté. Il est possible d'effectuer l'échantillonnage et l'extraction des individus et de les conserver dans l'attente d'une étude qui lui serait consacrée.

## **Étude par approche fonctionnelle**

### Les ravageurs de culture

#### **Activité et émergence des populations**

Cette étude s'inscrit dans la durée, il est nécessaire de mettre en place les suivis avant l'entrée en activité des groupes considérés (dès la sortie de l'hiver).

L'activité de la faune est mise en évidence par l'ensemble des pièges à interception. Ceux-ci capturent les individus dans le cadre de leurs déplacements. Plusieurs techniques peuvent être utilisées : les pièges barber, les cages à émergence, les pièges grillagés, les substrats artificiels, la méthode Kirfman ou encore les indices d'activité de surface.

Deux méthodes semblent intéressantes :

- La cage à émergence intercepte les adultes volants de larves du sol. L'ajout d'un piège Barber, dans l'enceinte de la cage, permet de capturer en plus les adultes marcheurs nouvellement émergés. Ce dispositif laissé le temps de la culture et relevé chaque semaine permet de quantifier les émergences et de les localiser dans le temps. Entre 5 et 10 pièges par parcelle sont nécessaires pour un avoir un échantillonnage de qualité. L'identification des captures à l'ordre ne nécessite pas de connaissances précises. Les niveaux supérieurs nécessiteront rapidement l'intervention de spécialistes (notamment pour les Diptères).
- L'utilisation des limaces comme indicateurs. Leurs exigences climatiques étroites (température, humidité) les rendent dépendantes d'un refuge. La mise en place d'abris artificiels (voir p.24 – 2.3.3.2) peut permettre par simple observation de détecter l'entrée en activité de cette communauté.

Milieus à comparer : parcelle en culture pure et ses bordures, zone cultivée du système agroforestier et lignes d'arbre.

Communautés étudiées :

**Tableau II : Organismes piégés en fonction des méthodes de capture des ravageurs**

Méthode	Organismes capturés
Association cage à émergence/piège Barber	Essentiellement Diptères et Coléoptères
Substrats artificiels	Limaces (des escargots) et une grande diversité d'arthropodes (coléoptères, myriapodes,...) peuvent être attirées dans ces endroits notamment en période estivale (sécheresse)

## **Colonisation des milieux cultivés (culture annuelle)**

Cette étude consiste à comparer les populations dans les zones cultivées du système agroforestier avec celle d'une culture pure. L'objectif est d'observer la dispersion des organismes, l'optimal étant que l'intégralité de la zone cultivée soit utilisée par la faune (notamment pour les prédateurs). Cette comparaison peut être menée sur les différentes communautés recensées dans les agrosystèmes (ravageurs, prédateurs naturels, organismes ingénieurs, détritivores) et peut également faire l'objet d'un suivi dans le temps (sur la durée de la culture en place).

Malgré l'adaptation des organismes, les déplacements dans le sol sont relativement limités. La plupart des mouvements de population ont lieu à la surface ou dans les air. Il s'agit pour de nombreuses espèces, des adultes issus de larves souterraines qui ont émergé et se dispersent dans le milieu. Le piège Barber convient à ce type de suivi de populations.

Les communautés à comparer sont celles présentes le plus loin des lignes de plantations d'arbres dans le système agroforestier avec celles de système monoculture affranchies au maximum des effets bordures. Pour observer l'influence des bordures, des points intermédiaires peuvent être réalisés.

Entre 15 et 20 pièges par parcelle peuvent être disposés et relevés à deux reprises après 24 ou 48 heures de piégeage. Ce dispositif peut être renouvelé 15 jours ou 1 mois plus tard pour observer les évolutions.

## **Fonctionnement du sol**

### **Efficacité de la communauté d'invertébrés décomposeurs**

Pour approcher le fonctionnement des invertébrés décomposeurs, il est possible de se concentrer sur les communautés présentes ou sur l'efficacité de dégradation des matières organiques.

Les représentants des détritivores appartiennent à la macrofaune, à la mésofaune et à la microfaune. La capture des individus de la macrofaune (cloportes, diplopodes,...) est faite à l'aide de pièges Barber utilisés de manière classique (voir approche globale).

Pour les autres communautés, deux méthodes peuvent être utilisées. L'extraction de la mésofaune à l'aide de l'appareil de Berlese-Tullgren (voir Approche globale) ou l'utilisation de litter-bags (p.29). Ce dernier permet de collecter les décomposeurs et d'évaluer la colonisation de ces sacs. L'efficacité de la dégradation des matières organiques peut également être mesurées par la « perte au feu » (matière organique) des échantillons.

Ce sont des sacs de nylon de 10cm de côté avec une maille de 1.5mm. Ils sont disposés à 1 à 2cm de profondeur avec à l'intérieur 4g de fragment de paille (matière sèche) long de 1 à 1.5cm (passés à l'étuve 24 heures à 50°C). Pour l'évaluation de la mésofaune les litter-bags (utilisés comme piège) peuvent être relevés après 7, 15, et 30 jours d'exposition. Pour la dégradation des pailles les relevés s'étalent sur plusieurs mois (jusqu'à 5 mois).

Il faut prévoir 5 répétitions par site étudié. Une répétition se compose d'autant de sac qu'il y a de relevés prévus (pour un site et 3 dates relevées il faudra disposer  $5 * 3 = 15$  sacs).

