HAL
open science

Évaluation des effets des modes d'exploitation et de la fertilisation sur les quatre catégories de lombrics au sein d'un système polyculture-élevage

Marie Vauthier

To cite this version:

Marie Vauthier. Évaluation des effets des modes d'exploitation et de la fertilisation sur les quatre catégories de lombrics au sein d'un système polyculture-élevage. Sciences de l'environnement. 2012. hal-01868965

HAL Id: hal-01868965

https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01868965

Submitted on 6 Sep 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

2011-2012

MASTER FAGE

Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement

SPECIALITE

Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes

Evaluation des effets des modes d'exploitation et de la fertilisation sur les quatre catégories de lombrics au sein d'un système polyculture-élevage

MARIE VAUTHIER

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 4 septembre 2012

Maître de stage : Vincent MANNEVILLE, Chef de projet au sein du service Bâtiment / Environnement de l'Institut de l'Elevage

Tuteur universitaire : Bernard AMIAUD, Maître de conférences, UMR Nancy-Université - INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar

Stage réalisé à l'Institut de l'Elevage, 9 allée Pierre de Fermat, 63170 Aubière

REMERCIEMENTS

Je souhaite tout d'abord remercier Vincent Manneville, mon maître de stage, pour son encadrement et ses conseils constructifs. Je le remercie également pour les nombreuses connaissances qu'il a pu m'apporter en agronomie.

Je tiens également à remercier Marion Ferrand du service Biométrie de l'institut de l'Elevage à Paris pour son aide précieuse et sa patience pour l'utilisation des programmes sous les logiciels de statistiques et l'interprétation des résultats.

Un grand merci à Florence Renaud, ma coéquipière et stagiaire à l'Institut de l'Elevage pour son aide durant les prélèvements sur le terrain, sa bonne humeur et la bonne ambiance.

Merci à l'université de Rennes 1, pour le service d'accès aux données Météo France ainsi qu'à Météo France pour la transmission des données.

J'adresse également mes remerciements aux agriculteurs qui nous ont reçus sur leur exploitation. Je les remercie pour leur accueil chaleureux ainsi que pour leur disponibilité.

Je remercie toute l'Equipe de l'Institut de l'Elevage d'Aubière pour leur accueil et leur disponibilité ainsi que pour leur bonne humeur. Je remercie également Lucie Vial, stagiaire, pour ses précieux conseils et les connaissances qu'elle m'a apportée du monde agricole.

Enfin je tiens à remercier ma famille, mes amis ainsi que toutes les personnes qui m'ont soutenue durant mes études. Je pense particulièrement à mes camarades de la promotion « FAGE » sans qui ce mémoire n'aurait pas eu lieu.

SOMMAIRE

INTRODUCTION **1**

I. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE **2**

1. Contexte : La biodiversité et les engagements mondiaux et européens 2
2. L'agriculture et la biodiversité 3
3. Les prairies permanentes 3
4. Les Indicateurs 4
5. Le projet IndiBio 4
   - 5.1 Les lombrics 5
     - 5.1.1 Indicateurs et groupes écologiques 5
     - 5.1.2 Rôles et fonctions des catégories écologiques 5
     - 5.1.3 Sensibilité des vers au climat et aux pratiques agricoles 6
   - 5.2 Objectifs du stage et problématique 7

II. METHODE ET MATERIEL **8**

1. Protocole d'échantillonnage 8
   - 1.1 Une première clé de détermination construite sur une approche nationale ... 8
   - 1.2 Une seconde clé de détermination construite sur une approche locale 8
   - 1.3 Sélection des exploitations : système laitier ou allaitant 8
   - 1.4 Selection des parcelles 9
2. Questionnaire relatif aux pratiques agricoles 10
3. Prélèvement des lombrics 10
   - 3.1 Protocole de prélèvement 10
   - 3.2 Protocole simplifié par l'OPVT 11
     - 3.2.1 Relevés météorologiques et caractéristiques du milieu 11
     - 3.2.2 Délimitation et pose des quadras 11
     - 3.2.3 Prélèvement des lombrics 11
     - 3.2.4 Dénombrement des lombrics 11
4. Variables et outils supplémentaires utilisés pour répondre aux hypothèses 12
   - 4.1 L'azote contenu dans la matière organique 12
   - 4.2 Les variables climatiques 12
   - 4.3 L'indice de Shannon 12
   - 4.4 L'indice de Pielou 12
5. Traitement des données 13
   - 5.1 Traitements statistiques des catégories écologiques 13
   - 5.2 Traitements statistiques des indices de Shannon et Pielou 13

III. RESULTATS 14

1. Préalable à l'étude des résultats 14
   1.1 Reconsidération de la typologie d'origine 14
   1.2 Analyses descriptives 15
   1.3 Analyses statistiques limitées 15
2. Variables « environnementales » à prendre en compte 15
   2.1 Les conditions météorologiques durant le prélèvement 15
   2.2 Le milieu (environnement proche de la zone de prélèvement) 16
   2.3 La zone climatique (océanique, semi-continentale et montagnarde) 17
3. Effets des modes d'exploitation et de la fertilisation sur chaque catégorie de lombrics 18
   3.1 Analyse des gradients de fertilisation 18
   3.2 Les Epigées 19
      3.2.1 Effets des modes d'exploitation 19
      3.2.2 Effets de la fertilisation 19
   3.3 Les Anéciques tête rouge 20
      3.3.1 Effets des modes d'exploitation 20
      3.3.2 Effets de la fertilisation 20
   3.4 Les Anéciques tête noire 20
      3.4.1 Effets des modes de gestion 20
      3.4.2 Effets de la fertilisation 21
   3.5 Les Endogés 21
      3.5.1 Effets des modes de gestion 21
      3.5.2 Effets de la fertilisation 21
   3.6 Répartition des quatre catégories de lombrics 22
      3.6.1 Effets des modes de gestion 22
      3.6.2 Effets de la fertilisation 22

IV. DISCUSSION, LIMITES RENCONTREES ET PERSPECTIVES 23

1. Validation et limites des hypothèses émises et discussion des résultats 23
2. Limites de l'étude 24
3. Perspectives de travail 24

CONCLUSION 25

Bibliographie 26

Liste des Annexes

Liste des abréviations et des sigles

Abréviations :

ACP : Analyse en Composantes Principales
APCA : Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture
CDB : Convention sur la Diversité Biologique
FAO: Food and Agriculture Organization
GPS: Global Positioning System
INRA : Institut National de Recherche Agronomique
JPP : Jours de Présence au Pâturage
MM : Matière Minérale
MO: Matière Organique
NF : Non Fertilisé
OPVT : Observatoire Participatif des Vers de Terre
SAS: Statistical Analysis System
UGB : Unité Gros Bétail
ZSC: Zones Spéciales de Conservation

Symboles chimiques :

