

Biodiversité Mésafaune



Evaluation de la
biodiversité de la
mésafaune du sol du
parc des Creusets
(St-Chamas)

Annabelle Austruy
Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions
Centre de Vie La Fossette, RD 268
13270 Fos-sur-Mer
annabelle.austruy@institut-ecocitoyen.fr

Le présent rapport est publié sous licence CC-BY-ND

Les données, les interprétations et les images présentes dans ce rapport sont la propriété de l'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, libres d'accès et d'utilisation à condition de citer les références du rapport et d'indiquer la source des données, photos, et graphiques ("Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions").

Il ne sera pas apporté de modifications à la version originale du rapport à des fins de diffusion. L'Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions ne pourra être tenu responsable de toute interprétation réalisée par un tiers et qui n'est pas explicitement détaillée dans ce rapport.

Pour citer ce rapport :

Annabelle Austruy. Evaluation de la biodiversité de la mésofaune des sols dans le Parc des Creusets (St-Chamas). Institut Écocitoyen pour la Connaissance des Pollutions, 2023.

Table des matières

I. Introduction.....	5
II. Méthodologie.....	6
II.1. Présentation des sites d'étude.....	6
II.2. Extraction et identification de la mésofaune des sols.....	8
II.3. Caractérisation des paramètres physico-chimiques des sols	9
II.4. Mesure de la respiration des sols	9
II.5. Traitements statistiques	10
III. Résultats.....	11
III.1. Paramètres physico-chimiques des sols.....	11
III.2. Respiration des sols.....	11
III.3. Mésofaune des sols.....	12
III.3.1. Abondance et répartition des différents groupes de mésofaune des sols.....	12
III.3.2. Abondance et diversité des collemboles.....	14
III.4. Impact des paramètres environnementaux sur la biodiversité de la mésofaune.....	15
IV. Conclusions.....	18
V. Références bibliographiques.....	20

Liste des Figures

Figure 1 : Localisation des placettes d'étude sur le Parc des Creusets.....	7
Figure 2 : Schéma de prélèvements des échantillons de sol dans chaque sous-placette.....	7
Figure 3 : Photos de la phase d'extraction de la mésofaune des différents échantillons de sol prélevés dans les trois parcelles du Parc des Creusets.....	8
Figure 4 : Photos de (A) collemboles (<i>Lepidocertus</i> sp.), (B) acarien oribate (<i>Phthiracarus</i> sp.) et (C) acarien gamase (<i>Pergamasus</i> sp.) réalisées à partir des individus extraits des échantillons de sol du Parc des Creusets.....	8
Figure 5 : LI-COR 6400-09, chambre de mesure et collier PVC installé en amont de la mesure.....	9
Figure 6 : Valeurs moyennes et écarts-types de la respiration des sols enregistrées sur chaque parcelle d'étude (n=8). L'évolution des températures de sol de surface relevées lors des mesures est représentée par la courbe rouge.....	12
Figure 7 : Valeurs moyennes et écarts-types de la densité de la mésofaune totale relevée sur les différentes placette d'étude (n=8).....	13
Figure 8 : Répartition des différents groupes (collemboles, acariens prédateurs et oribates) en pourcentage relevée dans les différentes parcelles (n=8).....	13
Figure 9 : Régression linéaire entre (A) la densité de détritivores et celle de prédateurs mesurées sur les différentes placettes, (B) la respiration du sol et la densité totale de mésofaune des sols et (C) la respiration du sol et les proportions de prédateurs et détritivores (n = 24, p < 0,01).....	17
Figure 10 : Analyse en composantes principales (ACP) à partir de la densité des différents groupes de mésofaune identifiés (collemboles, acariens oribates et gamases et autres), de la respiration du sol ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) et des paramètres physico-chimiques des sols (granulométrie, matière organique (MO), azote total (N _{tot}) et humidité relative des sols (HR sol)) avec la représentation des différents prélèvements regroupés par parcelle (n = 8).....	18

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques mesurés dans les sols des différentes parcelles.....	11
Tableau 2 : Diversité des collemboles et abondances des différentes espèces de collemboles identifiées dans les parcelles P1, P2 et P3 (n = 8).....	14

I. Introduction

La commune de Saint-Chamas a défini sur la période 2020-2024 un programme d'actions centré sur la revégétalisation de plusieurs placettes du Parc des Creusets ainsi que l'espace urbain et les zones en friches. Pour compléter ces actions, l'Institut Ecocitoyen a proposé la réalisation d'une étude de biodiversité de la mésofaune des sols associant des mesures de l'activité biologique et des paramètres physico-chimiques.

Selon Deprince (2003), la faune du sol représente plus de 80 % de la biodiversité animale. A l'exception des Spongiaires, des Coelentérés et des Echinodermes, tous les grands embranchements sont représentés dans la faune du sol (Protozoaires, Plathelminthes, Nématodes, Rotifères et Tardigrades, Annélides, Mollusque, Arthropodes, et Cordés). La pédofaune comprend ainsi de très nombreuses espèces. Elles vivent en surface, dans les annexes du sol et abondent dans l'épisolium humifère, en particulier dans les zones d'enracinement préférentielles (Gobat, 2003). La pédofaune est un acteur essentiel dans la dynamique du sol. Elle intervient dans les transferts de matières et d'énergie du sol, à travers son rôle dans la transformation de la matière organique. Le brassage, le creusement de galeries ou la fragmentation sont aussi des processus dépendant de la pédofaune. De manière générale, la faune du sol est classée en quatre catégories selon la taille et le rôle des organismes :

- la microfaune de taille inférieure à 0,2 mm (protozoaires, nématodes),
- la mésofaune de taille comprise entre 0,2 et 2 mm (acariens, collemboles, larves, ...),
- la macrofaune de taille comprise entre 2 et 20 mm (gastéropodes, diplopodes, aranéides, ...),
- la mégafaune de taille supérieure à 20 mm (lumbricidés, vertébrés).

Ce travail porte sur la mésofaune des sols et plus particulièrement sur les collemboles et les acariens. Parmi les microarthropodes peuplant le milieu édaphique, ces deux groupes sont amplement dominants, tant par leur diversité que par la richesse de leurs populations. Comme l'ensemble de la pédofaune, les microarthropodes contribuent de manière significative à la dynamique de la matière organique du sol, notamment en améliorant la fragmentation de la litière et la dégradation de la matière organique (Gobat et al., 2010 ; Sechi et al., 2014 ; Potapov et al., 2022). En effet, ils participent directement aux processus de décomposition de 5 à 10 % de la matière organique fraîche (Sechi et al., 2014). A noter qu'une part importante du carbone consommé par les microarthropodes provient de la rhizosphère (Hishi et Takeda, 2008). Par ailleurs, certains microarthropodes, comme les mycophages, peuvent jouer un rôle important sur les dynamiques des populations fongiques dans les sols par un broutage modéré optimisant la croissance des champignons (Neher et al., 2012 ; Hedenec et al., 2013). Se nourrissant directement de matériaux en décomposition et de champignons du sol, les microarthropodes fournissent une indication précoce de la santé de l'écosystème et jouent donc un rôle important dans l'écologie fonctionnelle (Coleman et al., 2004 ; Van Eekeren et al., 2009) et les services écosystémiques associés (Lavelle et al., 2006 ; Wall et al., 2013). Dans la littérature (Syreck et al., 2006 ; Pfeffer et al., 2010 ; Austruy et al., 2016 et 2022), les collemboles, les acariens gamases, actinédides et oribates sont souvent cités parmi les ordres les plus sensibles aux

perturbations du sol. Les collemboles sont des organismes hexapodes détritvres, 7 200 espèces sont répertoriées dans le monde dont environ 2 200 en Europe. Les acariens sont des arachnides les mieux représentés dans les sols avec plus de 45 000 espèces identifiées dans le monde. Il s'agit d'un groupe très diversifié comprenant des fongivores, détritvres, prédateurs ou encore phytophages.

