



**Rapport d'étude sur la nématofaune du sol à  
Saint Laurent le Minier sur d'anciens sites  
d'activités minières**

C. Villenave – 6 décembre 2012

**Résultats marquants**

- ✓ L'analyse de la nématofaune du sol a permis de caractériser des différences d'états biologiques du sol dans différentes zones du site d'étude de St Laurent le Minier.
- ✓ L'état et le fonctionnement biologique du sol sont moins bons dans toutes les zones étudiées sur la commune de St Laurent en comparaison avec la zone témoin.
- ✓ Les 6 situations étudiées sur le site de St Laurent se différencient clairement en deux groupes:
  - \* les zones dans les bassins (bassin nu et essais de phytoremédiation) ayant une diversité et parfois une activité biologique extrêmement faible,
  - \* les zones hors des bassins (stérile, terrasses et jardin potager) où les sols sont plus fonctionnels.
- ✓ Les sols des bassins de décantation sont quasiment dénués de vie, sauf lorsqu'ils sont revégétalisés.
- ✓ La revégétalisation associée à un apport de matière organique exogène permet l'installation d'une communauté d'organismes parfois très abondante mais toujours très peu diversifiée et caractérisée par des organismes capables de résister dans des conditions défavorables.
- ✓ Le jardin potager de Mr D. présente simultanément des caractéristiques de milieu cultivé et de milieu très perturbé (ou dégradé).
- ✓ Le sol du stérile des Avinières abrite une communauté d'organismes du sol plus complexe et plus diversifiée que le sol prélevé dans le jardin potager et que le sol des terrasses localisées au dessus des bassins de décantation.

---

## SOMMAIRE

Liste des figures .....	3
<b>I) Objectifs de l'étude.....</b>	<b>4</b>
<b>II) Informations générales sur les organismes étudiés .....</b>	<b>4</b>
A- Les nématodes.....	4
B- L'utilisation des nématodes comme bio-indicateurs de l'état biologique du sol .....	5
<b>III) Les méthodes d'étude et les sites étudiés .....</b>	<b>6</b>
A- Les zones de prélèvement sur le site .....	6
B- Caractéristiques des zones de prélèvement .....	8
C- Comment ont été réalisées les analyses ? .....	9
<b>IV) Une activité biologique du sol très contrastée en fonction des zones d'étude.....</b>	<b>10</b>
A- Les abondances d'organismes du sol sont reliées au niveau de contamination mais également à l'occupation du sol .....	10
B- La composition de la nématofaune discrimine les différentes zones du site.....	12
C- Les communautés présentent une diversité taxonomique très différente selon les zones étudiées .....	13
D- La diversité fonctionnelle reflète le degré de contamination tout comme la diversité taxonomique .....	15
<b>Annexe 1.....</b>	<b>18</b>
<b>Annexe 2.....</b>	<b>19</b>

## Liste des figures

<i>Figure 1 : Dessin d'un nématode phytoparasite (Pratylenchus sp.) réalisé par Cobb, un des pères de la nématologie .....</i>	<i>4</i>
<i>Figure 2 : La micro-chaîne trophique du sol dans laquelle les nématodes sont présents à plusieurs niveaux. ....</i>	<i>5</i>
<i>Figure 3: Localisation du site "témoin" par rapport au site d'étude.....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 4: Localisation des points de prélèvement sur le site d'étude.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 5: Diagnostic du micro-réseau trophique du sol .....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 6: Abondance des nématodes libres (bactérovores + fongivores + omnivores + prédateurs) dans le sol.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 7: Abondance des nématodes phytophages dans le sol, répartis entre nématodes phytophages obligatoires (c'est à dire phytoparasites) et nématodes phytophages facultatifs. ....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 8: Analyse des clusters réalisée à partir des abondances des différents taxons identifiés dans les échantillons. Chaque point représente un échantillon analysé.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 9: Analyse en composante principale (ou ACP) réalisée à partir des abondances des différents taxons identifiés dans les échantillons. ....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 10: Indices de diversité calculés dans les différentes zones d'étude .....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 11: Diagnostic du réseau trophique du sol par deux indices nématofaunique EI (Indice d'Enrichissement) représenté en fonction de SI (Indice de Structure). Les barres d'erreur représentent les erreurs standard. ....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 12: BI: Indice Basal calculé dans les différentes zones d'étude.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 13: Nematode Channel Ratio (ou NCR).....</i>	<i>16</i>

## I) Objectifs de l'étude

Afin de proposer des modalités de gestion répondant aux deux objectifs principaux énoncés par l'ADEME : (1) limiter la dispersion des polluants dans l'environnement en identifiant les sources, et (2) réduire l'exposition des populations en identifiant les voies et milieux d'exposition, une caractérisation de la qualité écologique des milieux sur le site était demandé.

**L'objectif de l'étude présentée dans ce rapport est d'évaluer l'état et le fonctionnement biologique du sol dans différentes zones du site par l'étude des communautés d'organismes bio-indicateurs du sol, des vers microscopiques, appelés nématodes.**

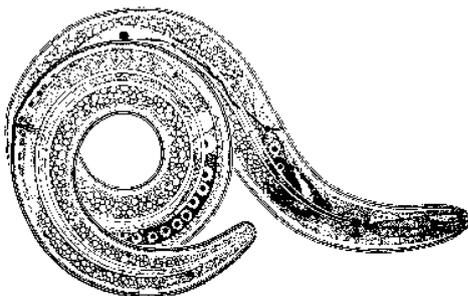
Ces données pourront être utilisées avec pour but de faire des comparaisons inter-zones afin d'alimenter le plan de gestion.

## II) Informations générales sur les organismes étudiés

### A-Les nématodes

#### Introduction

Les nématodes sont les organismes pluricellulaires (les métazoaires) les plus abondants sur terre. Ce sont des organismes microscopiques vermiformes (longueur de l'ordre de 1mm pour un diamètre de 20 µm). Ils sont translucides et invisibles à l'œil nu. Les nématodes constituent un groupe extrêmement diversifié (environ 20 000 espèces décrites), ils sont présents dans tous les milieux (eaux douces, mers, végétaux, sols...). Certains sont parasites (des vertébrés, des invertébrés dont les insectes ou des végétaux), d'autres vivent librement dans les différents environnements (sols, cours d'eau, océans), sous tous les climats et à toutes les latitudes.



**Figure 1 : Dessin d'un nématode phytoparasite (*Pratylenchus sp.*) réalisé par Cobb, un des pères de la nématologie**

#### Dans le sol :

La majorité des nématodes du sol sont dits libres et se nourrissent essentiellement de bactéries, de champignons, et d'autres nématodes. Du fait de leur diversité taxonomique et fonctionnelle, les nématodes sont le reflet quantitatif et qualitatif du réseau trophique du sol aussi bien sous l'angle de la biodiversité que du fonctionnement. Cependant une minorité de nématodes attaque les plantes et les animaux et il convient de contrôler leur prolifération.