K : Potassium
N : Azote
P : Phosphore

Unités :

g : gramme
ha : hectare
kg : kilogramme
m² : mettre carré

Table des Figures et des Tableaux

Figures

Figure 1 : Evolution des surfaces fourragères 3
Figure 2 : Facteurs de contrôle de la biodiversité dans les prairies 4
Figure 3 : Taxons sélectionnés 4
Figure 5 : Distribution des catégories écologiques en fonction du gradient latitudinal 6
Figure 4 : Positionnement dans le profil de sol des quatre catégories de lombrics 6
Figure 6: Localisation des trois régions 8
Figure 7: Echantillonnage de la région à l'exploitation 8
Figure 8: Matrice de sélection des prairies permanentes 9
Figure 9 : Typologie réalisée en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation apportée 14
Figure 10: Concentration des différents types d'azote en système pâturé et mixte 18
Figure 11: Abondance moyenne des Epigés en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation 19
Figure 12 : Abondance moyenne des Anéciques tête rouge en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation 20
Figure 13 : Abondance moyenne des Anéciques tête noire en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation 20
Figure 14 : Abondance moyenne des Endogés en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation 21
Figure 15 : Indice de Shannon en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation 22

Tableaux

Tableau 1 : Le mode d'exploitation (Source : Aline Chanseaume, 2010) 9
Tableau 2 : La fertilisation 9
Tableau 3 : Effets des conditions météorologiques sur les quatre catégories écologiques 16
Tableau 4 : Effets du milieu sur les quatre catégories écologiques 16
Tableau 5: Effet de la zone géographique sur les quatre catégories écologiques 17

INTRODUCTION

La prise en compte des problématiques liées à la biodiversité est devenue l'un des enjeux majeur depuis la signature de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) en 1992 lors du sommet de la Terre à Rio. La CDB compte à ce jour 193 États Parties.
En 2006, le rapport « Livestock's long shadow » rédigé par la FAO affirme que l'élevage a sa part de responsabilité dans les problématiques environnementales les plus pressantes, à savoir le réchauffement de la planète, la dégradation des terres, la pollution de l'atmosphère et des eaux, et la perte de biodiversité. Paradoxalement, les systèmes de polyculture-élevage présentent des externalités positives qu'il semble important de valoriser, telles que les prairies permanentes, réserves de biodiversité.

Dans ce contexte, la France met en place plusieurs plans d'actions. Les objectifs de l'un d'eux est d'identifier des indicateurs relatifs aux pratiques agricoles afin d'y évaluer leur pression sur la biodiversité « ordinaire ».
Cependant, la majorité des études sont réalisées sur des exploitations expérimentales. La lourdeur et le coût des méthodes d'évaluation de la biodiversité limitent le nombre de répétitions et donc la transparence des études. Ainsi, il semble important de réaliser une approche globale de la biodiversité en système de polyculture-élevage.
La prise en compte de ces problématiques justifie la mise en place du projet INDIBIO par l'Institut de l'Elevage dont l'objectif est d'identifier des indicateurs relatifs aux pratiques agronomiques afin d'évaluer la biodiversité dans les systèmes de polyculture-élevage sur le plan national. De part sa densité et sa sensibilité aux pratiques agricoles, le lombric est l'un des indicateurs retenus dans le cadre d'INDIBIO.

La mission de mon stage s'inscrit dans ce projet dont l'objectif est d'utiliser et consolider la méthode retenue par l'Institut de l'Elevage (Mémoire d'Aline Chanseaume, 2010) et de répondre à la problématique principale : «Quels sont les effets des pratiques agricoles sur les quatre catégories de lombrics en système d'élevage bovins conduits en prairies permanentes ?».

Le stage se déroule à l'Institut de l'Elevage dans le département Technique d'élevage et qualité des produits, au sein du service « Bâtiment et Environnement ». Il s'agit d'un organisme de recherche appliquée et de développement au service de l'élevage et des filières herbivores. Ses démarches ont pour objectif d' améliorer la compétitivité des exploitations et les conditions d'exercice du métier d'éleveur, d'adapter la production et les systèmes d'élevage aux attentes de la société et de répondre aux demandes des filières sur la transformation des produits et les démarches qualité du producteur au consommateur.

La première partie de ce mémoire présente le contexte environnemental, les liens entre l'agriculture et la biodiversité et pour compléter, les connaissances relatives à quatre catégories écologiques de lombrics. Les recherches effectuée dans cette partie ont permis d'émettre trois hypothèses qui seront détaillées et validées dans les chapitres suivants.
La seconde partie présente la méthodologie utilisée pour sélectionner les parcelles à prospecter, le protocole de prélèvement ainsi que les variables retenues pour le traitement des résultats. La troisième partie expose les résultats issus du traitement statistique. Enfin la quatrième partie discute les résultats, détaille les limites rencontrées et propose les perspectives d'avenir à cette étude.

I. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Contexte : La biodiversité et les engagements mondiaux et européens

La Convention sur la Diversité Biologique (CDB) définit la biodiversité comme étant la "*variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie;* ***cela comprend la diversité au sein des espèces, et entre les espèces et ainsi que celle des écosystèmes***".

Toute cette diversité biologique répond à des besoins humains d'un point de vue économique et social, présent et futur. En effet, elle se montre indispensable à l'amélioration et à l'augmentation des productions agricoles ainsi que pour maintenir les processus d'évolution des êtres vivants (Expertise scientifique collective, 2008).
Cependant la demande croissante en matière de nourriture, d'eau douce, de bois de construction, de fibre et d'énergie depuis ces cinquante dernières années a conduit à l'accélération de son déclin (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).
Dans ce contexte, des initiatives et des actions voient le jour, en France et à l'étranger pour tenter d'enrayer cette tendance.

En 1992, La Convention sur la Diversité Biologique (CDB) signée par 168 pays lors du sommet de la Terre à Rio définit trois objectifs (Ministère de l'écologie et du développement durable, 2011):

- la conservation de la diversité biologique,
- l'utilisation durable de ses éléments,
- le partage juste et équitable des avantages déroulant de l'exploitation des ressources génétiques

Adoptée en 1992, la directive Habitat, constitue la principale participation de l'Union Européenne à la Convention sur la Diversité Biologique. Elle vise à protéger des espaces naturels ainsi que la faune et la flore sauvages, dans le respect des exigences économiques, sociales et culturelles. Elle donne pour objectif aux Etats membres, la constitution d'un « réseau écologique européen cohérent de Zones Spéciales de Conservation (ZSC), dénommé Natura 2000 ». Cette directive a été adoptée en France en 1996.
En 2004, la France adopte également, la Stratégie Nationale pour la Biodiversité et met en œuvre des actions afin « *d'assurer la conservation et le bon fonctionnement des habitats naturels, des espèces sauvages et la diversité génétique des espèces* ».

En janvier 2010, le conseil européen définit un objectif principal : « Eradiquer la perte de biodiversité à l'horizon 2020, assurer son rétablissement lorsque c'est possible, et surtout renforcer la contribution de l'UE à l'effort mondial » (APCA, 2010).

Le rapport Chevassus-au-Louis (2009) distingue deux types de biodiversité :

- **La biodiversité remarquable** « correspondant à des entités (gènes, espèces, habitats, paysages) que la société a identifiées comme ayant une valeur intrinsèque et fondée principalement sur d'autres valeurs qu'économiques » ;

- **La biodiversité ordinaire**, « n'ayant pas de valeur intrinsèque identifiée comme telle mais qui, par l'abondance et les multiples interactions entre ses entités, contribue à des degrés divers au fonctionnement des écosystèmes et à la production des services qu'y trouvent nos sociétés».