Au sein du Parc des Creusets, ce travail vise à évaluer la diversité et l'abondance de la mésofaune des sols et plus spécifiquement des groupes d'acariens (détritivres et prédateurs) et collemboles en lien avec l'occupation des sols et les projets de revégétalisation portés par la commune. Il sera mené, d'une part, dans une parcelle naturelle et non remaniée et, d'autre part, sur deux anciennes parcelles agricoles dont l'une a accueilli un projet de revégétalisation avec différentes essences d'arbres. Cet inventaire sera associé à des mesures de respiration des sols et des paramètres physico-chimiques indicateurs de l'activité biologique et de l'état agronomique. Au delà de l'acquisition de connaissance sur la biodiversité et le fonctionnement de ces sols, cette étude représentera un T0 dans le processus de revégétalisation de ces anciennes parcelles agricoles, dans l'optique d'un suivi de l'évolution de l'abondance et de la diversité de la mésofaune des sols.

II. Méthodologie

II.1. Présentation des sites d'étude

Situé sur la commune de Saint-Chamas, le Parc des Creusets couvre une zone de 200 ha, référencée Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF). Au sein du Parc, deux placettes d'étude ont été identifiées pour accueillir les projets de revégétalisation (P1 et P2, Figure 1).

La placette nommée « La Truffière » (P1 - GPS : 43,539230° - 5,054981°) a été mise en culture le 25/11/2020 avec des espèces arborées, un mélange de chênes blancs et verts, d'arbousiers, d'amandiers et de micocouliers. Cette placette a subi un travail du sol avant sa mise en culture et fait l'objet d'un arrosage hebdomadaire. La deuxième placette (P2 - GPS : 43,538476° - 5,054820°) sera prochainement revégétalisée à l'aide d'espèces arborées fruitières, elle est actuellement laissée en jachère avec une dominance de luzerne (*Medicago sativa*). Ces deux placettes font l'objet de l'étude de biodiversité de la mésofaune des sols. Une troisième placette naturelle complète ce dispositif, sélectionnée dans le même secteur que les deux précédentes et présentant une végétation de type garrigue (chêne vert et kermès, cistes, brachypode rameux, ...) (Figure 1).

Sur chacune des zones d'étude, une sous-placette de 20 m de côté a été matérialisée. Huit échantillons de sols ont été réalisés à l'aide d'un carottier d'un volume d'environ 300 cm³, d'un diamètre de 6,5 cm et d'une profondeur de 15 cm selon le schéma de prélèvements décrit dans la Figure 2.

Sur le sol P1, les prélèvements ont été effectués dans les inter-rangs non revégétalisés à quelques centimètres de la surface (1-2 cm) pour éviter les premiers centimètres de sol, trop sensibles aux variations climatiques quotidiennes. L'ensemble de ces prélèvements ont été réalisés sur une matinée, le 8 juin 2021.

Lors de l'échantillonnage du sol, les températures de l'horizon de surface et de l'échantillon de sol le plus profond ont été mesurées. La température au niveau de la couche superficielle a augmenté au cours de la matinée (de 23,0 à 26,5 °C), alors que pour le sol le plus profond échantillonné, la température était plus constante (entre 18,4 et 19,7 °C). Conditionnés dans des sacs plastiques, les échantillons de sol ont été acheminés au Laboratoire IMBE d'Aix-Marseille Université en vue de l'extraction de la mésofaune des sols.

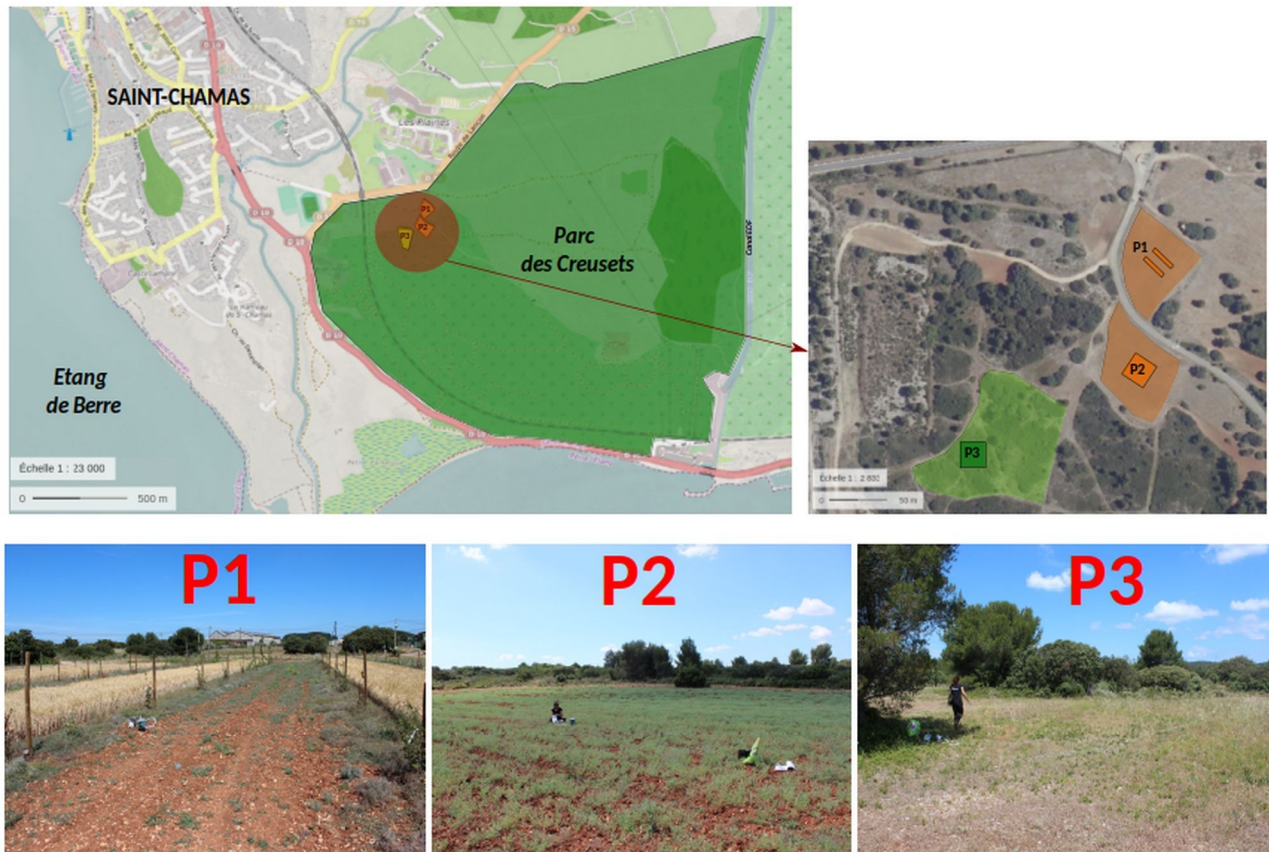


Figure 1 : Localisation des placettes d'étude sur le Parc des Creusets

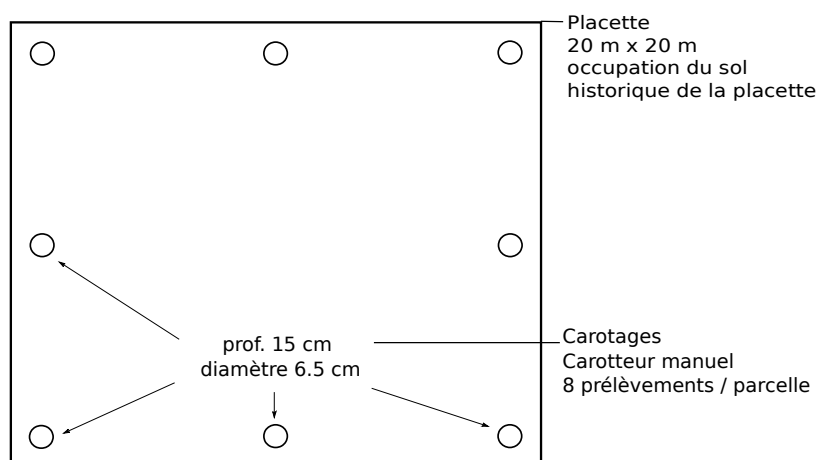


Figure 2 : Schéma de prélèvements des échantillons de sol dans chaque sous-placette

II.2. Extraction et identification de la mésofaune des sols

Pour l'extraction des microarthropodes, les échantillons de sol ont été placés sur des entonnoirs Berlese-Tullgren (Edward et Fletcher, 1971) en plastique équipés d'un tamis de 2 mm non métallique pendant 10 jours (Figure 3). La mésofaune a été collectée dans une solution d'éthanol diluée avec de l'eau milliQ pour obtenir une solution alcoolique à 70 °C.