Milieus à comparer : la problématique de dégradation des matières organiques intéresse tous les systèmes agricoles et se compare à la formation des litières forestières. Ces études concernent donc l'ensemble du système agroforestier (zone cultivée et ligne d'arbres) et les témoins agricoles et forestiers.

Il est possible d'adapter le contenu des litter-bags aux résidus de matière organiques présents Cette méthode peut ainsi être utilisée pour comparer la dégradation des feuilles de plusieurs essences...

### **Efficacité des organismes ingénieurs**

Pour les annélides, la méthode par prélèvement de sol reste la plus fiable pour avoir une image de leur population. Elle nécessite cependant des moyens humains importants.

L'injection d'une solution répulsive réduit l'effort d'échantillonnage, mais il reste des imprécisions dans le volume traité. Cette technique dépend également des conditions climatiques (instantanée et saisonnière). La méthode d'échantillonnage TSBF combine ces 2 méthodes et semble être un bon compromis entre les deux premières. Sa mise en œuvre est décrite dans la méthode globale d'étude.

**Étude des micro-organismes** voir Approche globale

## **Étude par approche spécifique**

### **Comparaison des populations de mollusques**

Il est difficile d'avoir une bonne représentation des populations de mollusque d'une parcelle du fait de l'hétérogénéité spatiale des populations mais également de leur étroite relation aux conditions climatiques.

L'étude des populations de limaces doit être liée à leurs périodes d'activité (printemps et automne) ou aux périodes sensibles de la culture en place.

**Tableau III : Avantages et inconvénients des différents piégeages de mollusques**

<b>Piège</b>	<b>Information</b>	<b>Avantages/Inconvénients</b>
Substrat artificiel (il est possible d'ajouter un molluscicide pour tuer/retenir les individus piégés)	Traduit la densité de limace actives, non l'abondance « réelle »	+ Facilité de mise en œuvre et de suivi - Sous-estime les populations (notamment souterraine), fortement dépendant des conditions climatiques
Application de formol dilué	« abondance »	+ prend en compte les individus en profondeur - Difficulté de mise en œuvre
Immersion progressive d'un échantillon de terre	Abondance	+ Donnée quantitative de qualité - Difficulté de mise en œuvre

L'utilisation de substrat artificiel permet de comparer les populations actives. Une dizaine de pièges de 0.25m<sup>2</sup> doit être disposés au sein des parcelles étudiées et laissés en place une semaine. L'efficacité de ce piège est limitée par la répartition des limaces, qui n'est pas homogène, et les conditions climatiques sur la durée de piégeage. La simplicité de mise en œuvre permet de reproduire le piégeage pour valider des premières mesures.

Si un molluscicide (micro-granulés) est utilisé le relevé doit être effectué le lendemain ou le surlendemain de l'application.

Les 2 autres méthodes (formol et immersion d'échantillon) bien que plus dures à mettre en œuvre donnent des résultats plus précis.

## Comparaison des populations de taupin

Parmi les Elateridae, seules quelques espèces occasionnent des dégâts dans les cultures et seront étudiées (*Agriotes linéatus*, *Agriotes sordidus*,...). Plusieurs méthodes peuvent être utilisées telles que le piège Barber (qui informera sur les populations adultes) et la méthode TSBF. Elles nécessitent cependant une mise en place importante et un gros travail d'identification des individus pour vérifier s'il s'agit bien d'une espèce de ravageurs.

Le piège à taupin (adapté de Kirfman, p.29) offre un bon compromis afin d'obtenir un diagnostic de qualité en limitant les manipulations. Une dizaine de pièges est placée dans la zone cultivée du système agroforestier et dans le témoin agricole. Ils sont laissés en place durant 15 jours. Après le relevé, il est nécessaire de trier les larves du genre *Agriotes* (ravageurs) des autres genres d'Elateridae (par examen du dernier segment abdominal). L'échantillonnage peut être répété, il faut néanmoins déplacer les pièges d'environ un mètre et remplacer l'appât.

## Comparaison des populations de micromammifères

### Mégafaune de surface

Pour les individus à la surface du sol, deux types de pièges peuvent être utilisés : le piège d'interception (voir piège Barber) principalement pour les insectivores et les pièges grillagés (voir p.23 - 2.3.3.1) pour les rongeurs comme les insectivores.

Il est nécessaire de marquer les individus piégés à l'acide picrique afin de repérer les individus déjà prélevés. Un marquage plus précis (par amputation de phalange) peut être utilisé, il permet d'identifier chaque individu (ex : descriptions précises de peuplement).

Deux dispositifs d'échantillonnage peuvent être utilisés. Le dispositif en ligne permet une mise en place rapide. Le dispositif en quadrat se base sur un maillage étroit de la parcelle étudiée. Les informations disponibles en fonction du dispositif sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau IV : Paramètres descriptifs du peuplement fournis en fonction du dispositif de piégeage**