2. L'agriculture et la biodiversité

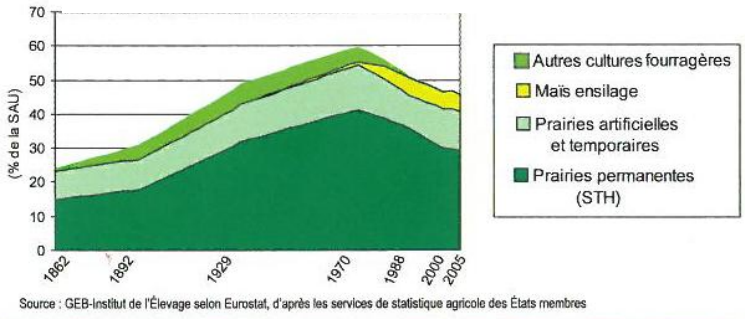
La généralisation du concept de la biodiversité de l'écologie à l'agronomie n'est pas évidente. En effet, un écosystème naturel terrestre comprend généralement plus de 10 à 20 espèces végétales, alors que les systèmes de cultures associées et l'agroforesterie comprennent le plus souvent deux espèces associées, rarement plus de cinq. (INRA, 2005)

Etudier les relations agriculture-biodiversité est un enjeu majeur qui permet de mieux orienter les réformes de la Politique Agricole Commune. En effet les décisions de la PAC modulent fortement le paysage conduisant à des conséquences sur la biodiversité sur le plan européen (Expertise scientifique collective, 2008).

Les préoccupations actuelles concernant l'extinction des espèces ont principalement mis l'accent sur la transformation et la destruction des habitats dû à l'évolution des modes d'exploitation en agriculture et à l'urbanisation. Cependant, les paysages façonnés par l'homme montrent une diversité spécifique comparable à celle de nombreux écosystèmes naturels, dont en particulier, de nombreuses espèces en déclin (Expertise scientifique collective, 2008). Dans ce contexte, il semble important d'intégrer les espaces naturels ainsi que les milieux gérés par l'homme.

En France, les surfaces fourragères ont perdu quatre millions d'hectares en quarante ans en faveur des cultures et des forets. En 2007, la superficie occupée par l'agriculture était de 25 millions d'hectares soit 38% du territoire métropolitain (Agreste, 2007). La perte de superficie a été compensée par une augmentation de la production. En effet, depuis 1945, les rendements des céréales et des prairies temporaires ont doublé (Expertise scientifique collective, 2008).

Figure 1 : Evolution des surfaces fourragères



3. Les prairies permanentes

Représentant 70% de l'alimentation des herbivores (J. Devin, non publié, 2011), et 30% de la Surface Agricole Utile française, les huit millions d'hectares de prairies permanentes présentent également de nombreux services notamment pour la qualité de l'eau, la protection contre l'érosion et les inondations, le stockage du carbone, le maintien de la biodiversité en offrant un habitat pour la faune et la flore,... . Les pratiques agro-pastorales qui y sont développées depuis de nombreuses années, façonnent le paysage et sélectionnent progressivement certaines espèces. (Institut de l'Elevage, 2007).

Le positionnement de ces prairies et le pourcentage de leur surface sur une matrice paysagère permettent de maintenir une richesse spécifique élevée (Gibon, 2005). En effet, l'Institut de l'Elevage a recensé jusqu'à 80 espèces fourragères sur ces prairies. Les mammifères (gibier), oiseaux, insectes, micro-organismes et lombrics y trouvent un écosystème favorable pour la reproduction et les ressources de nourriture.

De plus, 90% de la surface des prairies permanentes sont associées à des infrastructures agro-écologiques non productives telles que des haies, des talus ou des cours d'eau (Institut de l'Elevage, 2007).

Ces éléments constituent des connexions entre prairies et cultures et fournissent un habitat pour la faune et la flore ce qui permet une recolonisation des milieux limitrophes appauvris en biodiversité.

Par exemple le lombric (*Lumbricus terrestris*), pourtant peu mobile, peut recoloniser des champs cultivés à partir des prairies limitrophes en franchissant une vingtaine de mètres par an.(Lukas Pfiffner, 2011).

Les facteurs majeurs influençant la biodiversité sont le mode de pâturage et les pratiques de fauches et de fertilisation. (Figure 2).

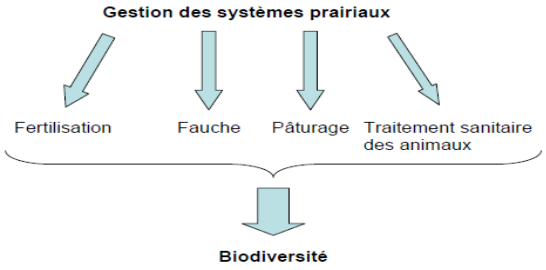


Figure 2 : Facteurs de contrôle de la biodiversité dans les prairies

(Source : Expertise scientifique collective, 2008)

4. Les Indicateurs

Selon Sylvain Plantureux, un indicateur se définit comme « une information quantitative et qualitative évaluant l'état ou l'évolution d'un système ».
L'objectif est d'évaluer l'état de santé de l'écosystème ou de la biodiversité en se référant à des caractéristiques physico-chimiques ou à la présence ou l'abondance d'espèces ou taxons (Carignan and Villard, 2002 ; Clergué et al., 2005)

Dans notre étude, nous nous intéresserons aux bio-indicateurs qui mesurent l'état de la biodiversité à partir de paramètres qui interagissent sur son état.

5. Le projet IndiBio

Le projet IndiBio piloté par l'Institut de l'Elevage a pour objectif d'identifier des **ind**icateurs relatifs aux pratiques agronomiques et aux infrastructures pour évaluer la **bio**diversité dans les systèmes de polyculture – élevage.

La majorité des études porte sur certaines caractéristiques des systèmes de production (niveau de fertilisation, type de travail du sol, impact des pesticides, rôle des bords de champs) mais aborde peu l'effet du système de production dans son ensemble. C'est à ce constat que tente de répondre ce projet, qui évalue un niveau global de biodiversité cohabitant avec les exploitations agricoles.

Plusieurs taxons plus ou moins inféodés ont été sélectionnés:
Figure 3 : Taxons sélectionnés

5.1 Les lombrics

5.1.1 Indicateurs et groupes écologiques

Le lombric est une espèce intégrante de la biodiversité sauvage et ordinaire : il est présent spontanément dans les milieux sans intervention de l'Homme mais il est influencé par ses activités.
Fortement représenté dans le sol en termes de densité, les lombrics répondent à de multiples facteurs environnementaux et écologiques tels que les évolutions chimiques au niveau du sol, la foresterie et les pratiques agricoles. Ainsi, ils sont considérés comme de bons indicateurs du fonctionnement du sol. (Lavelle et Spain, 2001 ; Paoletti 1999 ; Tondoh et al., 2007 ; Pérès et al, 2008).
Dans les régions tempérées, la densité des lombrics peut atteindre 10^6 individus par hectare pour une biomasse de deux tonnes par hectare (Lavelle, 1983c).
Une centaine d'espèces (Bouché, 1972) est ainsi recensée sur l'ensemble du territoire français et 2500 espèces dans le monde. Cette richesse spécifique est le résultat d'une multitude de facteurs tels que la glaciation quaternaire, les phénomènes d'insularité, l'altitude, mais aussi des facteurs d'origine anthropique (Peres, 2007).

Les travaux de Bouché (1971) et de Lavelle (1981) ont permis de regrouper les différentes espèces de vers en trois catégories principales : les espèces épigées, anéciques, et endogées. Cette classification a été réalisée sur des critères physiologiques, morphologiques et écologiques (répartition selon la profondeur du sol, l'alimentation, la pression des prédateurs, la mobilité superficielle, la taille, la longévité et la résistance à la sécheresse).
Cette classification a également été basée sur les stratégies "r" et "K" proposées par Mac Arthur et Wilson (1967).