L'intérêt des nématodes, par rapport aux autres organismes du sol, est qu'ils se placent à différents niveaux de la micro-chaine trophique. De ce fait, leur caractérisation donne une information sur l'ensemble de ce réseau trophique du sol

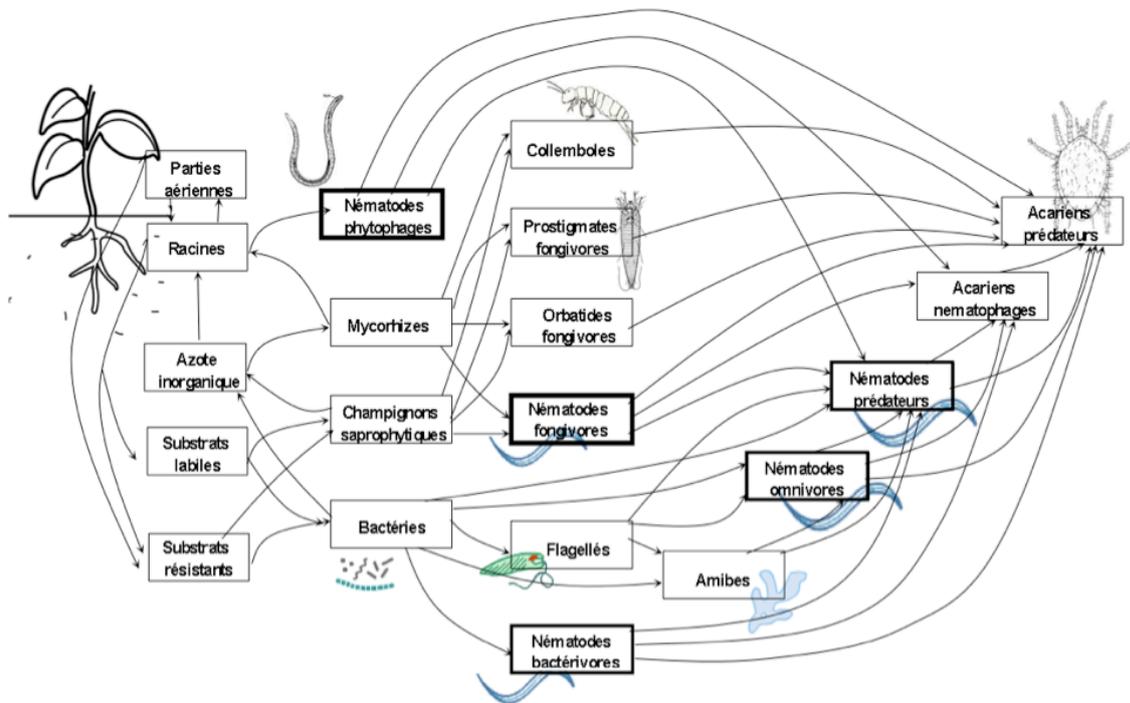


Figure 2 : La micro-chaîne trophique du sol dans laquelle les nématodes sont présents à plusieurs niveaux.

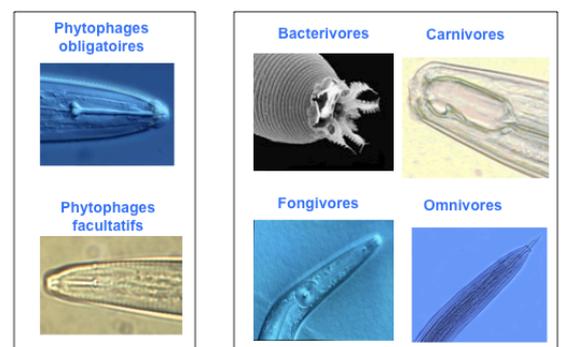
## B-L'utilisation des nématodes comme bio-indicateurs de l'état biologique du sol

S'ils sont particulièrement intéressants pour être utilisés comme bio-indicateurs de l'état du sol, c'est parce que :

- ils sont ubiquistes, présents dans tous les milieux, sous tous les climats, à toutes les latitudes
- ils sont abondants : dans un sol ordinaire on trouve de l'ordre de 1 million de nématodes par m<sup>2</sup>
- ils présentent une grande diversité taxonomique et fonctionnelle (différents comportements alimentaires, des capacités à coloniser le milieu très variables) pouvant être synthétisée par l'identification des 70 familles majeures.
- ils jouent le rôle clé de micro-régulateurs dans la dynamique des éléments nutritifs dans le sol
- ils sont sensibles, de façon variable, aux conditions du milieu et aux perturbations physiques ou chimiques
- ils sont faciles à échantillonner et la méthode d'étude est normalisée (ISO 23611-4).

Les nématodes peuvent être distingués selon leur groupe trophique. Chacun de ces groupes trophiques peut renseigner sur une fonctionnalité du sol. Les six principaux groupes trophiques de nématodes trouvés dans le sol sont :

- les nématodes phytophages (obligatoires ou facultatifs) qui renseignent sur la nature et l'état de la couverture végétale et, éventuellement, le risque de perte de rendement ;
- les nématodes microbivores (bactériophages et fongivores) qui renseignent sur le compartiment



Couverture végétale (perte de ) Production primaire  
Dynamique de la MO, Recyclage des nutriments  
Perturbations physiques ou chimiques (pollutions)

- microbien, la dynamique de la matière organique et le recyclage des nutriments ;
- les nématodes de niveaux trophiques supérieurs (omnivores et carnivores) qui reflètent les perturbations physiques ou chimiques du milieu.

### III) Les méthodes d'étude et les sites étudiés

#### A- Les zones de prélèvement sur le site

Les sols ont été prélevés au printemps, le 21 mai 2012.

Les analyses de la nématofaune du sol ont été réalisées à partir d'échantillons de sol d'environ 300g. Chaque échantillon analysé a été obtenu à partir de 12 à 15 carottes élémentaires prélevées dans la strate de sol 0-10 cm à l'aide d'une tarière.

Une zone de prairie située en amont du site de la Papeterie a été intégrée à l'étude afin de servir de site témoin présentant les mêmes propriétés géologiques, pédologiques mais une contamination métallique moindre.