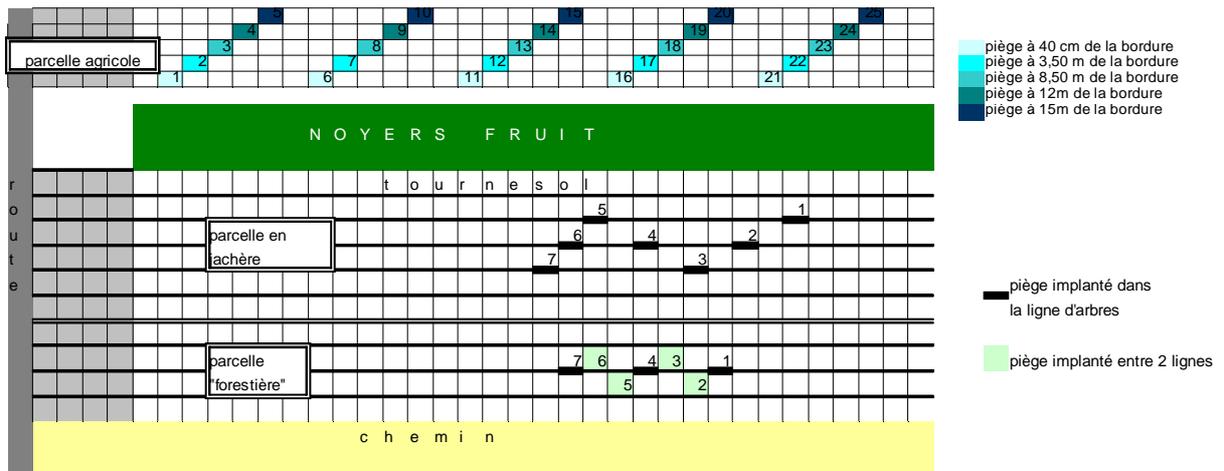
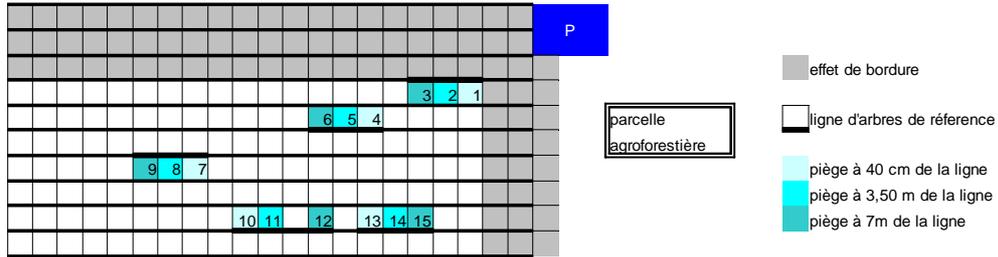
Paramètres descriptifs du peuplement	Dispositif en ligne	Dispositif en quadrat
Le nombre d'espèces présentes	X	X
L'abondance	Estimation traduisant l'effectif en activité	
La mobilité des individus		X
La dynamique et la structure		X
Les classes d'âge	X	X
Le sex-ratio	X	X
Le domaine vital		X
L'état sexuel des femelles (repos, gestante, en lactation)	X	X

### Mégafaune souterraine

L'indice des activités de surface est basée sur la méthode mise en place par Giraudoux (1995) afin d'évaluer les populations de campagnols et d'attribuer une note à partir des monticules de terre identifiés.

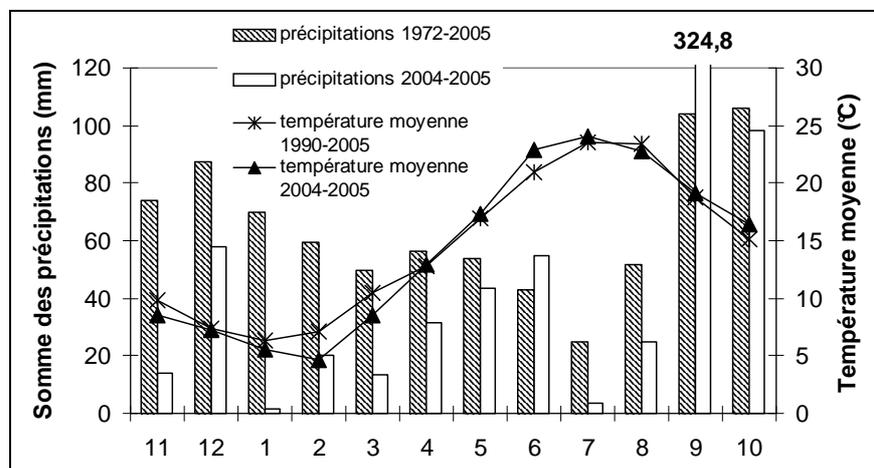
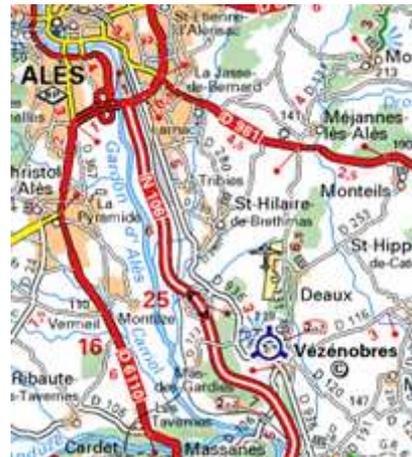
Le principe est de parcourir une ligne de 100m au sein des parcelles étudiées. L'observation se fait sur une largeur de 5m de part et d'autre de la ligne fixée. La présence ou l'absence de monticule frais est notée sur des tronçons de 5 m également.