- la *stratégie r* correspond à une production précoce d'un grand nombre de jeunes et à une mortalité élevée. Il s'agit d'une adaptation à des habitats perturbés.
- la *stratégie K* est basée sur une durée de vie plus longue, et une reproduction rare et tardive. Les conditions de vie sont plus favorables avec des approvisionnements réguliers en ressources et des habitats peu perturbés.

5.1.2 Rôles et fonctions des catégories écologiques

Les Epigés (Bouché, 1977). Les espèces de ce groupe sont de petite taille (un à six centimètres) et se trouvent en surface du sol. Elles fractionnent la matière organique fraîche et permettent d'en accélérer le processus de dégradation en la fournissant plus rapidement aux autres espèces lombriciennes en profondeur. Leur pigmentation foncée permet une forte dissimulation dans la matière organique. Davantage que les autres espèces, elles subissent les aléas climatiques (dessiccation, gels,...), la prédation et les perturbations du sol en surface. Ainsi l'ensemble de ces contraintes a permis à ce taxon d'évoluer vers une stratégie de type r (Satchell, 1980). En effet, cette catégorie écologique présente une durée de vie inférieure à 1 an et se reproduit en 90 à 150 jours (Cluzeau, 2004).

Les Anéciques (Bouché 1977). Dans cette catégorie, les individus mesurent de dix centimètres à un mètre dix de long (*Lumbricidae* adultes). Leur pigmentation montre un gradient de décoloration antéro-postérieur.
Ils ont pour action d'enfouir la matière organique dans l'ensemble du profil de sol et d'assurer le brassage entre les matières minérales et organiques. Ils sont à l'origine de galeries verticales pouvant atteindre cinq à six mètres de profondeur qui permettent des échanges gazeux et aqueux.

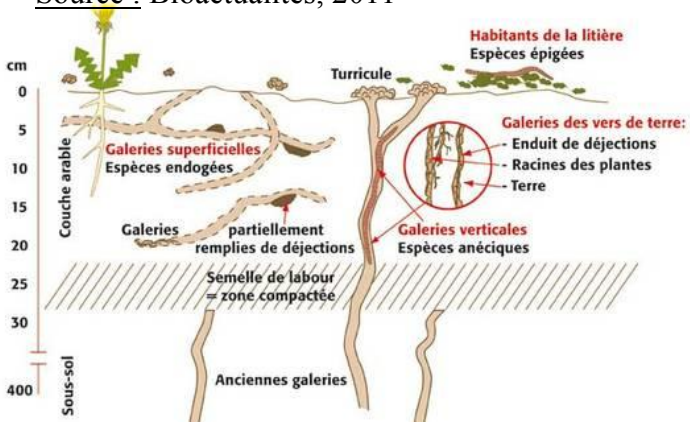
Subissant moins de contraintes que les épigés de part leur localisation dans le profil de sol, ils peuvent vivre jusqu'à 10 ans et se reproduisent en 400 voir 500 jours. Ils suivent donc une stratégie de type K (Satchell, 1980; Cluzeau, 2004). On distingue les Anéciques tête rouge qui se rapprochent du comportement des Epigés, des Anéciques tête noire se rapprochant de celui des Endogés.

Les Endogés (Bouché 1977). Les individus mesurent de un à vingt centimètres de long. Jamais exposés au soleil, ils sont apigmentés. Il est possible d'observer des vers de terre rose pâle ou ver pâle. Leur alimentation est essentiellement constituée de matières organiques intégrées à la matière minérale. Leurs galeries horizontales situées à quarante centimètres de profondeur maximum se referment derrière leur passage en déposant leurs déjections. Tout comme les Anéciques, soumis à peu de contraintes climatiques et à une faible prédation, ce taxon a évolué vers une stratégie de type K. Ils se reproduisent en 150 à 210 jours (Satchell, 1980 ; Cluzeau, 2004). (Récapitulatif en annexe 1)

Ces catégories écologiques montrent un intérêt certain en agriculture avec l'agrégation des sols, l'infiltration et la rétention de l'eau, l'accélération du cycle de l'azote et du carbone, la contribution au bon fonctionnement de la rhizosphère avec la dispersion des spores de champignons (Hutchinson et Kamel, 1956) et le maintien de la biodiversité. (Institut de Recherche pour le Développement, 2008).

Figure 4 : Positionnement dans le profil de sol des quatre catégories de lombrics

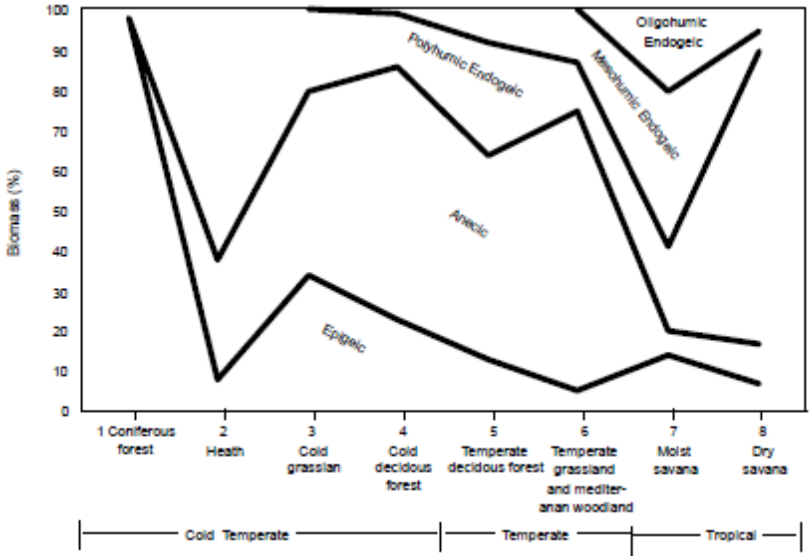
Source : Bioactualités, 2011



5.1.3 Sensibilité des vers au climat et aux pratiques agricoles

L'étude de Richard G. Smith et *al* .publiée en 2008 *(Diversity and abundance of earthworms across an agricultural land-use intensity gradient*) émet l'hypothèse que les facteurs ayant probablement contribués à l'abondance des vers sont : la structure du paysage, la dispersion des espèces spécifiques et leur capacité de colonisation.
Lavelle (1983) montre une distribution de l'abondance des différentes catégories de lombrics en suivant un gradient latitudinal.

Figure 5 : Distribution des catégories écologiques en fonction du gradient latitudinal (Lavelle, 1983)



A l'échelle du globe, la répartition des différentes catégories écologiques est donc étroitement liée aux conditions climatiques, pédologiques, mésologiques et végétales.
A l'échelle locale, l'abondance les lombrics semble être influencée par les caractéristiques environnementales physico-chimiques et anthropiques.