Les microarthropodes ont été identifiés à la loupe binoculaire, au niveau du genre pour les collemboles et en fonction de leur régime alimentaire pour les acariens (prédateurs/parasites et détritivores) et autres microarthropodes (Coineau et al., 1997 ; Hopkin, 2007 ; Bellinger et al., 2023). Les collemboles (Figure 4A) et les acariens oribates (Figure 4B) sont détritivores et les acariens gamases et actinedides sont des prédateurs (Figure 4C).



Figure 3 : Photos de la phase d'extraction de la mésofaune des différents échantillons de sol prélevés dans les trois parcelles du Parc des Creusets

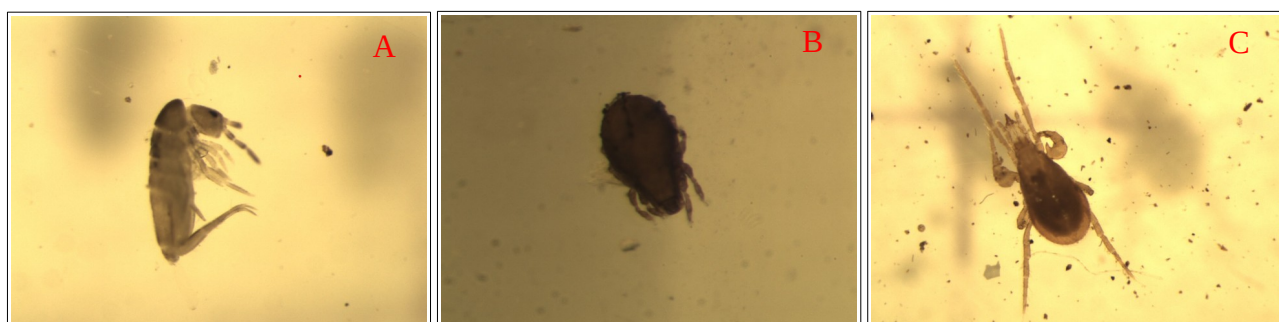


Figure 4 : Photos de (A) collemboles (*Lepidocertus* sp.), (B) acarien oribate (*Phthiracarus* sp.) et (C) acarien gamase (*Pergamasus* sp.) réalisées à partir des individus extraits des échantillons de sol du Parc des Creusets

II.3. Caractérisation des paramètres physico-chimiques des sols

Pour estimer l'humidité du sol, les échantillons de sol ont été pesés avant et après leur dessiccation sur les extracteurs Berlese-Tullgren complété par un séchage à l'étuve de 24 h. La teneur en eau des sols était en moyenne de 12,1 % sur P3, 22,9 % sur P1 et 23,7 % sur P2.

Par parcelle, 200 g de chaque échantillon ont été sélectionnés après homogénéisation et quartage pour la réalisation d'un échantillon composite par parcelle. Celui-ci a ensuite été tamisé sur tamis nylon à 2 mm. Pour chaque échantillon composite, plusieurs paramètres physico-chimiques (pH, COT, azote total, CEC, granulométrie, C/N) ont été analysés au Laboratoire Développement Méditerranée d'Alès (<http://www.laboratoireldm.com/>).

II.4. Mesure de la respiration des sols



Figure 5 : LI-COR 6400-09 et sa chambre de mesure et collier PVC installé en amont de la mesure

On appelle respiration d'un sol le flux de CO_2 libéré au niveau de l'interface sol-atmosphère. Ce CO_2 est le résultat des activités biologiques du sol mais peut aussi être dû à l'oxydation chimique de composés carbonés ou encore à la dissolution des carbonates présents dans le sol (Granier et al., 2000). La contribution de chacun de ces processus est difficile à établir, plusieurs études montrent une contribution de la respiration racinaire et microbienne allant de 10 à 90 % (Hanson et al., 2000). En effet, les sources cataboliques d'émission de CO_2 sont multiples : la respiration des racines, l'activité de la flore rhizosphérique, la faune ou encore la décomposition de la matière organique. Cependant, la distinction de tous ces phénomènes étant complexe, la mesure globale de ce flux entre le sol et l'atmosphère apporte une information claire directement liée au fonctionnement biologique du sol.

À l'échelle mondiale, la respiration peut présenter une variation de facteur 10 suivant l'écosystème et la localisation (Schlesinger et Andrews, 2000). La variabilité spatiale est primordiale, car elle conditionne le type de sol, le type de biosphère ainsi que le climat (Bahn et al., 2008). Ainsi, de nombreux facteurs biotiques et abiotiques impactent la respiration des sols, tels que la température, les paramètres physico-

chimiques du sol ou la diversité biologique. La pédofaune associée à la microflore participe à l'amélioration et la stabilisation de l'organisation structurale du sol et a donc une action sur la respiration du sol.

La mesure de la respiration des sols s'effectue à l'aide d'un LI-COR 6400-09, un appareil portable qui permet de mesurer les échanges de CO₂ entre plusieurs types d'interfaces et notamment au niveau de l'interface sol/atmosphère. Des mesures de la température, de l'humidité relative de l'air et du sol et de la pression atmosphérique sont aussi réalisées simultanément. Cet appareil est composé d'une chambre spécifique aux mesures de respiration de sol, ainsi que d'un ordinateur qui analyse, traite et met en forme les mesures effectuées par la chambre sol (Figure 5).

Le flux de CO₂ dépend de la température du sol, de la teneur en matières organiques, de la teneur en humidité et des précipitations, et présente une grande variabilité spatiale. Il est également très sensible aux fluctuations de pression. Une chambre non ventilée fermée induira donc des augmentations de pression significatives qui pourront être amplifiées par l'évaporation de l'eau dans le sol ainsi que par le réchauffement de l'air dans la tête de la chambre. Ainsi, pour éviter toutes perturbations du flux de CO₂, la chambre est ventilée et présente un équilibre dynamique entre les pressions à l'intérieur et à l'extérieur de la chambre. Le flux de CO₂ mesuré dans le sol, en utilisant ce système, dépend donc de la concentration en CO₂ dans la chambre de mesure. Cette concentration avec son delta est définie à partir de la mesure de la concentration atmosphérique en CO₂, elle est établie à 400 ± 10 ppm. Pour maintenir des conditions stables des colliers en PVC sont installés aux points de mesure 24 h avant.

Les mesures de respiration des sols ont été réalisées aux différents points de prélèvements sur les trois parcelles en amont des prélèvements, pour un total de huit mesures par parcelle. Sur chaque point de mesure, l'appareil effectue 20 cycles en un temps compris entre 1 et 2 min suivant le temps de stabilisation de la concentration en CO₂ dans la chambre. Ce qui porte à 160 le nombre de mesures de flux réalisées par site. Ces valeurs sont récupérées et traitées afin d'obtenir une valeur moyenne pour chaque variable mesurée (flux de CO₂, température du sol et de l'air, humidité relative du sol et de l'air) qui se veut représentative du site.

II.5. Traitements statistiques

L'interprétation de l'ensemble des résultats, notamment les analyses statistiques, a été réalisée au moyen du logiciel R (R Core Team 2022, version 12.0). Etant donnée la taille des échantillons par station (8 réplicats), le test non paramétrique de Mann Whitney, permettant la comparaison d'échantillons indépendants, a été utilisé pour comparer la distribution des données par station. Une analyse en composante principale (ACP normée) a été réalisée sur les paramètres physico-chimiques, la respiration des sols et la répartition des groupes de mésofaune de l'ensemble des parcelles étudiées. Une ACP normée est une analyse statistique utilisée pour afficher des modèles de données multivariées. Cet outil descriptif vise à afficher graphiquement les positions relatives des points de données dans un graphique à 2 ou 3 dimensions permettant d'explorer les relations entre les variables. Par ailleurs, pour déterminer d'éventuelles corrélations entre les différentes variables, des régressions linéaires ont été réalisées.

III. Résultats

III.1. Paramètres physico-chimiques des sols

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques mesurés dans les sols des différentes parcelles d'étude

	pH	MO (g/kg)	Ntot (g/kg)	C/N	CEC (meq/100g)	Salinité (g/kg)	Réserve utile (mm)	Texture
P1	8,2	35,0	2,2	9,4	19,1	0,040	43	Fine limono-argilo-sableuse
P2	8,2	30,0	2,1	8,5	19,1	0,044	39	Fine limono-argilo-sableuse
P3	7,3	411,0	14,8	16,2	47,7	0,031	142	Fine argilo-sableuse

Les paramètres physico-chimiques des sols (pH, matières organiques, azote total, C/N, capacité d'échanges cationiques – CEC, salinité et texture) sont présentés dans le Tableau 1.