# Annexe 5 : Plan d'échantillonnage des suivis 2007 chez M. Jollet



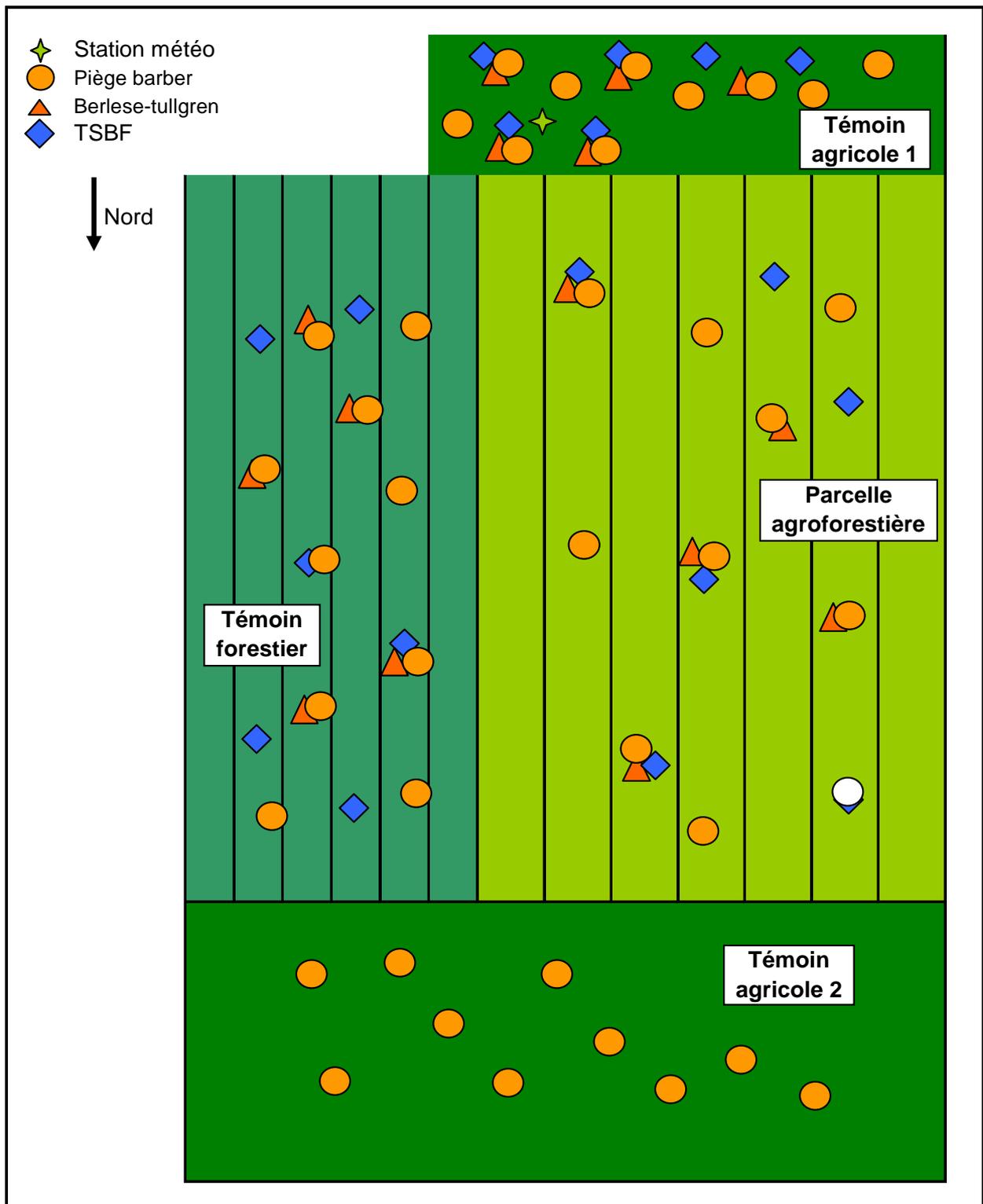
## Annexe 6 : Situation, contexte climatique et pédologique du site de Vézénobres

(source IGN)



horizon	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
<b><i>Analyses physiques</i></b>					
<b>Refus à 2 mm</b>	6,33	4,03	8,63	5,43	0,65
<b>Humidité à 105°C</b>	0,88	0,74	0,64	0,72	0,76
<b>Point de flétrissement PF 4.2</b>	4,61	4,27	3,88	3,52	3,93
<b>Humidité équivalente PF 3.0</b>	12,31	11,89	10,65	9,27	9,65
<b>Granulométrie standard</b>					
Argiles	9,33	9,00	8,45	7,63	8,10
Limons fins	20,20	20,23	17,78	17,53	20,23
Limons grossiers	23,30	24,25	20,33	18,48	26,45
Sables fins	35,80	35,83	34,03	30,20	40,20
Sables grossiers	11,38	10,70	19,45	26,15	5,08
total sables	47,18	46,53	53,48	56,35	45,28
<b><i>pH - Calcimétrie</i></b>					
<b>pH eau</b>	8,30	8,45	8,48	8,54	8,45
<b>Calcaire total</b>	1,74	1,88	2,41	2,34	2,52

**Annexe 7 : Plan d'échantillonnage des suivis 2007 à Vézénobres**



## Annexe 8 : Résultats des échantillonnages réalisés à Vézénobres (Gard)

### Résultats de l'échantillonnage de la mésofaune par extraction Berlese tullgren

Taxon		Nombre d'individus capturés
Insectes	Larves Coléoptères	16
	Collemboles	76
	hyménoptères	25
	Diploure	1
	Larves Diptère	3
Myriapodes	Chilopodes	2
	Diplopodes	1
	Symphyle	4
Arachnides	Acariens	595
Crustacés	Isopodes	1
Annelides	Enchytréides	21