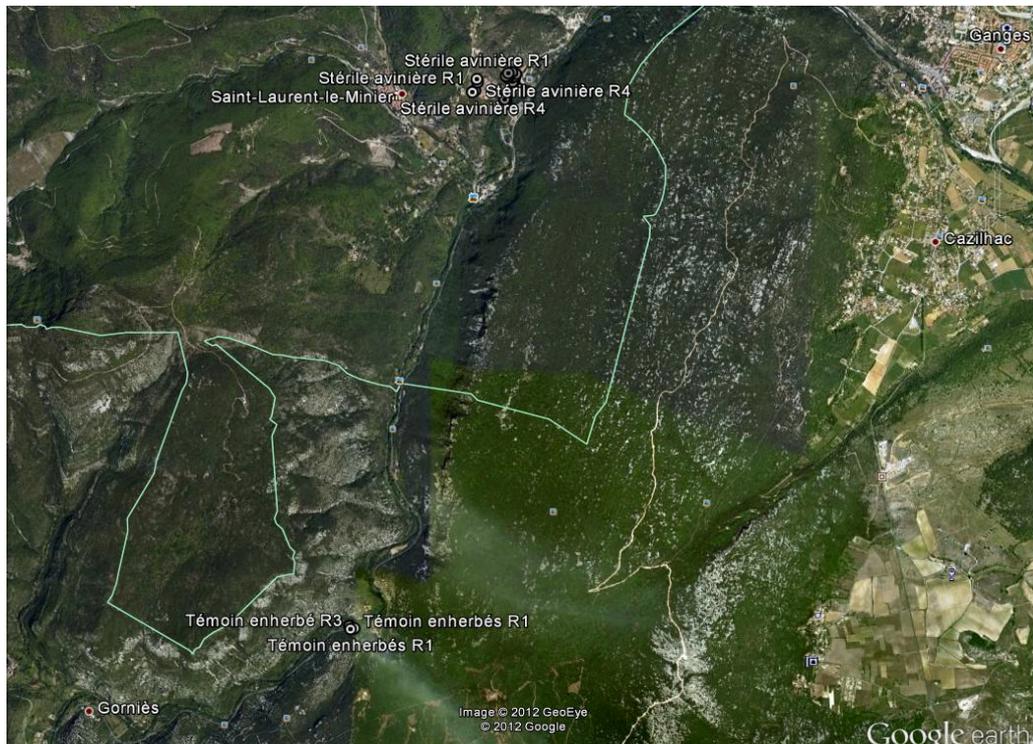


Figure 3: Localisation du site "témoin" par rapport au site d'étude

Un sein du site de Saint Laurent le Minier, différentes zones ont été caractérisées :

- Le stérile des avinières
- Les terrasses situées au dessus des bassins
- L'ancien jardin potager de Mr D.
- Un bassin de décantation des haldes
- Un essai de revégétalisation récent localisé dans un bassin de décantation
- Un essai de revégétalisation plus ancien mis en place en 2002 dans un bassin de décantation

Les différents points d'échantillonnage sont repérés sur la carte ci-dessous. Les points de prélèvement des échantillons de sol ont été géoréférencés ; leurs coordonnées sont indiquées dans le tableau 1.



**Figure 4: Localisation des points de prélèvement sur le site d'étude**

**Tableau 1: Coordonnées géographiques des différents points de prélèvements**

Sites	Répétition	Localisation	Altitude (m)
Témoin enherbé	R1	N43 53.823 E3 39.117	194
Témoin enherbé	R2	N43 53.836 E3 39.112	199
Témoin enherbé	R3	N43 53.826 E3 39.137	197
Terrasse	R1	N43 55.981 E3 39.942	176
Terrasse	R2	N43 55.970 E3 39.931	179
Terrasse	R3	N43 55.986 E3 39.960	174
Terrasse	R4	N43 55.965 E3 39.938	175
Bassin	R1	N43 55.971 E3 39.973	168
Bassin	R2	N43 55.974 E3 39.977	165
Bassin	R3	N43 55.981 E3 39.981	166
Jardin	R1	N43 55.889 E3 39.928	163
Jardin	R2	N43 55.882 E3 39.923	168
Jardin	R3	N43 55.878 E3 39.931	163
essai Legumineuse	R1	N43 55.951 E3 39.966	163
essai Legumineuse	R2	N43 55.951 E3 39.964	169
essai Legumineuse	R3	N43 55.950 E3 39.968	170
essai Revegetalisation	R1	N43 55.945 E3 39.971	168
essai Revegetalisation	R2	N43 55.946 E3 39.966	166
essai Revegetalisation	R3	N43 55.946 E3 39.963	167
Stérile avinière	R1	N43 55.948 E3 39.779	255
Stérile avinière	R2	N43 55.937 E3 39.783	240
Stérile avinière	R3	N43 55.905 E3 39.769	250
Stérile avinière	R4	N43 55.899 E3 39.756	256

## B- Caractéristiques des zones de prélèvement



### **Stérile des Avinières (= Stérile)**

Quatre échantillons de sol ont été prélevés sur le stérile situé au dessus du site de la Papeterie  
Le sol est gravillonneux, recouvert d'une végétation éparse, non continue.



### **Terrasses surplombant les bassins (= Terrasse)**

Quatre échantillons de sol ont été prélevés sur les terrasses qui sont situées au dessus des anciens bassins. Une végétation herbacée et arbustive par endroit recouvre entièrement le sol sur ces terrasses.



### **Jardin de Mr D. (= Jardin)**

Trois échantillons de sol ont été prélevés dans le jardin qui a servi de potager à Mr D. résidant dans la maison à proximité des bassins



### **Les bassins de décantation des haldes (= Bassin)**

Trois échantillons de sol ont été prélevés dans les bassins.  
Dans cette zone, la végétation est complètement absente.



#### **Essai récent de phytoremédiation avec des Légumineuses (= Légumineuse)**

Trois échantillons de sol ont été prélevés dans l'essai de revégétalisation mis en place en 2010 avec l'espèce *Anthyllis vulneraria* dans le bassin. Pour faciliter l'implantation des végétaux sur le site des bassins, un compost de cheval a été apporté avant le repiquage des jeunes pousses.



#### **Essai de revégétalisation (= Revégétalisé)**

Trois échantillons de sol ont été prélevés dans l'essai de revégétalisation mis en place en 2002 avec les 4 espèces dans le bassin.

4 espèces en mélange *Anthyllis vulneraria*, *Festuca arvernensis*, *Koeleria vallesiana* et *Armeria arenaria*.



#### **Prairie Témoin (Témoin)**

Trois échantillons de sol ont été prélevés dans une parcelle de prairie située le long de la Vis en amont de la zone d'étude.

Elle sert de zone témoin à laquelle seront comparés les échantillons prélevés sur le site de la papeterie.

### **C- Comment ont été réalisées les analyses ?**

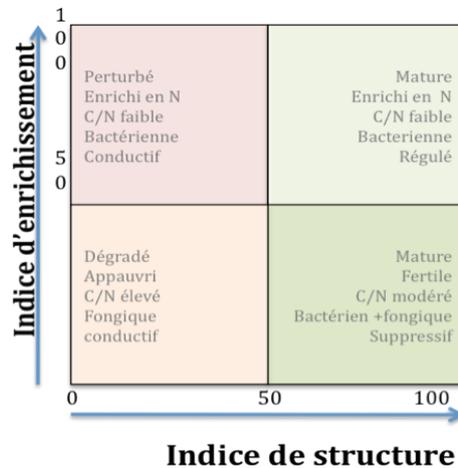
Les nématodes ont été extraits des échantillons de sol prélevés sur le terrain au printemps 2012 par élutriation de Oostenbrink suivie d'une étape de passage actif sur filtre de ouate (NF ISO 23611-4). Les nématodes ont ensuite été dénombrés et identifiés selon la norme ISO 23611-4. Ce travail a conduit à l'obtention d'un tableau d'abondances des différents taxons ; ces taxons ont été regroupés sur la base de leur appartenance aux différents groupes trophiques.