La texture est relativement homogène sur les trois sols étudiés, le sol P3 présentant une plus grande proportion de sable grossier que sur les parcelles P1 et P2.

Les paramètres physico-chimiques des sols des parcelles P1 et P2 sont relativement proches. Cependant, sur le sol P1 est relevée une teneur en matière organique et azote total légèrement plus élevée que sur P2 probablement consécutif aux apports de fumiers en surface lors de sa mise en culture. Il s'agit de deux sols agricoles relativement riches en matières organiques présentant une structure instable et un risque d'asphyxie. Pour P3, de très fortes teneurs en matières organiques et azote total sont enregistrées, de même qu'un rapport C/N et une CEC élevés, caractéristiques d'une forte capacité d'humification et d'un humus de type MODER. Ces propriétés confèrent au sol P3 une réserve utile élevée. Il s'agit d'un sol de landes équilibré présentant une aptitude faible à la fissuration. A noter que l'ensemble des sols est considéré comme non battant.

III.2. Respiration des sols

Les valeurs moyennes de flux de CO₂ enregistrées à la surface des sols des trois parcelles d'étude sont présentées dans la Figure 6, en lien avec la température du sol mesurée au cours des mesures réalisées avec le LICOR 6400-09.

Le sol de landes P3 présente un flux de CO₂ ($6,64 \pm 2,94 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$, $p < 0,01$) significativement plus élevé que sur les sols P1 et P2. Les valeurs relevées sur P1 et P2 sont relativement proches avec un flux moyen légèrement plus élevé sur P2 ($3,38 \pm 1,48 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) que sur P1 ($2,49 \pm 1,67 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$). En extrapolant les variations saisonnières, le flux global de CO₂ provenant des sols est estimé à 3,4, 5,0 et 9,4 kgCO₂/m²/an respectivement sur les parcelles P1, P2 et P3.

Comme déjà observé dans différents travaux (Bahn et al., 2008 ; Almagro et al., 2009 ; Maranon-Jimenez et al., 2011), les sols de landes méditerranéennes présentent des valeurs de respiration importantes

représentatives de la richesse en matière organique de l'horizon O, d'une végétation relativement dense et diversifiée et d'une faune du sol abondante. Sur les terrains agricoles, les résultats mettent en avant un impact des perturbations de sol (labour, faible revégétalisation) sur la respiration des sols et plus largement sur l'activité biologique de ces sols (Delogu, 2013). A noter, l'influence de l'humidité et de la température des sols sur les flux de CO₂ à la surface des sols (Almagro et al., 2009 ; Talmon et al., 2011). En période estivale sèche, au cours de laquelle les prélèvements ont eu lieu, l'humidité des sols devient le facteur principal contrôlant la respiration des sols dans ces écosystèmes méditerranéens (Almagro et al., 2009). L'humidité relative des sols étant relativement faible (< 25 % pour les 3 sols), les valeurs de flux de CO₂ relevées au cours de cette étude dans les 3 sols ont pu être influencées négativement par cette variable.

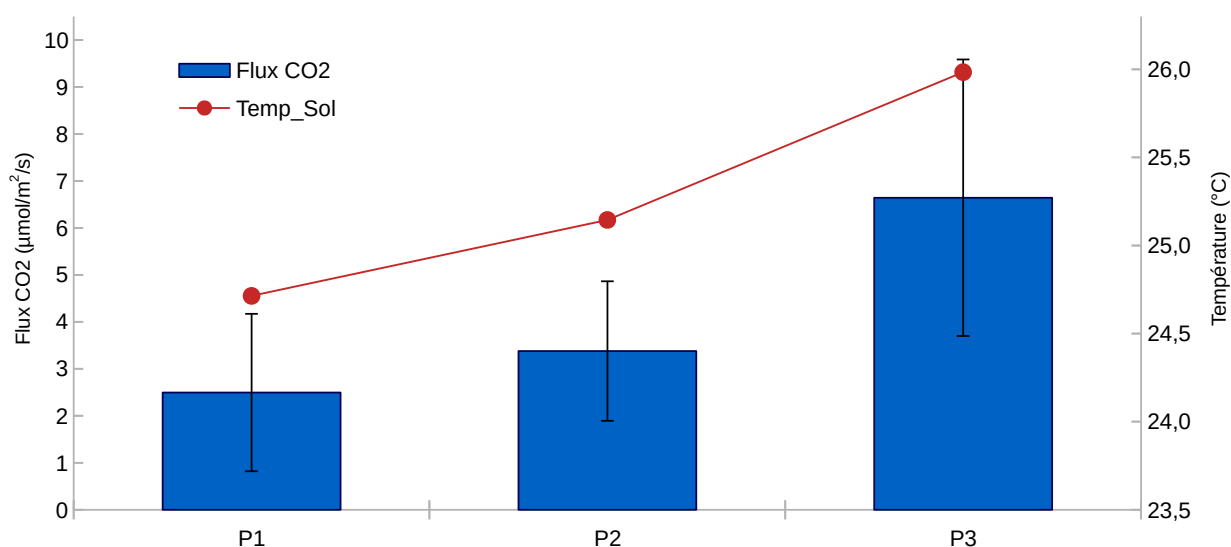


Figure 6 : Valeurs moyennes et écarts-types de la respiration des sols enregistrées sur chaque parcelle d'étude (n=8). L'évolution des températures de sol de surface relevées lors des mesures est représentée par la courbe rouge.

III.3. Mésofaune des sols

III.3.1. Abondance et répartition des différents groupes de mésofaune des sols

L'abondance des microarthropodes (par kg de sol sec) est élevée dans le sol de lande (P3 = 570 ind/kg en moyenne) contrairement aux sols P1 et P2 où une plus faible densité de microarthropodes est relevée (129 et 133 ind/kg respectivement pour P1 et P2). Une forte variabilité intra-site est observée notamment sur la parcelle P1, relative à la distribution grégaire des microarthropodes du sol et plus particulièrement dans les sols agricoles (Cortet et al., 2002). Les densités relevées sont caractéristiques des forêts méditerranéennes pour la parcelle P3 (Métral, 2007) et légèrement supérieures des niveaux enregistrés dans les sols cultivés pour les parcelles P1 et P2 (Debeljak et al., 2007 ; Métral, 2007).

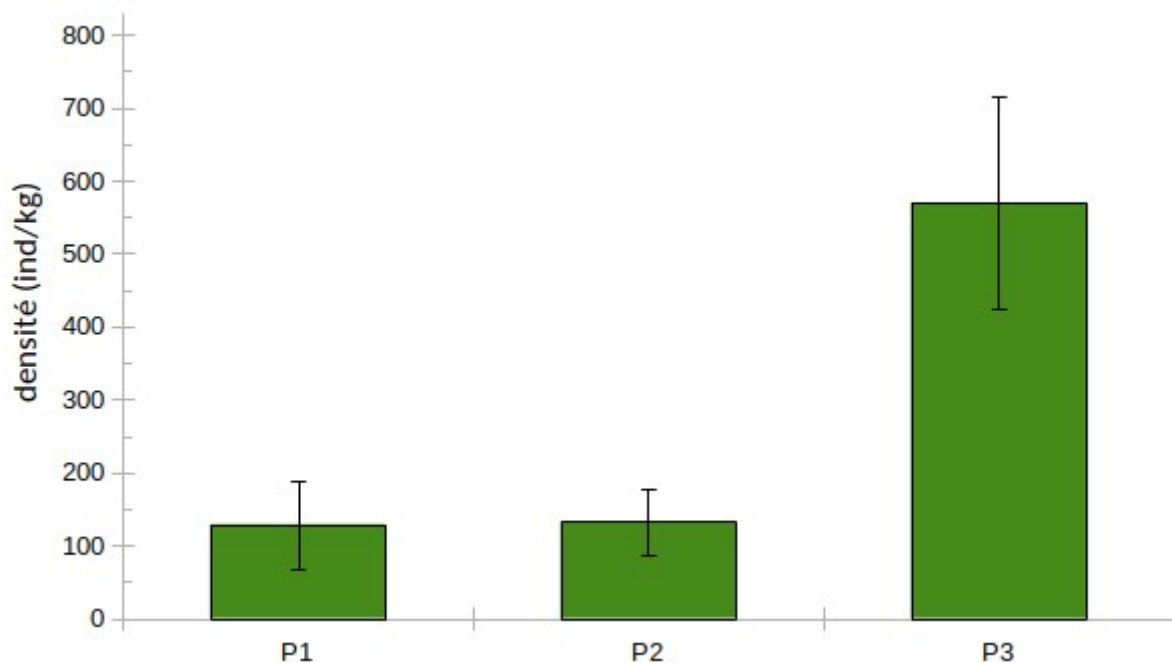


Figure 7 : Valeurs moyennes et écarts-types de la densité de la mésofaune totale relevée sur les différentes placette d'étude (n=8)