### Résultats de l'échantillonnage de la macrofaune souterraine selon la méthode TSBF

Taxon		Nombre d'individus capturés	
Insectes	Hyménoptères	157	
	Coleoptères	larve	103
		imago	59
	Dermaptères	larve	101
		imago	8
	larve de Diptère	17	
	Diploure	14	
Myriapodes	Chilopodes	42	
	Diplopodes	46	
	Symphyle	1	
Arachnides	Araneides	20	
Crustacés	Isopodes	22	
Annelides	Enchytreides	63	
	Lumbricides	191	
Mollusques	Limaces	11	
	Gastéropodes	127	

### Résultats de l'échantillonnage de la macrofaune épigée par les pièges Barber

Taxon		Nombre d'individus capturés
Insectes	Coleoptères	1906
	Hyménoptères	497
	Dermaptères	40
	Hemiptères	13
	Orthoptères	47
	Thysanoures	11
Myriapodes	Chilopodes	7
	Diplopodes	65
Crustacés	Isopodes	28461
Arachnides	Opilions	109
	Araignées	402

## Annexe 9 : Liste des experts – ressources pour identification d'échantillons de pédofaune

### Organismes publics de recherche

Organisme	Lieu	Mots-clés	Responsable	Contact
UR EMGR Ecosystème montagnard, Pôle arbre - CEMAGREF	Grenoble	Faune du sol, humus, écosystème forestier montagnard	J. J. Brun <a href="mailto:jean-jacques.brun@cemagref.fr">jean-jacques.brun@cemagref.fr</a>	Groupement de Grenoble, 2 rue de la Papeterie BP 76 38402 ST-MARTIN-D'HERES cedex Tel : 04 76 76 27 27 Site : <a href="http://www.grenoble.cemagref.fr">http://www.grenoble.cemagref.fr</a>
UR EFNO Ecosystèmes forestiers et paysages - CEMAGREF	Nogent-sur-Vernisson –	Biodiversité, écologie forestière, insectes oiseaux, méthode d'inventaire, bioindication	Michel Denis <a href="mailto:Michel.denis@cemagref.fr">Michel.denis@cemagref.fr</a>	Domaine des Barres 45290 Nogent-sur-Vernisson Tél : 02 38 95 03 30
UMR 5175 CEFE Centre d'Ecologie fonctionnelle et Evolutive – CNRS, EPHE, Montpellier SupAgro, UM1, UM2, UM3	Montpellier	Biologie des populations, fonctionnement des écosystèmes, biodiversité, acariens	Jean Dominique Lebreton <a href="mailto:jean-dominique.lebreton@cefe.cnrs.fr">jean-dominique.lebreton@cefe.cnrs.fr</a>	1919 Route de Mende 34199 Montpellier Cedex Tél : 04 67 41 21 38 Site : <a href="http://www.cefe.cnrs.fr/">http://www.cefe.cnrs.fr/</a>
UMR 1202 BIOGECO Biodiversité, gène, communauté. Equipes (i) Entomologie et (ii) Ecologie des communautés – EFPA, INRA, Université Bordeaux 1	Pierroton Bordeaux	Insectes, communauté, espèce, interactions, évolution	(i) Hervé Jactel <a href="mailto:jactel@pierroton.inra.fr">jactel@pierroton.inra.fr</a>  (ii) Richard Michalet <a href="mailto:r.michalet@ecologie.u-bordeaux1.fr">r.michalet@ecologie.u-bordeaux1.fr</a>	69 route d'arcachon 33612 Cestas Cedex Tél : 05 57 12 28 59 Site : <a href="http://www.pierroton.inra.fr/biogeco">www.pierroton.inra.fr/biogeco</a>
Université de Rouen EA 1293 ECODIV Etude et Compréhension de la Biodiversité	Rouen	Biodiversité, Ecologie du sol, faune du sol, recyclage, micro-organismes	Fabrice Bureau <a href="mailto:Fabrice:Bureau@univ-rouen.fr">Fabrice:Bureau@univ-rouen.fr</a>	10, Boulevard MAURICE DE BROGLIE 76821 MONT SAINT AIGNAN Tél : 02 35 14 69 03
UMR 137 BIOSOL Biodiversité et fonctionnement du Sol – IRD, Univ. Paris 12 Val de Marne, Univ. Paris 7 D. Diderot, Univ. Pierre et Marie Curie	Bondy	Indicateurs biologiques, faune du sol, qualité du sol	Patrick Lavelle Michel Grimaldi	Contact : <a href="mailto:Louise.Givord@bondy.ird.fr">Louise.Givord@bondy.ird.fr</a>  Site : <a href="http://www.bondy.ird.fr/biosol">http://www.bondy.ird.fr/biosol</a>
UMR 7146 LIEBE Laboratoire des Interactions Ecotoxicologie, Biodiversité, Ecosystèmes - Université Paul Verlaine, CNRS	Metz	Modification anthropique, réponse des communautés, biodiversité, macrofaune des sols, matière organique	F. Guérolde <a href="mailto:guerold@univ-metz.fr">guerold@univ-metz.fr</a> J. Nahmani <a href="mailto:nahmani@univ-metz.fr">nahmani@univ-metz.fr</a>	Campus Bridoux - Rue du Général Delestraint - 57070 METZ Tél : 03 87 37 84 16 Site : <a href="http://www.liebe.univ-metz.fr">http://www.liebe.univ-metz.fr</a>