En effet, les travaux de Philipson et al. (1976) et de Bachelier (1978) ont montré que les lombrics étaient plus sensibles à une sécheresse qu'à une immersion temporaire. De plus, les vers étant poïkilothermes, ils ne régulent pas leur température corporelle et sont donc sensibles aux variations de températures. Dans les régions tempérées, les conditions optimales de température se situent entre dix et vingt degrés. Peu d'espèces survivent à des températures inférieures à 0°C ou supérieures à 28°C (Curry, 1998). Aussi, un lessivage et une acidification des sols entraînent la diminution voire la disparition des lombrics (Romans et Robertson, 1975). En effet, le seuil de viabilité des vers est évalué à un pH de 4,4 pour un sol acide et à un pH de 10 pour un sol alcalin (Bachelier, 1978). Enfin, les travaux d'Edwards et Lofty (1972) montrent un effet de la texture du sol sur l'abondance des lombrics. Les rejets des vers de terre sont principalement composés de particules fines avec une teneur en limons et argiles plus importante que celle du sol environnant. Cette différence de proportion, entre le sol et les turricules, serait due à une ingestion préférentielle des limons et argiles plus riches en matière organique (Bolton et Phillipson, 1976).

Pour ce qui concerne les effets anthropiques, Pérès et al. (1996) montrent un effet positif de la fertilisation organique (compost, fumier, lisier) sur l'ensemble des communautés lombriciennes. Cluzeau et al. (1992) mettent en évidence une influence négative du pâturage, notamment sur les espèces épigées et endogées localisées dans des galeries horizontales. La pression de pâturage dépend de la charge du troupeau (nombre d'Unités Gros Bovins sur une surface donnée), de la fréquence et des périodes de pâturage. Enfin, certains auteurs comme Hansen et Engelstad (1999) ont constaté une baisse de l'abondance des lombrics après un apport d'azote ayant provoqué une acidification du milieu.

5.2 Objectifs du stage et problématique

Les objectifs de mon stage sont de consolider la méthodologie retenue par l'Institut de l'Elevage (Mémoire Aline Chanseaume, 2010), et de comparer les différents modes d'exploitation des fourrages en fonction des différents types de fertilisation.
Mon étude tentera de répondre à la problématique suivante :

«Quels sont les effets des pratiques agricoles sur les quatre catégories de lombrics en système d'élevage bovins conduits en prairies permanentes ?».

Pour répondre à cette question, deux hypothèses sont retenues :

Hypothèse 1 : La fertilisation minérale affecte positivement l'abondance des Anéciques tête rouge, Anéciques tête noire et des Endogés.

Hypothèse 2 : Dans les prairies non fertilisées et uniquement pâturées l'abondance des différentes catégories de lombrics est favorisée par l'apport des déjections régulières des bovins.

II. METHODE ET MATERIEL

Dans un premier temps, la méthode consiste à déterminer les niveaux d'échantillonnage, la fréquence des observations, les modes d'exploitation des prairies et leurs niveaux de fertilisation.
Dans un second temps, cette partie présente et justifie les variables utilisées pour évaluer l'abondance et la richesse taxonomique des populations de lombrics au sein des prairies permanentes.

1. Protocole d'échantillonnage

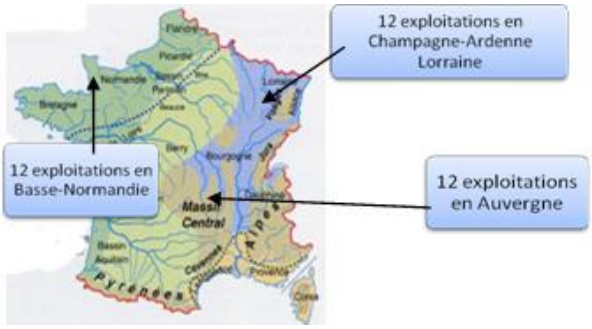
Les quatre niveaux d'échantillonnage retenus pour cette étude sont : les régions, les localités, les exploitations et les parcelles.

1.1 Une première clé de détermination construite sur une approche nationale

Pour rendre compte de **l'effet climatique** sur l'abondance des lombrics, trois zones représentatives ont été sélectionnées et seront échantillonnées dans l'ordre suivant (cf. figure 6):

- Basse-Normandie: climat océanique
- Champagne-Ardenne/Lorraine: climat continental
- Auvergne: climat montagnard

Figure 6: Localisation des trois régions



1.2 Une seconde clé de détermination construite sur une approche locale

Chaque région est représentée par deux contextes différents en fonction de la densité d'éléments agro-écologiques: **ouvert ou bocager.**
Exemple : deux localités en Auvergne : Combrailles et Livradois Forez

1.3 Sélection des exploitations : système laitier ou allaitant

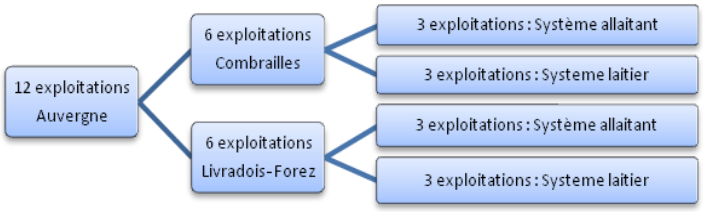
Les techniciens de la Chambre d'Agriculture de chaque région ont sélectionné les exploitations. Ils se sont appuyés sur les « cas types » qui sont définis selon une modélisation structurelle, technique et économique d'un système d'exploitation.
Le choix de ces situations type prend également en compte les différences de fonctionnement et donc d'intensité des pratiques. Par exemple, en comparant une situation type en système allaitant, les systèmes laitiers présentent un niveau de fertilisation des prairies et une exploitation de l'herbe plus précoce et plus fréquente.

Deux « situations types » validées par le comité de pilotage du projet INDIBIO sont donc identifiées :

- Une « situation type » caractérisée par des pratiques de faible intensité correspondant essentiellement à des systèmes allaitants.
- Une « situation type » caractérisée par des pratiques de forte intensité correspondant essentiellement à des systèmes laitiers.

Figure 7: Echantillonnage de la région à l'exploitation

Ainsi les trois régions suivent l'échantillonage ci-contre (cf fig. 7) :



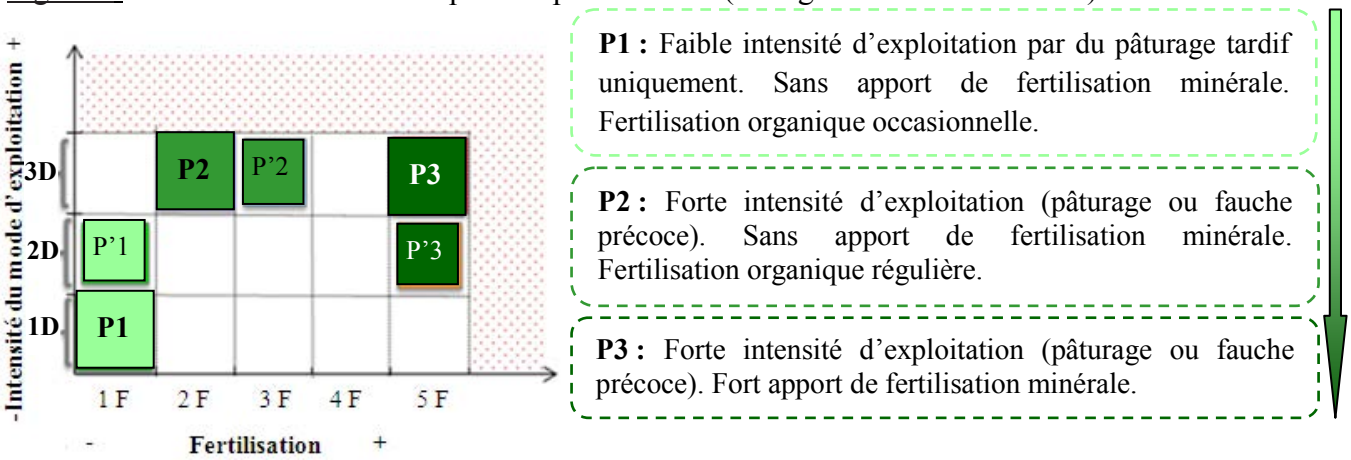
1.4 Selection des parcelles

La méthode de travail développée ci-dessous est inspirée de la méthodologie initiale décrite par Aline Chanseaume dans son Mémoire en 2010 (cf. annexe 2). Cette méthodologie est basée sur l'évaluation de la biodiversité en milieu agricole.