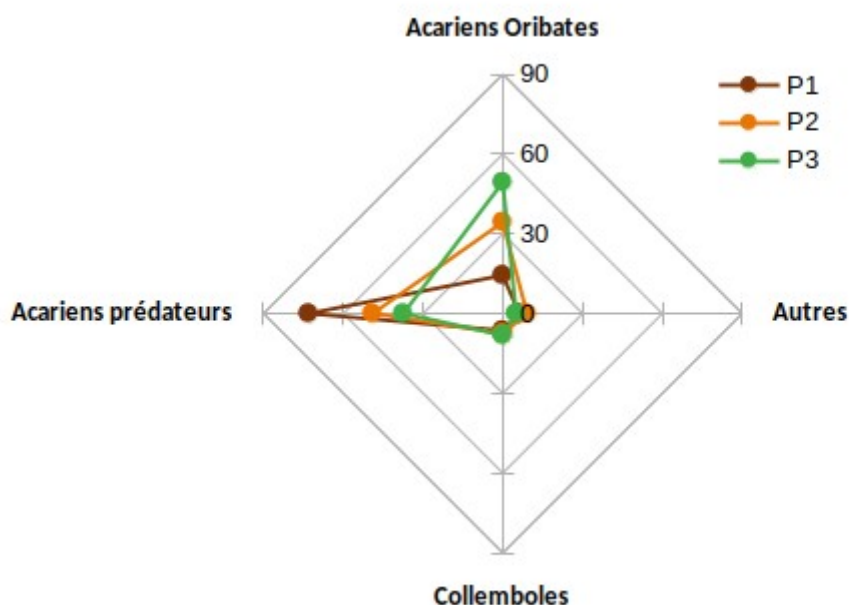


Figure 8 : Répartition des différents groupes (collemboles, acariens prédateurs et oribates) en pourcentage relevée dans les différentes parcelles (n=8)

La répartition des différents groupes de micro-arthropodes au sein de la mésofaune est présentée dans la Figure 8. La proportion moyenne de détritivores, collemboles et acariens oribates regroupés, est significativement plus élevée que celles des acariens gamasides et actinédides (prédateurs) dans le sol de landes (P3), respectivement 57,5 % contre 37,4 %. Les équilibres sont inversés dans les anciennes parcelles agricoles. Les acariens prédateurs sont très fortement représentés dans la parcelle P1 récemment mise en

culture par rapport aux microarthropodes détritvires (73,0 % contre 20,8 %), il en est de même pour la parcelle P2 mais avec une différence moins marquée (48,9 % contre 41,9 % de détritvires). A travers l'étude des régimes alimentaires, une répartition relativement homogène entre détritvires et prédateurs est relevée mettant en avant une mésofaune plus équilibrée sur les parcelles P3 et dans une moindre mesure P2, dont aucun travail du sol n'a été pratiqué dans l'année précédent les prélèvements. Ainsi, l'occupation du sol a une influence significative sur l'abondance des collemboles et des acariens. Cela suggère, de plus, l'influence prédominante des pratiques agricoles et du travail du sol sur l'abondance des populations de microarthropodes (collemboles et acariens) comme relevé dans différents travaux mettant en avant l'impact des méthodes d'agriculture conventionnelle sur les microarthropodes des sols (Joimel et al., 2017 ; Mantoni et al., 2021 ; Austruy et al., 2022).

III.3.2. Abondance et diversité des collemboles

Tableau 2 : Diversité des collemboles et abondances des différentes espèces de collemboles identifiées dans les parcelles P1, P2 et P3 (n = 8)

	P1	P2	P3
Densité collemboles tot	7,61	9,95	45,04
<i>Brachystonella parvula</i>	0,00	0,00	3,25
<i>Ceratophysella sp.</i>	0,45	1,10	0,00
<i>Dicyrtomina sp.</i>	0,00	0,46	1,78
<i>Entomobrya sp.</i>	1,38	2,07	3,17
<i>Folsomia sp.</i>	1,94	1,45	8,43
<i>Isotoma viridis</i>	0,40	1,59	1,47
<i>Lepidocertus sp.</i>	1,66	1,84	6,13
<i>Monobella sp.</i>	0,00	0,00	0,94
<i>Neanura muscorum</i>	0,56	0,32	4,78
<i>Orchesella sp.</i>	0,00	0,00	1,88
<i>Protaphorura sp.</i>	1,22	1,12	5,23
<i>Pseudosinella sp.</i>	0,00	0,00	5,49
<i>Sphaeridia pumilis</i>	0,00	0,00	2,49
Nombre d'espèces	7	8	12

La richesse spécifique des collemboles est présentée dans le Tableau 2. Le nombre d'espèces de collemboles quantifiées dans chaque site est compris entre 7 et 12 espèces, avec une plus grande richesse spécifique relevée sur le sol de landes P3. Comme observé précédemment, une abondance significativement plus élevée ($p < 0,005$) de collemboles est relevée sur la parcelle P3, par rapport à P1 et P2. Plusieurs espèces sont rencontrées sur toutes les parcelles. *Folsomia sp.* est le genre le plus abondant

en moyenne sur les trois parcelles, peuvent aussi être cités *Entomobrya sp.*, *Lepidocertus sp.*, *Neanura muscorum*, *Protaphorura sp* et *Isotoma viridis*.

Les genres *Protaphorura sp.* et *Entomobrya sp.* sont connus pour leur tolérance aux polluants métalliques des sols et régulièrement rencontrés en milieu anthropisé (Fiera, 2009 ; Austruy et al., 2016). Au contraire, deux espèces du sous-ordre Symphypleona ont été observées dans les parcelles P2 et P3, *Dycyrtomina sp.* et *Sphaeridia pumilis*. Celles-ci, couramment rencontrées dans les écosystèmes méditerranéens (Milano et al., 2018), sont sensibles aux perturbations du sol (labour, tassement, intrants) les rendant peu abondantes dans les agrosystèmes (Querner et al., 2013 ; Santorufo et al., 2015 ; Austruy et al., 2022).

III.4. Impact des paramètres environnementaux sur la biodiversité de la mésofaune

Les microarthropodes détritivores fournissent de la nourriture aux acariens prédateurs (Cluzeau et al., 2012 ; Paoletti et al., 2007 ; Caruso et Migliorini, 2006). Ceci est illustré par la corrélation positive et significative (Figure 9A, $R^2 = 0,72$, $p < 0,001$) observée entre le nombre de prédateurs (acariens gamases et actinedides) et de détritivores (acariens oribates et collemboles) qui met en évidence l'influence du niveau trophique sur la répartition des communautés de microarthropodes (Austruy et al., 2016). Les microarthropodes détritivores, notamment les collemboles, sont les principales proies des acariens gamases, il existe donc un équilibre entre le nombre de microarthropodes détritivores et de prédateurs dans l'horizon supérieur du sol.