Sur la base de la composition et de l'abondance de la nématofaune du sol, des indices nématofauniques de fonctionnement du sol ont été calculés (voir détail en annexe):

- SI : indice de structure qui reflète la stabilité du milieu, plus il est élevé moins le milieu est perturbé. Il est fonction de l'abondance relative de plusieurs familles (les bactérivores, les fongivores, les omnivores et les prédateurs) ;

- EI : indice d'enrichissement qui donne une indication sur la dynamique des nutriments. Cet indice est particulièrement utile dans les agro-systèmes. L'EI augmente avec la disponibilité en nutriments.
- BI : indice basal. Plus le sol est dégradé et perturbé, plus le BI est élevé.

La représentation de EI en fonction de SI permet d'interpréter ces deux indices et de caractériser 4 grands types de fonctionnement biologique du sol en fonction des valeurs prises (figure ci-dessous)



**Figure 5: Diagnostic du micro-réseau trophique du sol**

De plus, des indices de diversité classiques ont été mesurés au niveau taxonomique d'identification des nématodes du morphotype juvénile (cad famille ou genre en fonction des taxons): richesse « spécifique », diversité « spécifique » (Indice de Shannon) et équitabilité\* (Indice de Piélu).

Calcul mathématique de ces indices de diversités :

Nombre de taxon S: S  
 Indice de Shannon  $H' = -\sum(P_i \log(P_i))$  (base e)  
 Indice de Piélu  $J' = H' / \log(S)$

## IV) Une activité biologique du sol très contrastée en fonction des zones d'étude

### A- Les abondances d'organismes du sol sont reliées au niveau de contamination mais également à l'occupation du sol

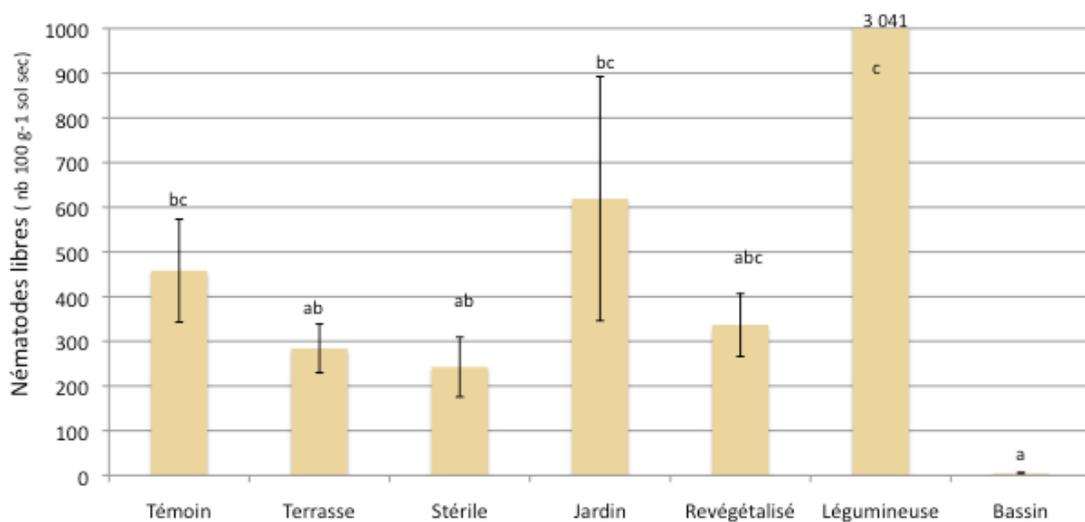
#### Abondance des nématodes libres

Le résultat le plus marquant est que les nématodes libres du sol sont quasiment absents dans le sol du Bassin : cette zone est biologiquement morte, sans vie (Figure 6).

\* L'équitabilité est une mesure de la diversité qui permet de caractériser la dominance ou l'équi-représentation des taxons au sein de la communauté. Par exemple si une communauté comprend  $K=3$  espèces différentes - nommons les a,b,c- pour  $N=5$  individus présents dans cette communauté. Alors on peut imaginer 6 répartitions d'abondance : (a,b,3c) ; (a,3b,c) ; (3a,b,c) ; (2a,2b,c) ; (a, 2b, 2c) et (2a,b,2c). Il paraît évident que la biodiversité est différente dans un schéma de distribution du type (1,1,3) que dans un cas (2,2,1). L'équitabilité est supérieure dans le second cas : ce qui signifie que « la diversité est mieux répartie ».

Les zones Témoin, Terrasse, Stérile, Revégétalisé contiennent des abondances de nématodes libres comprises entre 200 et 600 nématodes pour 100 g<sup>-1</sup> de sol sec. Ce sont des abondances moyennes (Témoin, Jardin), voir faible (Stérile et Terrasse).

La zone Légumineuse, quant à elle présente une abondance de nématodes libres (> 3 000 nématodes pour 100 g<sup>-1</sup> de sol sec) ; cette abondance n'est pas normale pour un sol. Elle est liée à une forte densité de nématodes fongivores (environ 1 800 pour 100 g<sup>-1</sup> de sol sec) et de nématodes bactériovores (environ 1 200 pour 100 g<sup>-1</sup> de sol sec). Cette importante pullulation des nématodes microbivores (= consommateurs de micro-organismes du sol) est très certainement liée à l'apport sur le site d'une matière organique exogène sous la forme de compost de crottin de cheval. En effet, les prélèvements de sol pour l'analyse de la nématofaune ont été réalisés dans la rhizosphère des plantes, zone où a été effectué l'apport de matière organique en 2010 pour faciliter la reprise des jeunes plantes. Cette matière organique est encore une source très importante de ressources pour les organismes du sol.