Pour rendre compte de **« l'effet des pratiques »** sur les lombrics, trois prairies permanentes par exploitations sont retenues. Ces trois parcelles (P1, P2 et P3) sont sélectionnées suivant la période d'exploitation (précoce/ tardif) et l'intensité des deux critères suivants:

- le mode d'exploitation (= mode de prélèvement de l'herbe): le pâturage, la fauche ou le système mixte (pâturage + fauche)
- la fertilisation apportée : minérale ou organique

Figure 8: Matrice de sélection des prairies permanentes (cf. légende : tableaux 1 et 2)



P1 et P3 sont deux « parcelles types » gérées de manière extrême. P2 est la « parcelle type » gérée de façon intermédiaire aux deux précèdentes.
Si la parcelle idéale « P » n'existe pas, un second choix est fait : « P' » (parcelle de substitution)

Tableau 1 : Le mode d'exploitation (Source : Aline Chanseaume, 2010)

Code	Taux d'utilisation	Milieu	Mode d'exploitation	Présence de refus laissés par les animaux
1D	Faible	Sec ou engorgé	Pâturage uniquement	oui
2D	Faible	Favorable	Foin séché au sol, pâturage	oui
3D	Fort	Favorable	Ensilage, enrubannage, pâturage tournant ou continu	Non (si oui, ils sont fauchés)

Tableau 2 : La fertilisation

Code	Engrais minéral	Engrais organique
1F	0	Occasionnel (>3ans)
2F	0	Régulier (1 à 2 ans)
3F	< 80 unités N/ha/an (fauche) < 40 unités N/ha/an (pâture)	Occasionnel (>3ans)
4F	< 80 unités N/ha/an (fauche) < 40 unités N/ha/an (pâture)	Régulier (1 à 2 ans)
5F	> 80 unités N/ha/an (fauche) > 40 unités N/ha/an (pâture)	Avec ou sans apport

Cette matrice a permis de construire un arbre de décision (cf. annexe 3) ayant pour objet de déterminer les trois « parcelles types » parmi un panel de parcelles au sein d'une même exploitation.

2. Questionnaire relatif aux pratiques agricoles

Le questionnaire vise à apprécier la gestion agricole générale de l'exploitation, ainsi que le détail des pratiques effectuées sur les prairies permanentes sélectionnées. Les questions posées à l'agriculteur font uniquement appel à sa mémoire. L'objectif est de cerner la gestion des pratiques agricoles représentatives des dix dernières années pour chaque parcelle.

Les variables des pratiques agricoles intégrées au questionnaire :

A partir de recherches bibliographiques, des variables ont été sélectionnées selon leur effet potentiel sur l'abondance et la répartition des quatre catégories écologiques de lombrics.

- Le mode d'exploitation :
  - Le pâturage : nombre d'UGB/ ha/ an, date d'entrée et de sortie des animaux
  - La fauche : nombre de coupe(s) et date(s) de(s) fauche(s)
- La fertilisation apportée :
  - Fertilisation minérale (NPK)/ha/an
  - Fertilisation organique (tonne/ha)
- Déparasitage des animaux : date et nom du produit

3. Prélèvement des lombrics

Au vu de l'importance du nombre d'espèces de lombrics (une centaine selon Bouché, 1972) et des connaissances limitées vis-à-vis de leur identification, nous nous limiterons aux quatre groupes écologiques suivants : Epigés, Anéciques tête rouge, Anéciques tête noire et Endogés.
L'activité minière et reproductive du lombric est optimale durant la période mars-avril et peut être décalée en fonction du climat (Lukas Pfifner, 2011). En effet, les vers de terre sont inactifs en période de gel (hibernation) et de sécheresse (estivation). Au vu de ces conditions, il était recommandé d'utiliser un protocole simple en termes de temps et de matériel.

3.1 Protocole de prélèvement

Céline PELOSI (2008) développe dans sa thèse une méthode simple d'extraction des lombrics en comparant l'efficacité de deux irritants chimiques : le formol (solutions à 0.25% et 0.40%) et la moutarde forte commerciale en utilisant une méthode simple qui consiste à verser une solution irritante sur le sol et à récupérer les lombrics émergeants à la surface. L'efficacité de l'échantillonnage est mesurée en termes de densité et de biomasse. Les résultats montrent en moyenne sur trois parcelles que le formol et la moutarde ont permis, respectivement, l'extraction de 47,7g/m² et 20,5 g/m² . Toutefois, selon les études statistiques réalisées dans sa thèse, ces différences ne sont pas significatives.

Au vu de ces résultats et des propriétés toxiques du formol, nous choisissons de travailler avec la moutarde.
Nous nous sommes donc penchés sur la méthode simplifiée d'observation et de comptage des vers de terre proposée par l'**O**bservatoire **P**articipatif des **V**ers de **T**erre (OPVT). Cette méthode est validée par l'Observatoire de Rennes (OSUR CNRS) en collaboration avec le Muséum National d'Histoire Naturelle de Rennes.

3.2 Protocole simplifié par l'OPVT

3.2.1 Relevés météorologiques et caractéristiques du milieu

Il est important de vérifier s'il existe les relations suivantes :

- abondance des vers / conditions météorologiques
- abondance des vers / infrastructures agro-écologiques (= éléments fixes du paysage)

Pour vérifier ces relations, plusieurs variables sont indiquées sur le recto de la fiche de relevés (cf. annexe 4).

Variables liées au milieu

- Texture du sol
- Pente sur la parcelle
- Milieux limitrophes (culture, bois, zone urbaine, prairie, étang,…)
- Infrastructures agro-écologiques en bordure de la parcelle (lisière de bois, haie, bord de route, cours d'eau,…)
- Parcelle pâturée durant le prélèvement

Variables liées au climat

- Ensoleillement (Soleil, Peu nuageux, Couvert)
- Pluie (nulle, légère, forte)
- Vent (nul, léger, fort)
- Humidité (sec, humide, engorgé)
- Nombre de jours depuis la dernière pluie et gelée
- Température
- Quantité d'eau tombée (en mm) pendant les 15 jours précédents le prélèvement

3.2.2 Délimitation et pose des quadras

Sur chacune des trois parcelles, le protocole est répété à l'aide de trois quadras espacés de 6 mètres et suivant une ligne au milieu de la parcelle. Le centre de la parcelle est estimé à vue d'œil et les données GPS y sont recueillies. Les quadras doivent être éloignés des éléments fixes du paysage (arbres, clôtures, cours d'eau…) afin de limiter toute interaction avec l'abondance des vers. Si la parcelle est en pente, les quadras suivent le sens la pente pour obtenir des résultats représentatifs de l'ensemble de la parcelle. Enfin, l'herbe à l'intérieur des quadras doit être coupée à ras afin d'améliorer la visibilité pour rechercher les vers.