Des variations importantes de l'abondance des microarthropodes sont enregistrées entre les différentes parcelles avec les niveaux les plus faibles relevés sur la parcelle P1 récemment mise en culture avec des espèces arbustives (chêne, olivier, amandier, ...) alors que P3 présente la plus forte diversité et abondance de microarthropodes. Ce résultat met ainsi en évidence l'influence significative de l'occupation du sol sur l'abondance des collemboles et des acariens. La parcelle P1 a subi un travail du sol important avec un désherbage mécanique, un labour et une mise en culture de plusieurs variétés d'arbres. Les différences observées dans l'abondance des microarthropodes entre les parcelles P1, ayant fait l'objet d'un travail du sol récent, et P2, dont aucun travail du sol n'a été appliqué au cours des années précédentes, confirment l'impact du travail du sol sur la diversité et l'abondance des microarthropodes (Joimel et al., 2017 ; Austruy et al., 2022). Des résultats similaires ont été observés sur des sols agricoles du sud-ouest de la France (Austruy et al., 2022) ou de Bretagne (France) (Cluzeau et al., 2009 ; Ponge et al., 2013) avec un effet négatif de l'intensification des pratiques agricoles sur la faune et les microorganismes des sols. Par ailleurs, diverses études (Birkhofer et al., 2011 ; Sabais et al., 2011) ont montré que l'abondance des microarthropodes dépendait de la diversité de la végétation et présentait une grande diversité dans les écosystèmes riches floristiquement. La forte densité de microarthropodes enregistrée sur la parcelle 3 pourrait être liée à une végétation dense et diversifiée et à une teneur élevée en MO (Tableau 1). A noter que la richesse spécifique des collemboles relevée sur nos différents sites présente aussi de fortes variabilités en fonction de l'occupation des sols, avec une plus grande diversité dans le sol de landes (P3) que dans les champs cultivés (P1 et P2).

Une corrélation positive et significative est par ailleurs observée entre la respiration du sol et la densité de la mésofaune totale (Figure 9B, $R^2 = 0,38$, $p < 0,005$), illustrant le rôle essentiel des microarthropodes dans l'activité biologique du sol et la dégradation de la matière organique (Gobat et al., 2010). Dans le détail (Figure 9C), la respiration des sols est positivement corrélée à la proportion de détritivores (acariens oribates et collemboles, $R^2 = 0,34$, $p < 0,005$) et négativement corrélée à la proportion de prédateurs (acariens gamases et actinédides, $R^2 = 0,29$, $p < 0,005$). Ce résultat confirme la relation trophique relevée par la Figure 9A. Il met, par ailleurs, en évidence l'importance de l'action des détritivores dans la décomposition des résidus organiques, source catabolique d'émission de CO_2 .

La Figure 10 présente une analyse en composante principale réalisée sur tous les échantillons de sol à partir de la densité des différents groupes de mésofaune identifiés (collemboles, acariens oribates et gamases et autres), de la respiration du sol et des paramètres physico-chimiques des sols. Les deux premiers axes de cette ACP expliquent 79 % de la variance. Le premier axe (57 % de la variance) distingue la respiration des sols, la proportion des sables grossiers et des teneurs en matières organiques et azote total des autres paramètres physio-chimiques. L'axe 2 (22 % de la variance) répartit les différents groupes de microarthropodes selon leur régime alimentaire avec des valeurs positives pour les groupes de détritivores (collemboles et acariens oribates) et des valeurs négatives pour les groupes de prédateurs. Cette analyse montre une distribution des données en fonction des deux axes. Le positionnement des échantillons de sol de P1 sur l'axe 2 (en moyenne axe 2 = -1,71) par rapport à P2 (en moyenne axe 2 = 2,19) et P3 (en moyenne axe 2 = -0,48) met en évidence la dominance des groupes de prédateurs sur P1. La répartition des échantillons sur l'axe 1 montre des valeurs positives pour ceux de P3 (en moyenne axe 1 = 3,75) alors que des valeurs négatives sont relevées pour P1 et P2 (en moyenne respectivement axe 1 = -2,48 et -1,27). Ce résultat confirme l'importance des sols riches en matières organiques et en azote total, comme relevé sur le sol de landes P3, sur l'abondance et la diversité de la mésofaune et plus généralement sur l'activité biologique des sols. Plusieurs études ont montré des résultats similaires dans différentes conditions de terrain et mis en évidence un effet des paramètres du sol (teneurs en matière organique et en azote total, densité du sol) sur l'abondance et la diversité des microarthropodes (Gutierrez-Lopez et al., 2010 ; Querner et al., 2013 ; Austruy et al., 2016).

Ainsi, ce travail a mis en évidence la sensibilité de la mésofaune, vivant principalement dans les premiers centimètres du sol, aux perturbations du sol (travail du sol, tassement), au type de couverture végétale et à la qualité agronomique des sols (Ponge et al., 2008 ; Austruy et al., 2016 et 2022).

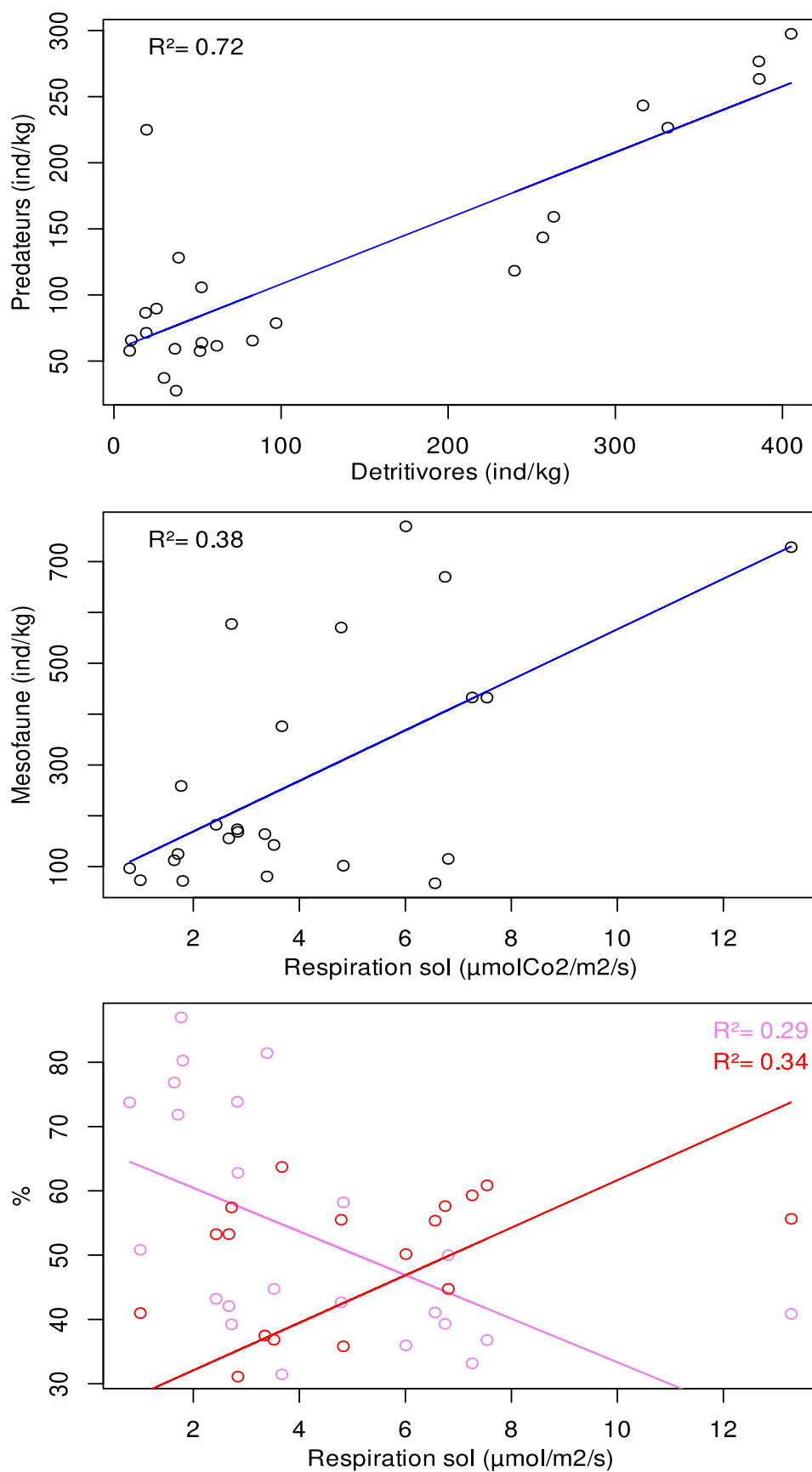


Figure 9 : Régression linéaire entre (A) la densité de détritivores et celle de prédateurs mesurées sur les différentes placettes, (B) la respiration du sol et la densité totale de mésafaune des sols et (C) la respiration du sol et les proportions de prédateurs et détritivores ($n = 24$, $p < 0,01$).