**Figure 6: Abondance des nématodes libres (bactériovores + fongivores + omnivores + prédateurs) dans le sol. Lorsque les barres sont surmontées de lettres différentes, les différences entre les modalités sont significatives<sup>▼</sup> (Test statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis et procédure de Dunn). Les barres d'erreur représentent les erreurs standard.**

#### Abondance des nématodes phytophages

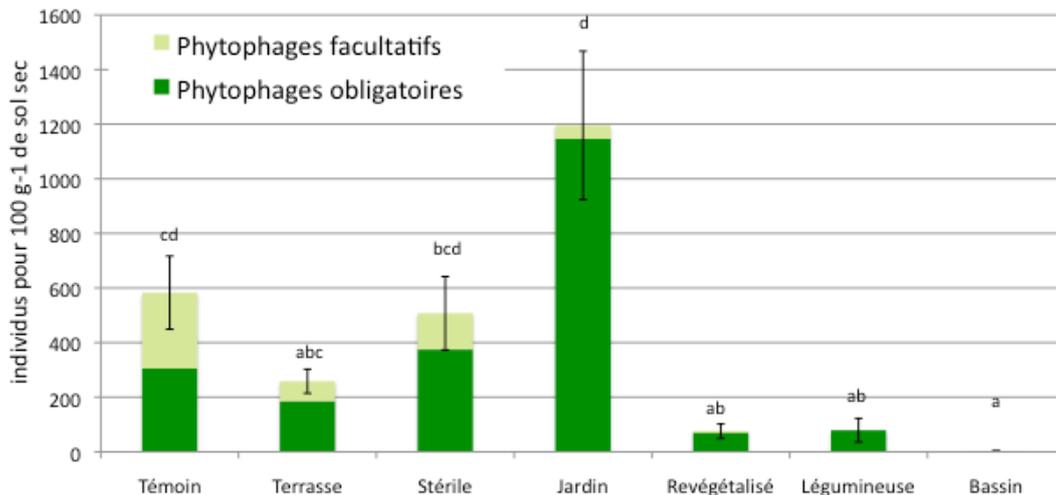
Ces nématodes qui se nourrissent sur les racines des végétaux sont quasiment absents du Bassin, ce qui est attendu compte tenu de l'absence de plantes. Toutefois, quelques très rares individus phytophages ont été observés dans cette zone. Il est probable qu'ils aient une origine exogène à la zone (contamination par le vent ou autre ; mais ces nématodes apportés ne se maintiennent pas et ne se multiplient pas dans les bassins).

Ces nématodes sont extrêmement peu abondants dans 3 situations : Revégétalisé et Légumineuse ainsi que Terrasse. Compte tenu du fait que les prélèvements sont réalisés dans la rhizosphère des essais de revégétalisation, on aurait pu penser que les nématodes phytophages seraient plus nombreux. Cette faible abondance tend à montrer la nocivité du sol pour ces organismes.

<sup>▼</sup> Cela signifie que dans cette figure les abondances des nématodes libres sont significativement plus faibles dans Bassin (barre surmontée de la lettre a) que dans Témoin (barre surmontée des lettres bc), le Jardin (barre surmontée des lettres bc) et Légumineuses (barre surmontée de la lettre c); par contre elles ne sont pas significativement différentes des abondances trouvées dans Terrasse (ab), Stérile (ab) et Revégétalisé (abc).

Les nématodes phytoparasites sont les plus abondants dans le Jardin ce qui est la conséquence de l'utilisation de cet espace pour la culture de légumes et autres plantes pendant de nombreuses années par Mr D.

L'abondance des nématodes phytophages facultatifs est la plus élevée dans la zone Témoin ; ces organismes sont en général abondants dans les milieux naturels peu perturbés.



**Figure 7: Abondance des nématodes phytophages dans le sol, répartis entre nématodes phytophages obligatoires (c'est à dire phytoparasites) et nématodes phytophages facultatifs. Lorsque les barres sont surmontées de lettres différentes, les différences entre les modalités sont significatives (Test statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis et procédure de Dunn). Les barres d'erreur représentent les erreurs standard de l'abondance totale des nématodes phytoparasites.**

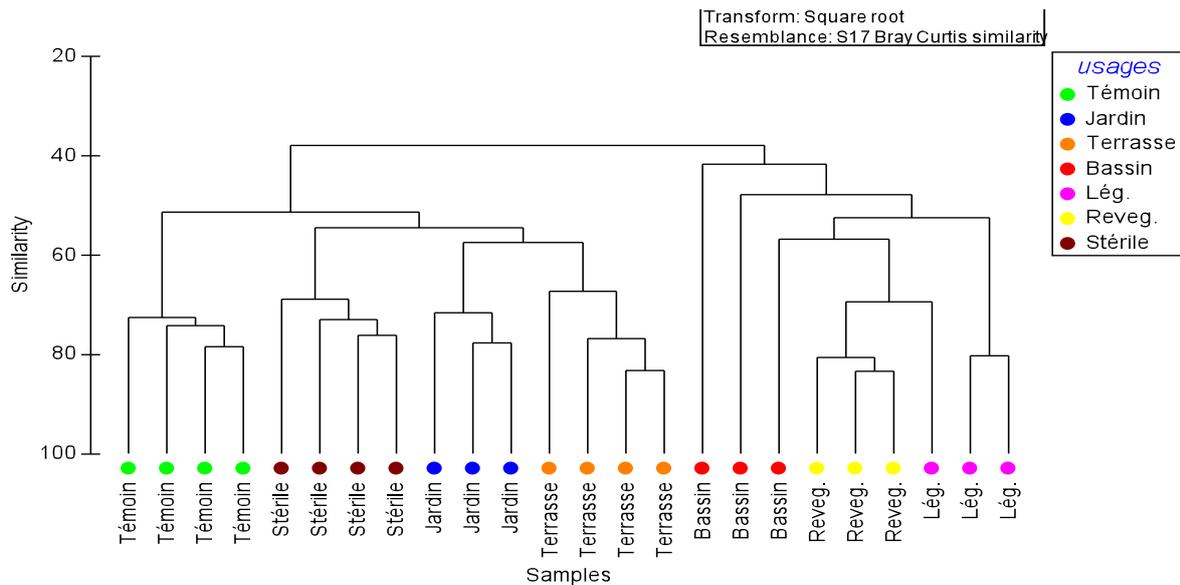
## B- La composition de la nématofaune discrimine les différentes zones du site

Les analyses statistiques multi-variées (analyse des clusters et analyse en composantes principales) réalisées sur les abondances des différents taxons de nématodes et pour l'ensemble des échantillons montrent d'une part, une très bonne répétabilité des mesures au sein d'une zone et, d'autre part, une claire séparation entre les modalités étudiées.

Deux groupes se séparent (1) les zones des bassins avec les trois modalités : Bassin, Légumineuse, Revégétalisé et (2) les zones hors bassin.