UMR 5557 Ecologie microbienne, CNRS, IRD, INRA	Lyon	Sciences du sol Agronomie, Bactéries, Champignons, Dynamique des populations, Ecologie fonctionnelle	Rene Bally <a href="mailto:bally@univ-lyon1.fr">bally@univ-lyon1.fr</a>	Université Claude Bernard - Lyon 1 UMR 5557 - Bâtiment Gregor Mendel 43 Boulevard du 11 Novembre 1918 69622 VILLEURBANNE CEDEX Tél : 04 78 43 13 77  Site : <a href="http://ecomicro.univ-lyon1.fr">http://ecomicro.univ-lyon1.fr</a>
UMR 5558 BBE Biometrie et Biologie Evolutive, Université Claude Bernard Lyon 1 - Sciences agronomiques et Ecologiques	Lyon	Insectes, dynamique des populations, comportement, Ecologie évolutive	Dominique Mouchiroud <a href="mailto:mouchi@biomserv.univ-lyon1.fr">mouchi@biomserv.univ-lyon1.fr</a>	Université Claude Bernard - Lyon 1 UMR 5558 BBE - Bâtiment Gregor Mendel 43 Boulevard du 11 Novembre 1918 69622 VILLEURBANNE CEDEX Tél : 04 72 43 26 28  Site : <a href="http://lbbe.univ-lyon1.fr/">http://lbbe.univ-lyon1.fr/</a>
UMR 1062 CBGP Centre de biologie et de Gestion des populations – CIRAD, IRD, INRA, Supagro	Montpellier	Insectes, acariens, nématodes, micromammifères, Agronomie, biodiversité	Denis BOURGUET 04 99 62 33 66 - <a href="mailto:bourguet@supagro.inra.fr">bourguet@supagro.inra.fr</a>	Centre international de Baillarguet, CS 30016, 34988 Montferrier sur Lez Cedex Tél : 04 99 62 33 11
UR 179 SeqBio Séquestration du carbone et bio-fonctionnement des sols - IRD	Montpellier	Décomposition de la matière organique, communauté microbienne, minéralisation,	Jean Luc Chotte <a href="mailto:Jean-Luc.Chotte@mpl.ird.fr">Jean-Luc.Chotte@mpl.ird.fr</a>	2 place Viala, Bâtiment 12 34060 Montpellier cedex 2 Tél : 04 99 61 21 17
UMR 7137 LIMOS Laboratoire d'étude des interactions micro-organismes/ minéraux/ matière organiques dans les sols – CNRS, Université Nancy 1	Nancy	Microbiologie, biodiversité, sciences du sol	<a href="mailto:corinne.leyval@limos.uhp-nancy.fr">corinne.leyval@limos.uhp-nancy.fr</a>	Faculté des sciences et techniques BP 239, 54506 Vandoeuvre les Nancy Tél : 03 83 68 42 83
UMR 7618 BIOEMCO Biogéochimie et écologie des milieux continentaux Equipes (i) Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes, (ii) Matière organique des sols : dynamique et fonctionnement - <a href="#">UPMC</a> , <a href="#">CNRS</a> , <a href="#">INRA</a> , <a href="#">ENS</a> , <a href="#">ENSCP</a> , <a href="#">Agro Paris Tech</a>	Paris	Fonctionnement des écosystèmes, biodiversité, matière organique	(i) Isabelle Dajoz <a href="mailto:Isabell.dajoz@ens.fr">Isabell.dajoz@ens.fr</a>  (ii) Claire Chenu <a href="mailto:chenu@grignon.inra.fr">chenu@grignon.inra.fr</a>	(i) Ecole normale supérieure 46 rue d'Ulm 75230 Paris Cedex 05 Tél : 01 44 32 36 96  (ii) Centre INRA versailles-Grignon Bâtiment Eger, 1er étage 78850 Thivernal-Grignon Tél : 01 30 81 55 88  Site : <a href="http://www.biologie.ens.fr/bioemco">www.biologie.ens.fr/bioemco</a>
UMR 722 Ecologie et évolution des micro-organismes - Université Paris 7, D. Diderot	Paris 7		Denamur Erick <a href="mailto:denamur@bichat.inserm.fr">denamur@bichat.inserm.fr</a>	Site : <a href="http://www.bichat.inserm.fr/equipes/equip.es.htm">http://www.bichat.inserm.fr/equipes/equip.es.htm</a>