3.2.3 Prélèvement des lombrics

La méthode consiste à déverser une première fois 300g de moutarde fine et forte de la marque Amora diluée dans 10L d'eau sur un quadra de 1m². L'expérience est renouvelée 15 minutes plus tard sur le même quadra. Le prélèvement dure ainsi 30 minutes par quadra.
La moutarde contient une molécule aromatique (l'isothyocyanate d'allyl ou AITC) qui se forme pendant le broyage des graines en présence d'eau à partir de son précurseur : la sinigrine. Ce principe actif a pour action de faire fuir les vers qui ressentent visiblement une sensation désagréable à son contact.

3.2.4 Dénombrement des lombrics

Les vers prélevés sont rincés dans l'eau douce et identifiés en 8 catégories :

- Épigés: jeunes/adultes
- Anéciques tête rouge: jeunes/adultes
- Anéciques tête noire: jeunes/adultes
- Endogés: jeunes/adultes

Le nombre total de chaque catégorie est retranscrit sur le verso de la feuille de relevé propre à chaque parcelle (cf. annexe 5).
Tous les adultes sont ensuite photographiés et placés dans des piluliers contenant de l'alcool pur. Ils seront ensuite transmis à l'Université de Rennes pour être soumis à des analyses génétiques qui identifieront les espèces prélevées. En outre cela permet éventuellement de découvrir de nouvelles espèces. Par ailleurs tous les jeunes individus sont relâchés dans la parcelle.

4. Variables et outils supplémentaires utilisés pour répondre aux hypothèses

4.1 L'azote contenu dans la matière organique

Pour répondre à l'hypothèse 1 : « La fertilisation minérale affecte positivement l'abondance des Anéciques tête rouge, Anéciques tête noir et des Endogés. », il est utile de déterminer la composition totale d'azote contenue dans les matières organiques. En effet cela permet de comparer la matière minérale et la matière organique à partir d'une même unité (kg d'Azote/ha/an).
Selon l'Institut de l'Elevage (1998), le fumier contient en moyenne 5 kg d'azote par tonne, le compost, 8 kg d'azote par tonne et le lisier, au même titre que le purin, 4 kg d'azote par tonne. Les différentes données ont donc été converties pour permettre les comparaisons.

4.2 Les variables climatiques

Afin de mettre en évidence les effets des pratiques il est nécessaire de prendre en compte les effets du climat propres à chacune des régions prospectées.
Ainsi, en rapport avec les connaissances acquises en bibliographie, quatre variables climatiques ont été choisies :
- Le cumul des températures minimales journalières supérieures à 0°C depuis janvier 2012
- Le cumul des températures maximales journalières supérieures à 0°C depuis janvier 2012
- Le nombre de jours de gel depuis janvier 2012 (un jour est considéré comme « jour de gel » si, au cours de la journée, la température a atteint ou est descendue en dessous de 0° Celsius)
- Le cumul des précipitations journalières depuis janvier 2012

De nombreuses recherches ont montré un lien entre le réveil de la végétation et le cumul des températures en base 0°C (Niqueux et Arnaud, 1967). Nous émettons ici l'hypothèse que l'activité lombricienne réagit également avec cette variable.

4.3 L'indice de Shannon

L'indice de Shannon permet de rendre compte de la diversité au sein de l'abondance totale des lombrics.

$$H' = -\Sigma\, p_i \log_2 p_i \qquad \log_2 p_i = \ln p_i / \ln 2$$

p_i est la proportion de chaque catégorie de lombrics
H' est minimal (=0) si tous les vers relevés appartiennent à la même catégorie écologique.
H' est maximal quand tous les vers relevés sont répartis de façon égale entre les différentes catégories écologiques.

4.4 L'indice de Pielou

Dans un second temps l'indice d'équitabilité de Pielou (J), complémentaire à l'indice de Shannon, permet d'évaluer la répartition des différentes catégories écologiques. Il permet de mettre en évidence une éventuelle dominance d'une catégorie d'occupation du sol.

$$J = H' / H_{max} \qquad H_{max} = \log_2 n$$

Hmax est l'indice maximal théorique (valeur théorique qui correspondrait à une répartition égale de toutes les catégories écologiques).
n correspond au nombre total de catégories écologiques (ici =4).
J peut varier entre 0 et 1.
J = 0 quand une catégorie domine.
J = 1 quand les différentes catégories ont des abondances identiques.

5. Traitement des données

L'ensemble des variables (pratiques agricoles, caractéristiques du milieu, données météorologiques) sont répertoriées dans une base de données Excel.

Le traitement des données a été encadré et validé par Marion Ferrand du service Biométrie situé à la Maison Nationale de l'Elevage à Paris.

Préalablement au traitement statistique des données, une description de l'abondance des vers en fonction des différentes variables est réalisée sous le logiciel SAS (Statistical Analysis System).
Cette étape est nécessaire pour obtenir la moyenne de l'abondance des catégories écologiques en fonction des différentes valeurs que peut prendre une variable.

5.1 Traitements statistiques des catégories écologiques

L'impact des différentes variables (pratiques agricoles, climat, milieu) sur l'abondance des lombrics est évalué à l'aide du modèle de Poisson (cf. annexe 6) car les données d'abondance ne suivent pas une loi normale. La procédure Glimmix du modèle est donc utilisée. Elle intègre les répétitions au sein de chaque parcelle et utilise des variables qualitatives. Ainsi des classes ont été préalablement créées pour convertir les variables quantitatives en données qualitatives.

Etant dans une démarche exploratrice, nous avons décidé qu'une variable est jugée significative au seuil α de 0,1%. Ainsi cette méthode permet de mettre en évidence les différences significatives des effets dus aux pratiques agricoles, tout en prenant en compte les effets du climat et les caractéristiques du milieu.

5.2 Traitements statistiques des indices de Shannon et Pielou

Ces indices suivant une loi normale, nous utilisons un modèle d'analyse de variance (Procédure Mixed). Comme précédemment, les variables explicatives sont mises en classes et les répétitions au sein de chaque parcelle sont intégrées. Une variable est jugée significative au seuil α de 0,1%.

III. RESULTATS

En préalable nous allons décrire la typologie qui a du être reconsidérée pour cette étude. Nous montrerons également les limites de l'outil utilisé (le Modèle de Poisson) ainsi que les adaptations qu'elles ont engendrées.

Puis nous étudierons le rôle des variables « environnementales » (partie 2), afin d'isoler les effets des modes d'exploitation et de la fertilisation sur les lombrics (partie 3).