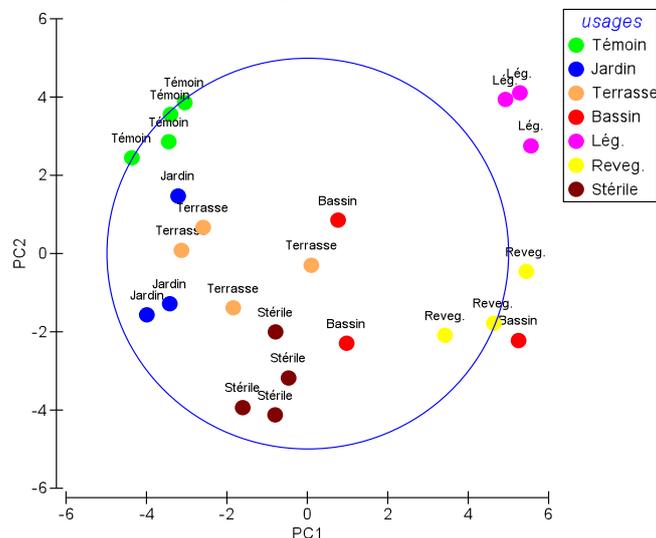
Au sein du groupe « hors bassins », les 4 modalités se séparent en deux groupes (1) la zone témoin qui se sépare de (2) les zones sur le site de St Laurent le Minier : Stérile, Terrasse, Jardin.

Remarque : Il est à noter que le groupe le moins « homogène » concerne la zone Bassin ; cela s'explique par le fait que les nématodes étant extrêmement peu abondants dans ces échantillons une moindre modification de composition conduit à des communautés très différentes entre échantillons



**Figure 8: Analyse des clusters réalisée à partir des abondances des différents taxons identifiés dans les échantillons. Chaque point représente un échantillon analysé.**

L'analyse en composante principale (ACP) est une autre analyse statistique multi-variée qui permet de prendre en compte l'abondance de l'ensemble des taxons présents dans une seule analyse, tout comme l'analyse des clusters. Elle montre que les différentes répétitions des modalités étudiées sont assez similaires (à l'exception une fois encore de Bassin) car elles se regroupent dans une même partie du plan. L'ACP sépare sur l'axe 1, qui explique 33% de la variance des données, les zones « dans les bassins » (valeurs positives sur l'axe 1) des zones « hors des bassins » (valeurs négatives sur l'axe 1). L'axe 2 explique 18% de la variance des données.



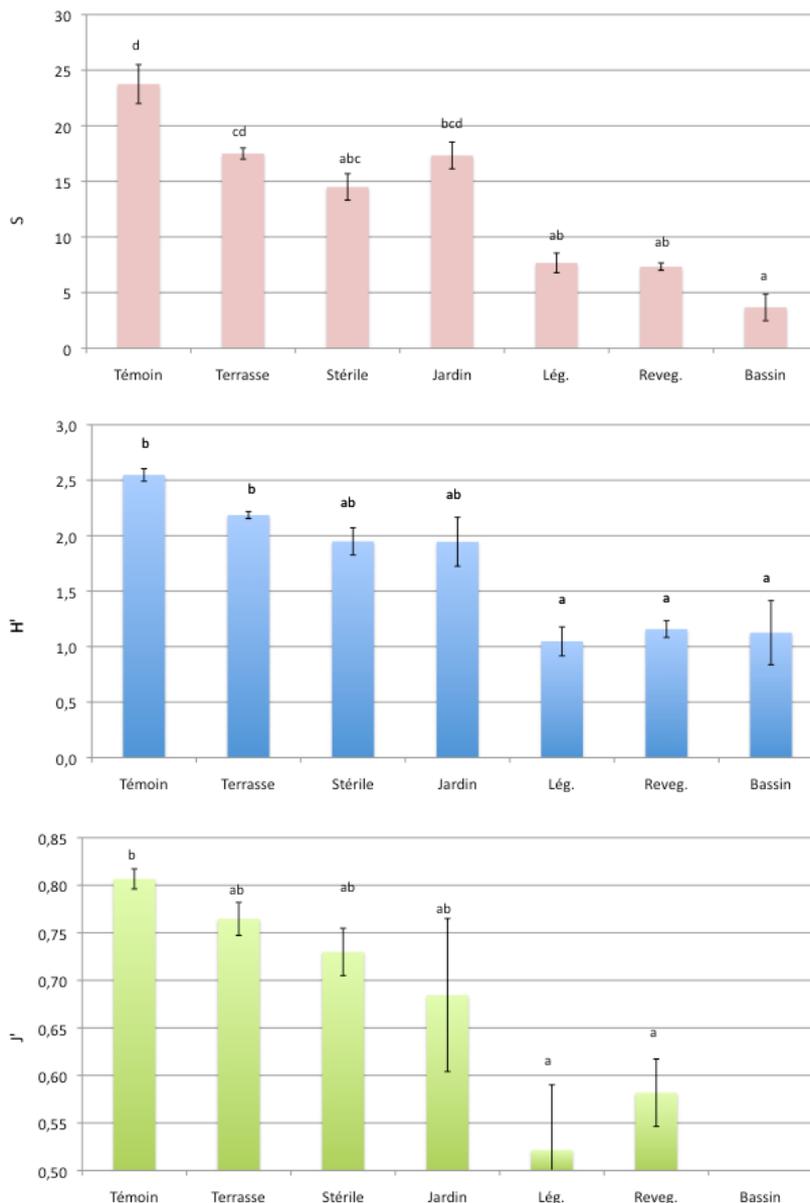
**Figure 9: Analyse en composante principale (ou ACP) réalisée à partir des abondances des différents taxons identifiés dans les échantillons. Chaque point représente un échantillon analysé. Plus les points sont éloignés, plus les communautés sont différentes.**

### C- Les communautés présentent une diversité taxonomique très différente selon les zones étudiées

Les indices de diversité ont été calculés sur les morphotypes de nématodes présents dans les différents échantillons (voir liste en annexe) : la richesse (S), la diversité taxonomique (H') et l'équitabilité.

La diversité est la plus élevée dans la zone témoin (Figure 10a et 10b). Elle est intermédiaire dans les zones : Terrasse, Stérile, Jardin. Elle est très faible dans les zones des bassins : Légumineuse, Revégétalisé, Bassin.

L'équitabilité (J') est particulièrement faible dans les zones Revégétalisé et Légumineuse (Figure 10c), indiquant la dominance de quelques taxons au sein de la communauté. L'équitabilité dans la zone Bassin n'est pas représentée. La valeur calculée est très élevée (0,95) ; cette valeur n'a toutefois pas de sens, elle s'explique par le fait que les très rares nématodes présents appartenaient à des taxons différents.