IFR 101 Ecologie, Biodiversité, Evolution, Environnement – Université Pierre et Marie Curie	Paris	Dynamique des populations, fonctionnement des écosystèmes, interactions	Robert Barbault	UMPC IFR 101/CNRS Bat A, 7 <sup>e</sup> étage, porte 715, case 237 75252 Paris cedex 05 Tél : 01 44 27 56 71  Site : <a href="http://www.upmc.fr">http://www.upmc.fr</a>
UMR 6035 IRBI, Institut de Recherche sur la Biologie de l’Insecte – CNRS, Univ. François Rabelais Tours	Tours	Entomologie, physiologie, écologie, biodiversité, génomique	Jérôme Casas <a href="mailto:casas@univ-tours.fr">casas@univ-tours.fr</a>	Parc de Grandmont 37200 Tours Tél : 02 47 36 69 11  Site : <a href="http://irbi.univ-tours.fr">http://irbi.univ-tours.fr</a>
UMR 6556 Laboratoire Ecologie, évolution symbiose. Equipe Fonctionnement biologique des communautés CNRS –Université de Poitiers	Poitiers	Isopodes terrestres, qualité des milieux, pratiques culturelles, prairies	Catherine Souty-Grosset <a href="mailto:Catherine.souty@univ-poitiers.fr">Catherine.souty@univ-poitiers.fr</a>	40 avenue du Recteur Pineau F-86022 POITIERS Cedex
EA 3193 Ecobiologie des insectes parasitoïdes	Rennes	Relation hôtes-parasitoïdes, insectes, écologie comportementale	Anne Marie Cortesero <a href="mailto:anne-marie.cortesero@univ-rennes1.fr">anne-marie.cortesero@univ-rennes1.fr</a>	Av. du général Leclerc, campus Beaulieu 35042 Rennes cedex Tél : 02 23 23 61 60  Site : <a href="http://www.parasitoïdes.univ-rennes1.fr/">http://www.parasitoïdes.univ-rennes1.fr/</a>
ERT 52 Biodiversité fonctionnelle et gestion des territoires – université Rennes 1	Rennes	Biodiversité, écologie	CANARD Alain	Campus de Beaulieu 263 Avenue du général leclerc CS 74205 35042 RENNES CEDEX
UMR 5174 EDB Laboratoire Evolution et Diversité Biologique CNRS Univ. Paul Sabatier Toulouse 3, ENFA	Toulouse	Biodiversité, evolution, structure des communautés, interactions	Brigitte Crouau-Roy <a href="mailto:bcrouau@cict.fr">bcrouau@cict.fr</a>	Bâtiment 4R3 Université Paul Sabatier 118, route de Narbonne 31062 Toulouse cedex 4
UMR 1201 DYNAFOR Dynamique forestière dans l’espace rural, Equipe BIOFRAG – INRA, INPT ENSAT	Toulouse	Biodiversité, fonctionnement des écosystèmes forestiers, habitats, facteurs environnementaux et anthropiques	Gérard Balent <a href="mailto:balent@toulouse.inra.fr">balent@toulouse.inra.fr</a>	Centre INRA de Toulouse BP 31326 Castanet Tolosan Cedex Tél : 05 61 28 53 82  Site : <a href="http://www.inra.fr/toulouse_dynafor">http://www.inra.fr/toulouse_dynafor</a>
UMR 5245 ECOLAB Laboratoire d’écologie fonctionnelle – CNRS, Univ. Paul Sabatier Toulouse 3, INP Toulouse	Toulouse	Fonctionnement des communautés et des écosystèmes, rôle de la biodiversité	Eric Chauvet <a href="mailto:eric.chauvet@cict.fr">eric.chauvet@cict.fr</a>	CNRS 29, rue J. Marvig 23349 31055 TOULOUSE CEDEX 4 Tél : 05 62 26 99 66  Site : <a href="http://www.ecolab.ups-tlse.fr">www.ecolab.ups-tlse.fr</a>
ONF cellule d’étude entomologique			Thierry Noblecourt <a href="mailto:Thierry.noblecourt@onf.fr">Thierry.noblecourt@onf.fr</a>	

EA 3184 Laboratoire de biologie environnementale – Université de Franche-Comté, INRA	Besançon, Montbéliard	Fonctionnement des communautés, écosystèmes prairie et forêt Micro-mammifères	Patrick GIRAUDOUX <a href="mailto:patrick.giraudoux@univ-fcomte.fr">patrick.giraudoux@univ-fcomte.fr</a>	Place Leclerc F - 25030 BESANCON Cedex Tél : 03.81.66.57.66 <a href="mailto:lbe@univ-fcomte.fr">lbe@univ-fcomte.fr</a>
UMR 6553 ECOBIO Ecosystème, Biodiversité, Evolution, Dpt Ecologie fonctionnelle, Interactions biologiques et transfert de matière - CNRS, Université de Rennes 1	Rennes	Fonctionnement des écosystèmes contraintes physiques, caractéristiques géochimiques du milieu, Lombricidés, micro-organismes	Françoise Binet <a href="mailto:Francoise.Binet@univ-rennes1.fr">Francoise.Binet@univ-rennes1.fr</a> 02.23.23.66.65	Bat 14, Av. du général Leclerc, campus Beaulieu 35042 Rennes cedex  Site : <a href="http://ecobio.univ-rennes1.fr/">http://ecobio.univ-rennes1.fr/</a>
EA 3900 Laboratoire de Biologie des Plantes et Contrôle des Insectes ravageurs - Université de Picardie Jules Vernes	Amiens	Aphides, hyménoptères, parasitoïdes, insectes ravageurs	Brigitte SANGWAN <a href="mailto:brigitte.sangwan@u-picardie.f">brigitte.sangwan@u-picardie.f</a>	Faculté des Sciences 33, rue St Leu - 80039 AMIENS cedex 1 Tél : 03 22 82 76 49
UPR EAZA Ecologie Animale et Zoologie Agricole - DGAL LNPV Entomologie, SupAgro, Inra, IRD	Montpellier	Acariens, insectes, ravageurs des cultures, auxiliaire gestion des peuplements	Jean-Yves RASPLUS 04 99 62 33 75 - <a href="mailto:rasplus@ensam.inra.fr">rasplus@ensam.inra.fr</a>	2 Place Pierre Viala - 34 060 Montpellier cedex 1 Tél : 04 99 62 33 74
UMR 1222 Biogéochimie du sol et de la rhizosphère – INRA, Montpellier SupAgro,	Montpellier	Rhizosphère, biodisponibilité des minéraux, agroécosystème, écosystème forestier, rôle des micro-organismes	Benoît JAILLARD 04 99 61 23 82 <a href="mailto:benoit.jaillard@ensam.inra.fr">benoit.jaillard@ensam.inra.fr</a>	Campus de la Gaillarde 2 place Vialat 34060 Montpellier Cedex 1 Tél : 04 99 61 22 00  Site : <a href="http://www.montpellier.inra.fr/RetS/">http://www.montpellier.inra.fr/RetS/</a>
UMR 7625 Laboratoire du fonctionnement et évolution des systèmes écologiques – CNRS, Université Pierre et Marie Curie Paris 7	Paris	Fonctionnement du sol, dynamique des populations, bactéries, arthropodes, vertébrés	Jacominus VAN BAALEN <a href="mailto:mvbaalen@snv.jussieu.fr">mvbaalen@snv.jussieu.fr</a>	Bâtiment A 7ème 4 Place JUSSIEU 75252 PARIS CEDEX 05 Tél : 01 44 27 36 89, <a href="mailto:paradisi@biologie.ens.fr">paradisi@biologie.ens.fr</a>
UMR 5176 Fonctionnement, Evolution et Mécanismes Régulateurs des Ecosystèmes Forestiers, Equipe Dynamique forestière et biodiversité : réponse aux perturbations naturelles et anthropiques – CNRS, MNHN	Brunoy (91)à	Biodiversité, facteurs écologiques, écosystème forestier	Directrice UMR : Martine PERRET <a href="mailto:martine.perret@wanadoo.fr">martine.perret@wanadoo.fr</a>  Responsable équipe de recherche : Pierre-Michel FORGET <a href="mailto:pmf@mnhn.fr">pmf@mnhn.fr</a>	UMR 5176 – CNRS / MNHN Laboratoire d'Ecologie Générale 1 et 4, Avenue du Petit Château 91800 BRUNOY Tél : 01 60 47 92 27  Site : <a href="http://www.mabiodiv.cnrs.fr">http://www.mabiodiv.cnrs.fr</a>
UMR MSE Microbiologie des sols et de l'environnement - INRA Dijon, Université de Bourgogne	Dijon	Biodiversité, fonctionnement du sol	Jacques Caneill	Inra Dijon, 17 rue Sully BP 86510, 21065 Dijon cedex Tél : 03 80 69 30 00  Site : <a href="http://www.dijon.inra.fr">http://www.dijon.inra.fr</a>