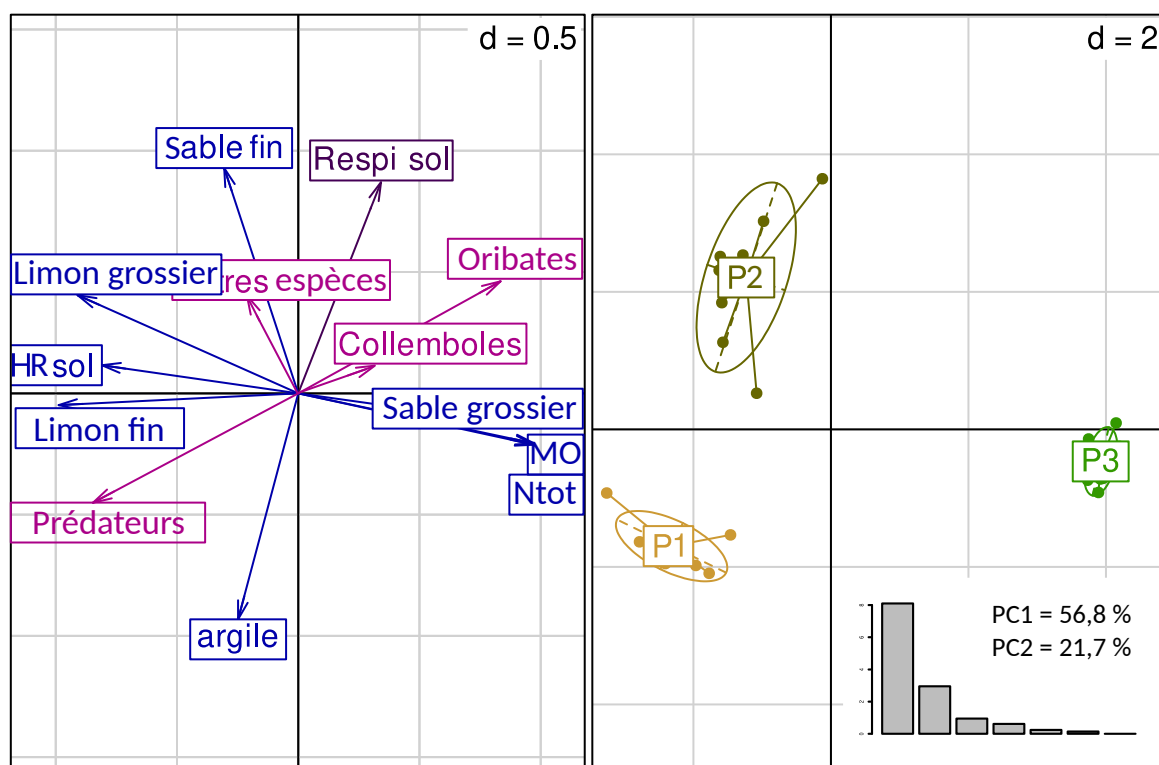


Figure 10 : Analyse en composantes principales (ACP) à partir de la densité des différents groupes de mésofaune identifiés (collemboles, acariens oribates et gamases et autres), de la respiration du sol ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) et des paramètres physico-chimiques des sols (granulométrie, matière organique (MO), azote total (Ntot) et humidité relative des sols (HR sol)) avec la représentation des différents prélèvements regroupés par parcelle ($n = 8$).

IV. Conclusions

Cette étude a permis d'identifier les communautés de microarthropodes vivant dans les couches superficielles des sols du Parc des Creusets à Saint-Chamas. Les résultats ont montré la présence non homogène de communautés de microarthropodes dans les différentes parcelles étudiées. Les différents groupes de microarthropodes ont été observés dans tous les sols étudiés quels que soient les caractéristiques physico-chimiques et le type d'occupation du sol. Cependant, il a été mis en évidence un impact de l'occupation des sols sur la diversité et l'abondance des microarthropodes. La richesse spécifique des collemboles comme l'abondance des différents groupes de microarthropodes est élevée sur le sol de landes P3 caractérisant un sol bien équilibré et riche biologiquement. Une abondance et diversité plus faible est relevée sur les parcelles agricoles avec un impact plus marqué sur la parcelle P1 récemment revégétalisée et caractérisée par un travail du sol récent, pouvant être considéré comme un facteur limitant. De même, la teneur en matière organique et en azote total influence significativement l'abondance des microarthropodes, associées à une couverture végétale dense et à la présence d'un humus de type MODER.

Ce travail nous a ainsi permis de mettre en évidence et confirmer que l'abondance et la diversité des communautés de microarthropodes peuvent être utilisées comme un bioindicateur d'impact des perturbations anthropiques notamment liées au travail du sol, et ainsi être de bons indicateurs de l'équilibre biologique des écosystèmes.

Un suivi annuel de l'évolution de la diversité et de l'abondance de la mésofaune du sol sur ces trois parcelles permettrait d'évaluer la pertinence et l'impact sur la biodiversité de ces sols des procédés de revégétalisation sur les parcelles P1, déjà initié, et P2, dont une revégétalisation est aussi en projet. Ce suivi permettrait, par ailleurs, de caractériser l'évolution temporelle de ces communautés de microarthropodes dans le sol de landes et un éventuel effet du changement climatique.

V. Références bibliographiques

Austruy, A., Laplanche, C., Mombo, S., Dumat, C., Deola, F., Gers, C., 2016. Ecological changes in historically polluted soils : metal(loid) bioaccumulation in microarthropods and their impact on community structure. *Geoderma*, 271, 181-190.

Austruy, A., Gers, C., Bur, T., Probst, A., 2022. Diversité des communautés de microarthropodes dans des sols agricoles (Sud-Ouest de la France) : influence des facteurs environnementaux et bioaccumulation de métaux traces - *Étude et Gestion des Sols*, 29, 309-326.

Bahn, M., Rodeghiero, M., Anderson-Dunn, M., Dore, S., Gimeno, C., Drösler, M., Williams, M., Ammann, C., Berninger, F., Flechard, C., Jones, S., Balzarolo, M., Kumar, S., Newesely, C., Priwitz, T., Raschi, A., Siegwolf, R., Susiluoto, S., Tenhunen, J., Wohlfahrt, G., Cernusca, A., 2008. Soil Respiration in European Grasslands in Relation to Climate and Assimilate Supply. *Ecosystems*, 11(8), 1352-67.

Bellinger, P.F., Christiansen, K.A. & Janssens, F. 1996-2023. Checklist of the Collembola of the World. <http://www.collembola.org>. Consulté en septembre-décembre 2022.

Birkhofer, K., Diekötter, T., Boch, S., Fischer, M., Müller, J., Socher, S., Wolters, V., 2011. Soil fauna feeding activity in temperate grassland soils increases with legume and grass species richness. *Soil Biol. Biochem.*, 43, 2200-2207.

Caruso, T., Migliorini, M., 2006. Micro-arthropod communities under human disturbance: is taxonomic aggregation a valuable tool for detecting multivariate change? Evidence from Mediterranean soil oribatid coenoses. *Acta Oecol.*, 30, 46-53.

Cluzeau D., Bellido A., Boulonne L., Cannavacciuolo M., Chaussod R., Cortet J., Fargette M., Giteau J.L., Guernion M., Jolivet C., Lavelle P., Foucaud Lemercier B., Martin F., Mateille T., Mercier V., Péres G., Pernin C., Plantard O., Ponge J.F., Ranjard L., Rougé L., Ruiz N., Tico S., Velasquez H., Villenave C., Walter C., 2009 - RMQS Biodiv Bretagne. Volume 4 – Tome 6 : Mésofaune, ADEME, 82 p.

Cluzeau, D., Guernion, M., Chaussod, R., Martin-Laurent, F., Villenave, C., Cortet, J., Ruiz-Camacho, N., Pernin, C., Mateille, T., Philippot, L., Bellido, A., Rougé, L., Arrouays, D., Bispo, A., Pérès, G., 2012. Integration of biodiversity in soil quality monitoring: baselines for microbial and soil fauna parameters for different land-use types. *Eur. J. Soil Biol.*, 49, 63-72.

Coineau, Y., Cleve, R., Du Chatenet, G., 1997. Ces animaux minuscules qui nous entourent. Delachaux et Niestlé Ed., Paris, 77 p.

Coleman, D.C., Crossley Jr., D.A., Hendrix, P.F., 2004. Fundamentals of Soil Ecology. second ed. Elsevier Academic Press, San Diego, US, 386 pp.