S: Nombre de taxons de nématodes identifiés dans la zone

H': Indice de diversité de Shannon

$H' = - \sum P_i \times \ln P_i$   
où  $P_i$  est la proportion du taxon i

J': Indice d'équitabilité de Piélu

$J' = H' / \ln S$

S : nombre de taxons  
H' : indice de Shannon

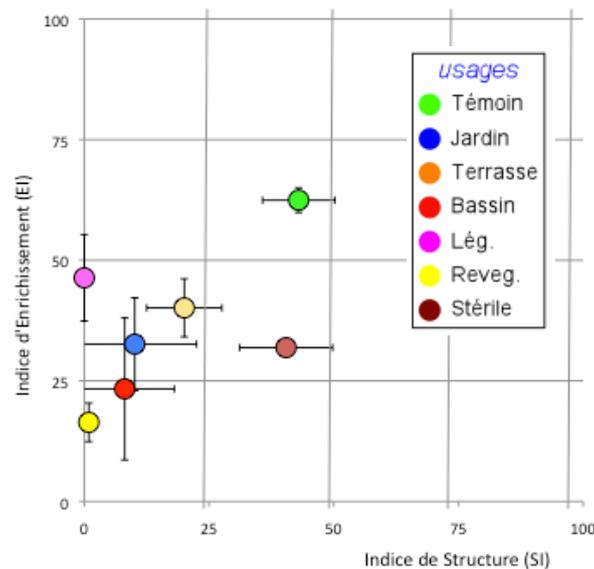
**Figure 10: Indices de diversité calculés dans les différentes zones d'étude. Lorsque les barres sont surmontées de lettres différentes, les différences entre les modalités sont significatives (Test statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis et procédure de Dunn). Les barres d'erreur représentent les erreurs standard.**

## D- La diversité fonctionnelle reflète le degré de contamination tout comme la diversité taxonomique

Seule la zone Témoin se trouve en dehors du cadreat qui caractérise les sols appauvris ou dégradés (caractérisés par  $SI < 25$  et  $EI < 25$ ). Les sols de la zone d'étude sont donc tous dégradés.

Qui plus est, les trois modalités dans la zone des bassins présentent un indice de structure  $SI$  extrêmement faible ( $< 10$ ) ce qui caractérise une chaîne trophique extrêmement simplifiée et courte. On note que le Jardin a également un  $SI$  très faible ( $SI=10$ ).

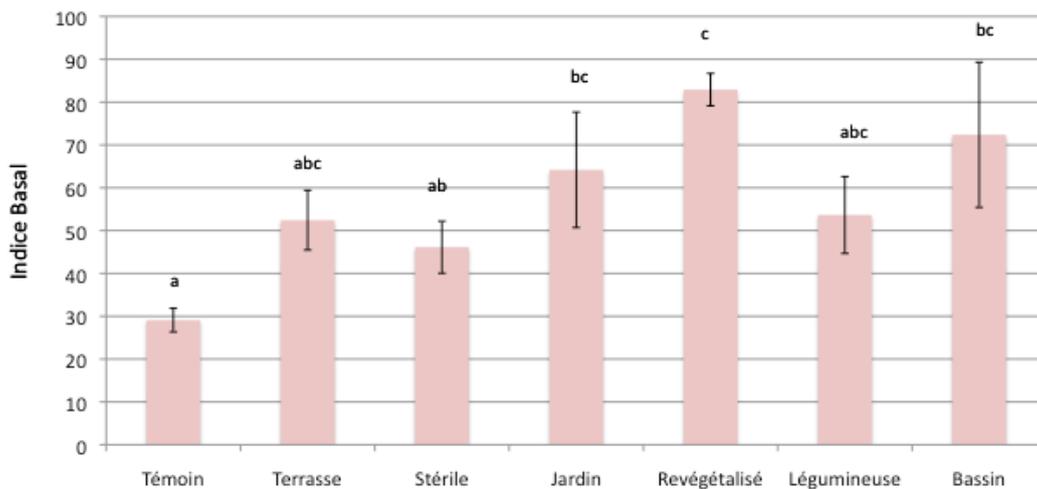
Le stérile est la zone du site de St Laurent le Minier qui présente l'indice de structure le plus élevé ( $SI=40$ ). Cette valeur place cette zone à une qualité biologique du sol supérieure à celle des terrasses ce qui est un résultat qui n'était pas évident *a priori*.



**Figure 11: Diagnostic du réseau trophique du sol par deux indices nématofauniques EI (Indice d'Enrichissement) représenté en fonction de SI (Indice de Structure). Les barres d'erreur représentent les erreurs standard.**

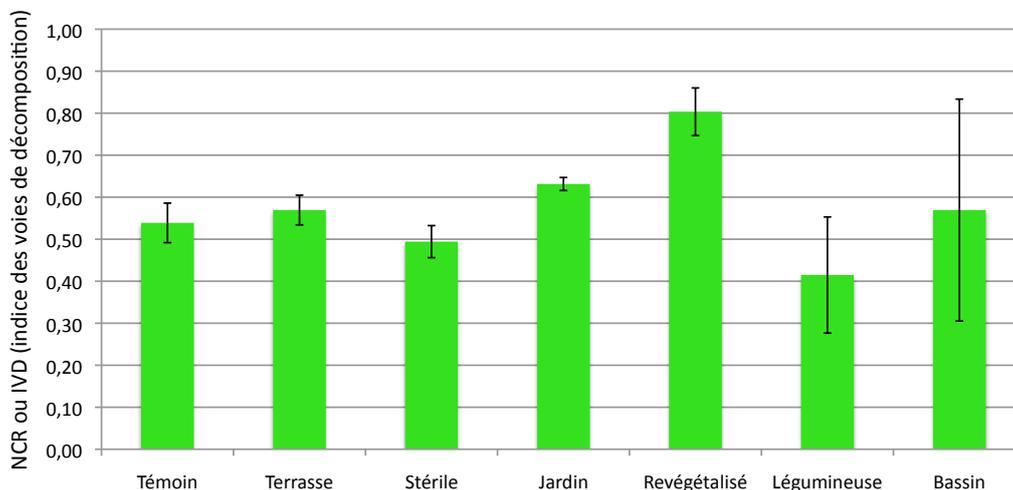
L'indice basal est un indice peu utilisé car rarement discriminant dans les études. Toutefois sur le site de St Laurent, son analyse permet un apport intéressant. Cet indice se calcule en prenant en compte l'abondance relative des taxons de nématodes caractéristiques de conditions de base (voir dégradées) par rapport à l'abondance relative des autres taxons. Les taxons de base sont les taxons qui sont capables de survivre dans des conditions de ressources défavorables et dans des conditions perturbées.

La figure 12 illustre que l'indice basal (BI) augmente du Témoin aux zones de St Laurent « hors bassins » jusqu'à la zone de St Laurent dans les bassins. Il a dans les zones Jardin, Revégétalisé et Bassin une valeur très élevée ( $BI > 60$ ) rarement observée dans des sols fonctionnant normalement.



**Figure 12: BI: Indice Basal calculé dans les différentes zones d'étude. Lorsque les barres sont surmontées de lettres différentes, les différences entre les modalités sont significatives (Test statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis et procédure de Dunn). Les barres d'erreur représentent les erreurs standard.**

Un autre indice est couramment utilisé. Le NCR (Nematode Channel Ratio) est un moyen d'exprimer les voies dominantes de décomposition de la matière organique. Quand les nématodes bactériovores sont les plus abondants microbivores, le ratio tend vers 1 : la voie de décomposition bactérienne domine. Quand les nématodes fongivores sont les plus abondants microbivores, le ratio tend vers 0 : la voie de décomposition fongique domine.