## Laboratoires privés, associations

Organisme	Lieu	Mots-Clés	Responsable	Contact
Celesta	Mauguio (34)	Analyse de sol, physico-chimie, activité biologique, biomasse, matière organique	Xavier Salducci	154 rue Georges Guynemer, ZA Mas des Cavaliers 34130 Mauguio Tél : 04 67 20 10 90 <a href="mailto:contact@celesta.fr">contact@celesta.fr</a> Site : <a href="http://www.celesta.fr">http://www.celesta.fr</a>
LAMS laboratoire d'analyse en microbiologie des sols	Marey sur tille (21)	Analyse de sol, biodiversité, agronomie, écologie des sols	Claude et Lydia Bourguignon	Route de Charmont 21120 Marey-sur-Tille Tél : 03 80 75 61 50 <a href="mailto:contact@lams.com">contact@lams.com</a> Site : <a href="http://www.lams-21.com">http://www.lams-21.com</a>
Entomotec	Berd'hui (61)	Conseil, détermination d'insectes (Carabe, lépidoptère, Odonate), mise en place de protocole	Xavier Pineau <a href="mailto:xavier@entomotec.com">xavier@entomotec.com</a>	ENTOMOTEC 6, rue du Verger 61 340 BERD'HUIS <a href="mailto:contact@entomotec.com">contact@entomotec.com</a> Site : <a href="http://www.entomotec.com">http://www.entomotec.com</a>
CRITT INNOPHYT	Tours	Protection biologique et intégrée des cultures, biodiversité fonctionnelle, ravageurs des cultures, maladie des sols	<a href="mailto:Ingrid.ARNAULT@univ-tours.fr">Ingrid ARNAULT</a> 02 47 36 69 75 <a href="mailto:innophyt@univ-tours.fr">innophyt@univ-tours.fr</a>	Site : <a href="http://www.critt-innophyt.asso.fr">http://www.critt-innophyt.asso.fr</a>
ACTA	Lyon	Ravageurs des cultures, faune du sol, protocole d'échantillonnage, pratiques culturales	André Chabert <a href="mailto:Andre.Chabert@acta.asso.fr">Andre.Chabert@acta.asso.fr</a>	ICB Ecole nationale vétérinaire de Lyon, 1 Avenue Bourgelat 69280 Marcy l'Etoile Tél : 04 78 87 56 23 Site : <a href="http://www.acta.asso.fr">http://www.acta.asso.fr</a>
UEF Union de l'entomologie Française	Dijon	Fédération de 66 associations entomologique et naturaliste, inventaire, conseil		64, rue Vannerie - 21000 Dijon Tél : 03 80 67 52 89 Site : <a href="http://insecte.uef.free.fr">http://insecte.uef.free.fr</a>
SEF Société entomologique de France	Paris	Entomologie, systématique		45, rue Buffon 75005 PARIS Tél : 01 47 07 10 10 secretaire-general@lasef.org Site : <a href="http://www.lasef.org">www.lasef.org</a>
OPIE Insectes Office pour les Insectes et leur Environnement	Siège : Guyancourt + Antennes régionales (voir site)	Entomologie, identification, expertise terrain, inventaire		Domaine de l'INRA La Minière - BP30 78041 GUYANCOURT cedex Tél : 01 30 44 13 43 <a href="mailto:opie@insectes.org">opie@insectes.org</a> Site : <a href="http://www.insectes.org/opie/insecte.php">http://www.insectes.org/opie/insecte.php</a>