Cortet, J., Ronce, D., Poinot-Balaguer, N., Beaufreton, C., Chabert, A., Viaux, P., Cancela de Fonseca, J.P., 2002. Impacts of different agricultural practices on the biodiversity of microarthropod communities in arable crop systems. *European Journal of Soil Biology*, 38 (3-4), 239-244.

Debeljak, M., Cortet, J., Demsar, D., Krogh, P.H., Dzeroski, S., 2007. Hierarchical classification of environmental factors and agricultural practices affecting soil fauna under cropping systems using Bt maize. *Pedobiologia*, 51, 229-238.

Delogu, E., 2013. Modélisation de la respiration du sol dans les agro-écosystèmes. Sciences de la Terre. Université Paul Sabatier - Toulouse III.

Deprince, A., 2003. La faune du sol, diversité, méthode d'étude, fonctions et perspectives, *Le courrier de l'environnement de l'INRA* n°49.

Edward, C., Fletcher, K., 1971. A comparison of extraction methods for terrestrial arthropods. In Phillipson J. Ed., *Methods of study in quantitative soil ecology : population, production and energy flow*. Blackwell Scientific Publication, Oxford, 150-185.

Fiera, C., 2009. Biodiversity of Collembola in urban soils and their use as bioindicators for pollution. *Pesq. Agrop. Brasileira*, 44 (8), 868-873.

Granier, A., Ceschia, E., Damesin, C., Dufrêne, E., Epron, D., Gross, P., Lebaude, S., Le Dantec, V., Le Goff, N., Lemoine, D., Lucot, E., Ottorini, J., Pontailier, J. Saugier, B., 2000. The carbon balance of a young Beech forest. *Functional Ecology*, 14, 312-325.

Gobat, J.M., Aragno, M., Matthey, W., 2003. *Le sol vivant*, deuxième édition revue et augmentée. Presse polytechniques et universitaires romandes, 568p.

Gobat, J.M., Aragno, M., Matthey, W., 2010. *The Living Soil: Fundamentals of Soil Science and Soil Biology*. Science Pub Ing Ed, Lausanne, 602 pp.

- Gutierrez-Lopez, M., Jesus, J.B., Trigo, D., Fernandez, R., Novo, M., Diaz-Cosin, D.J., 2010. Relationships among spatial distribution of soil microarthropods, earthworm species and soil properties. *Pedobiologia*, 53, 381–389.
- Hedenec, P., Radochova, P., Novalova, A., Kaneda, S., Frouz, J., 2013. Grazing preference and utilization of soil fungi by *Folsomia candida* (Isotomidae:Collembola). *Eur. J. Soil Biol.*, 55, 66–70.
- Hishi, T., Takeda, H., 2008. Soil microarthropods alter the growth and morphology of fungi and fine roots of *Chamaecyparis obtusa*. *Pedobiologia*, 52 (2), 97–110.
- Hopkin, S.P., 2007. A key to the Collembola (Springtails) of Britain and Ireland. FSC Edition, Londres, 246 p.
- Joimel, S., Schwartz, C., Hedde, M., Kiyota, S., Krogh, P.H., Nahmani, J., Pérès, G., Vergnes, A., Cortet, J., 2017. Urban and industrial land uses have a higher soil biological quality than expected from physicochemical quality, *Sc. Tot. Environ.*, 584–585, 614–621.
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J.P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *Eur. J. Soil Biol.*, 42, 3–15.
- Mantoni, C., Pellegrini, M., Dapporto, L., Del Gallo, M.M., Pace, L., Silveri, D., Fattorini, S., 2021. Comparison of Soil Biology Quality in Organically and Conventionally. Managed Agro-Ecosystems Using Microarthropods. *Agriculture*, 11, 1022.
- Métral, R., 2007. Synthèse sur la diversité de la pédofaune en système agroforestier. Programme CAS DAR Agroforesterie 2006/2008 - Groupe de Travail – GT6 Bilan économique et environnemental des projets existants, 65 p.
- Milano, V., Cortet, J., Baldantoni, D., Bellino, A., Dubs, F., Nahmani, J., Strumia, S., Maisto, G., 2018. Collembolan biodiversity in Mediterranean urban parks: impact of history, urbanization, management and soil characteristics. *Applied Soil Ecology*, 119, 428–437.
- Neher, D.A., Weicht, T.R., Barbercheck, M.E., 2012. Linking invertebrate communities to decomposition rate and nitrogen availability in pine forest soils. *Appl. Soil Ecol.*, 54, 14–23.
- Paoletti, M.G., Osler, G.H., Kinnear, A., Black, D.G., Thomson, L.J., Tsitsilas, A., Sharley, D., Judd, S., Neville, P., D'Inca, A., 2007. Detritivorous as indicators of landscape stress and soil degradation. *Aust. J. Exp. Agric.*, 47 (4), 412–423.

Pfeffer, S.P., Khalili, H., Filser, J., 2010. Food choice and reproductive success of *Folsomia candida* feeding on copper-contaminated mycelium of the soil fungus *Alternaria alternata*. *Pedobiologia*, 54 (1), 19-23.

Ponge, J.F., Tully, T., Gins, A., 2008. Short-term responses of two Collembolan communities after abrupt environmental perturbation : A field experimental approach. *Pedobiologia*, 52, 19-28.

Ponge, J.F., Pérès, G., Guernion, M., Ruiz-Camacho, N., Cortet, J., Pernin, C., Villenave, C., Chaussod, R., Martin-Laurent, F., Bispo, A., Cluzeau, D., 2013. The impact of agricultural practices on soil biota : A regional study. *Soil Biol. Biochem.*, 67, 271-284.

Potapov, A.M., Beaulieu, F., Birkhofer, K., Bluhm, S.L., Degtyarev, M., Devetter, M., Goncharov, A.A., Gongalsky, K.B., Klarner, B., Korobushkin, D.I., Liebke, D.F., Maraun, M., Mc Donnell, R.J., Pollierer, M.M., Schaefer, I., Shrubovych, J., Semenyuk, I.I., Sendra, A., Tuma, J., Tumova, M., Vassilieva, A., Ting-Wen, C., Geisen, S., Schmidt, O., Tiunov, A.V., Scheu, S., 2022. Feeding habits and multifunctional classification of soil-associated consumers from protists to vertebrates. *Biological Reviews*.

Querner, P., Bruckner, A., Drapela, T., Moser, D., Zaller, J.G., Frank, T., 2013. Landscape and site effects on Collembola diversity and abundance in winter oilseed rape fields in eastern Austria. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 164, 145–154.

Sabais, A.C.W., Scheu, S., Eisenhauer, N., 2011. Plant species richness drives the density and diversity of Collembola in temperate grassland. *Acta Oecologica*, 37, 195-202.

Santorufu, L., Van Gestel, C.A.M., Maisto, G., 2014. Sampling season affects conclusions on soil arthropod community structure responses to metal pollution in Mediterranean urban soils. *Geoderma*, 226-227, 47–53.

Schlesinger, W. et Andrews, J., 2000. Soil respiration and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, 48, 7-20.

Sechi, V., D'Annibale, A., Ambus, P., Sárossy, Z., Krogh, P.H., Eriksen, J., Holmstrup, M., 2014. Collembola feeding habits and niche specialization in agricultural grasslands of different composition. *Soil Biol. Biochem.* 74, 31–38.

Syrek, D., Weiner, W., Wojtylak, M., Olszowska, G., Kwapis, Z., 2006. Species abundance distribution of collembolan communities in forest soils polluted with heavy metal. *J. Appl. Ecol.*, 31, 239–250.

Talmon, Y., Sternberg, M., Grünzweig, J., 2011. Impact of rainfall manipulations and biotic controls on soil respiration in Mediterranean and desert ecosystems along an aridity gradient. *Global Change Biology*, 17, 1108–1118.

Van Eekeren, N., Van Liere, D., De Vries, F.T., Rutgers, M., De Goede, R.G.M., Brussaard, L., 2009. A mixture of grass and clover combines the positive effects of both plant species on selected soil biota. *Appl. Soil Ecol.*, 42, 254–263.

Wall, D.H., Bardgett, R.D., Behan-Pelletier, V., Herrick, J.E., Jones, T.H., Six, J., Strong, D.R., Van der Putten, W.H., 2013. *Soil Ecology and Ecosystem Services*. Oxford University Press, Oxford, 424 pp.