**Figure 13: Nematode Channel Ratio (ou NCR). Aucune différence significative n'est mise en évidence pour ce paramètre entre les modalités (Test statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis et procédure de Dunn). Les barres d'erreur représentent les erreurs standard.**

Si on observe des variations du NCR entre les modalités sur le site d'étude (figure 13), la variabilité entre les répétitions ne permet pas de mettre en évidence des différences significatives entre les

modalités. On notera cependant que le NCR est le plus faible dans Légumineuse, ce qui tend à signifier que ce sont les nématodes fongivores qui se réinstallent en premier dans la rhizosphère d'*Anthyllis vulneraria*. Toutefois, dans Revégétalisé, c'est au contraire la voie de décomposition bactérienne qui domine. Ce qui montre une modification des groupes fonctionnels de nématodes présents au cours du temps dans l'essai de revégétalisation, et donc une évolution de la qualité de la matière organique présente : sans doute évolution de 100 % de matière organique d'origine animale (= compost de cheval) à une matière organique avec un pourcentage plus important d'origine végétal (décomposition des racines et des parties aériennes des végétaux qui se sont implantés).

### Conclusions:

- ✓ L'analyse de la nématofaune du sol a permis de caractériser des différences d'états biologiques du sol dans différentes zones du site d'étude de St Laurent le Minier.
- ✓ L'état et le fonctionnement biologique du sol sont moins bons dans toutes les zones étudiées sur la commune de St Laurent en comparaison avec la zone témoin.
- ✓ Les 6 situations étudiées sur le site de St Laurent se différencient clairement en deux groupes:
  - les zones dans les bassins (bassin nu et essais de phytoremédiation) ayant une diversité et parfois une activité biologique extrêmement faible,
  - les zones hors des bassins (stérile, terrasses et jardin potager) où les sols sont plus fonctionnels.
- ✓ Les sols des bassins de décantation sont quasiment dénués de vie, sauf lorsqu'ils sont revégétalisés.
- ✓ La revégétalisation associée à un apport de matière organique exogène permet l'installation d'une communauté d'organismes parfois très abondante mais toujours très peu diversifiée et caractérisée par des organismes capables de résister dans des conditions défavorables.
- ✓ Le jardin potager de Mr D. présente simultanément des caractéristiques de milieu cultivé et de milieu très perturbé (ou dégradé).
- ✓ Le sol du stérile des Avinières abrite une communauté d'organismes du sol plus complexe et plus diversifiée que le sol prélevé dans le jardin potager et que le sol des terrasses localisées au dessus des bassins de décantation.

## Annexe 1

Abondance des principaux groupes de nématodes (individus pour 100 g-1 sol sec) en fonction des zones étudiées

	Total	Phytophages	Phytoparasites	Phytophages facultatifs	Nématodes libres
Témoin	1041 BC	583 CD	305 BC	278 C	458 BC
Terrasse	542 AB	258 ABC	185 BC	73 ABC	284 AB
Stérile	751 ABC	507 BCD	374 BC	133 BC	243 AB
Jardin	1815 C	1196 D	1146 C	50 ABC	619 BC
Légumineuse	3119 C	79 AB	79 AB	0 A	3041 C
Revégétalisé	412 AB	76 AB	73 AB	3 AB	337 ABC
Bassin	7 A	3 A	3 A	0 A	5 A

*Dans une colonne, lorsque les chiffres sont suivis de lettres différentes, les différences entre les modalités sont significatives (Test statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis et procédure de Dunn).*

Abondance des principaux groupes de nématodes libres (individus pour 100 g-1 sol sec) en fonction des zones étudiées

	Bactérovores	Bactérovores opportunistes	Autres bactérovores	Fongivores	Omnivores et prédateurs
Témoin	229 BC	89 C	140 AB	205 BC	24 B
Terrasse	157 AB	16 ABC	141 AB	121 AB	7 AB
Stérile	107 AB	2 AB	105 AB	109 AB	27 B
Jardin	396 BC	20 BC	375 BC	223 BC	0 A
Légumineuse	1191 C	230 C	961 C	1849 C	0 A
Revégétalisé	266 BC	2 AB	264 BC	69 AB	1 A
Bassin	2 A	0 A	2 A	2 A	0 A

*Dans une colonne, lorsque les chiffres sont suivis de lettres différentes, les différences entre les modalités sont significatives (Test statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis et procédure de Dunn).*

Indices de diversité en fonction des zones étudiées

	S	H'	J'
Témoin	24 D	2,55 B	0,81 BC
Terrasse	18 CD	2,19 B	0,76 ABC
Stérile	15 ABC	1,95 AB	0,73 AB
Jardin	17 BCD	1,95 AB	0,68 AB
Légumineuse	8 ABC	1,05 A	0,52 A
Revégétalisé	7 AB	1,16 A	0,58 A
Bassin	4 A	1,13 A	0,95 C

*Dans une colonne, lorsque les chiffres sont suivis de lettres différentes, les différences entre les modalités sont significatives (Test statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis et procédure de Dunn).*

Indices Nématofaunique de fonctionnement du sol en fonction des zones étudiées

	EI	SI	BI	NCR
Témoin	62 C	43 C	29 A	0,54
Terrasse	40 BC	20 ABC	52 ABC	0,57
Stérile	32 AB	40 BC	46 AB	0,49
Jardin	33 AB	10 AB	64 BC	0,63
Légumineuse	46 BC	0 A	54 ABC	0,41
Revégétalisé	16 A	1 A	83 C	0,80
Bassin	23 AB	8 A	72 BC	0,57

*Dans une colonne, lorsque les chiffres sont suivis de lettres différentes, les différences entre les modalités sont significatives (Test statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis et procédure de Dunn).*

## Annexe 2

**Tableau : Les différents indices nématofauniques**

Indices nématofauniques	Gamme de variation et interprétation
Indice d'Enrichissement (EI)	La valeur de EI augmente avec la disponibilité des ressources, elle est comprise entre 0 et 100.
Indice de Structure (SI)	La valeur de SI augmente avec la stabilité environnementale, elle est comprise entre 0 et 100.
Indice Basal (BI)	La valeur de BI augmente lorsque les conditions du milieu sont appauvries et dégradées, elle est comprise entre 0 et 100.
Nematode Channel Ratio ou Indice des Voies de Décomposition (NCR ou IVD)	NCR varie de 0 à 1. Le NCR est un moyen d'exprimer les voies dominantes de décomposition de la matière organique. Quand les nématodes bactériovores sont les plus abondants microbivores, le ratio tend vers 1 : la voie de décomposition bactérienne domine. Quand les nématodes fongivores sont les plus abondants microbivores, le ratio tend vers 0 : la voie de décomposition fongique domine.