1. Préalable à l'étude des résultats

1.1 Reconsidération de la typologie d'origine

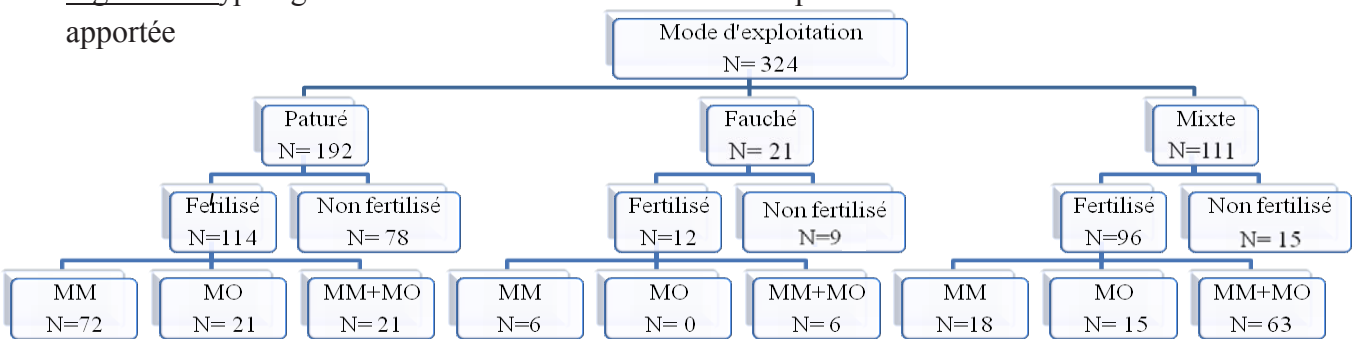
Sur chacune des exploitations, les prélèvements ont eu lieu dans trois parcelles sélectionnées en fonction de l'intensité croissante de deux critères : le mode d'exploitation et la fertilisation. La codification préalablement déterminée (P1, P2, P3) est certes adaptée à l'échantillonnage des parcelles mais peu appropriée au traitement des résultats.

En effet, les parcelles « types » (cf. figure 8) étaient parfois absentes des exploitations, alors d'autres parcelles approchant leurs modes de gestion étaient ainsi choisies (P1', P2', P3'). De plus, des P2 voir des P1 pouvaient être déplacées en P3, lorsque toutes les parcelles recevaient de l'azote. Par ailleurs, cette méthodologie ne permettait pas de différencier les modes d'exploitation. Enfin, le placement des parcelles en milieu contraignant (sec ou engorgé) dépendait de la subjectivité de l'agriculteur.
Dans ce contexte nous avons donc choisi de revoir cette typologie.

Dans un premier temps, une ACP réalisée sous le logiciel SPAD a permis d'obtenir une typologie en 5 classes (première partie de l'annexe 7) comprenant chacune le type de fertilisation, le mode d'exploitation et le type de milieu (contraignant/favorable). Cependant ces classes ne permettaient pas de différencier les pratiques entre elles et les résultats étaient difficilement interprétables.

Une seconde typologie inspirée de l'ACP précédente a été mise en place sous SAS, permettant ainsi de choisir les classes voulues. Il s'agissait de distinguer la pâture, la fauche et la fauche + pâture (mixte) ainsi que les différents types de fertilisation. Cette typologie a été retenue car elle permet d'atteindre les objectifs escomptés. Il en découle l'arborescence suivante :

Figure 9 : Typologie réalisée en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation apportée



MM : Apport de Matière Minérale uniquement
MO : Apport de Matière Organique uniquement (fumier, lisier, compost et purin)
MM+MO : Apport de matières minérale et organique
N : Nombre de répétitions (prélèvements)

Une comparaison de la typologie d'origine avec la nouvelle typologie créée sous SAS est disponible en deuxième partie de l'annexe 7.

1.2 Analyses descriptives

Le protocole a permis d'obtenir 324 prélèvements et d'identifier 10612 vers de terre.

Dans un premier temps, les analyses descriptives ont permis d'obtenir des données brutes concernant les effets des pratiques agricoles sur l'abondance des vers dans les trois régions prospectées (annexe 8). Ces analyses ont été utilisées et complétées par les analyses statistiques (Cf. les graphiques présents dans cette partie).

1.3 Analyses statistiques limitées

Le modèle de Poisson a montré quelques limites quant au nombre de données qu'il est capable de traiter. Pour l'utiliser, nous avons donc simplifié. Ainsi, il a été convenu de grouper les adultes avec les juvéniles sachant que cette décision éliminait une donnée importante : le taux de renouvellement. Egalement pour simplifier, le nombre de prairies fauchées étant limité à 7, ce mode d'exploitation n'a pas été pris en compte afin d'améliorer le traitement statistique. De ce fait, les résultats obtenus avec le modèle de Poisson sont incomplets.

2. Variables « environnementales » à prendre en compte

Pour mettre en évidence les effets de la fertilisation et du mode d'exploitation sur les lombrics, l'ensemble des variables « environnementales » doivent être prises en compte dans l'analyse statistique. Ces variables regroupent :

- les conditions météorologiques durant le prélèvement,
- le milieu (environnement proche de la zone de prélèvement),
- la zone climatique (océanique, semi-continentale et montagnarde).

2.1 Les conditions météorologiques durant le prélèvement

Ces variables correspondent aux relevés météorologiques effectués durant la période de prélèvement et annotés sur la feuille de relevés (Cf. Chapitre II. 3.2.1).

Tableau 3 : Effets des conditions météorologiques sur les quatre catégories écologiques

Variables	N	Epigés	Anéciques tête rouge	Anéciques tête noire	Endogés
Température durant le prélèvement	324	***	*N.S.*	*	*N.S.*
Ensoleillement durant le prélèvement	324	*N.S.*	*N.S.*	**	*N.S.*
Pluie durant le prélèvement	324	*N.S.*	***	*N.S.*	***
Vent durant le prélèvement	324	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*
Humidité du sol	324	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*
Nombre de jours écoulés depuis la dernière pluie	324	*N.S.*	*N.S.*	***	*N.S.*
Nombre de jours écoulés depuis la dernière gelée	324	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*
Quantité d'eau tombée durant les 15 jours précédents le prélèvement	324	*	***	*	***

N : Nombre de prélèvements
N.S. : Non significatif

* : niveau de significativité faible (entre 0.05 et 0.1)
** : niveau de significativité élevé (entre 0.01 et 0.05)
*** : niveau de significativité très élevé (< 0.01)

Un résultat est dit significatif s'il est improbable qu'il se soit produit par hasard.

Le tableau précédent indique que cinq variables ont des effets significatifs :

- *Température durant le prélèvement*

Il existe un effet significatif de la température durant le prélèvement uniquement sur les Epigés et sur les Anéciques tête noire. Leur abondance maximale se situe entre 5°C et 10°C suivant les analyses statistiques effectuées. En effet, selon le protocole de l'OPVT, les températures optimales pour le prélèvement se situent entre 6°C et 10°C car c'est dans cette classe de température que les vers réagissent le plus à l'application du protocole.

- *Ensoleillement durant le prélèvement*

Seuls les Anéciques tête noire y montrent une sensibilité. En effet lors de forts ensoleillements, cette catégorie est significativement moins abondante. Nous avons pu constater lors des prélèvements qu'un certain nombre d'Anéciques tête noire apparaissaient, puis fuyaient sous l'action du soleil. Nous pouvons donc supposer que la solution de moutarde était d'avantage supportable pour ces vers que le soleil.

- *Pluie durant le prélèvement*

Les précipitations durant le prélèvement ont un effet significatif uniquement constaté sur les Anéciques tête rouge et sur les Endogés. En effet, leur abondance moyenne est plus importante lors de pluies intenses. Nous pouvons émettre deux suppositions :

- les galeries se retrouvant inondées, les vers cherchent à rejoindre la surface ;
- la solution de moutarde, conduite par l'écoulement des eaux de pluie, pénètre probablement plus en profondeur.

Pour les Anéciques tête noire, nous n'avons pas de certitudes, mais nous présumons que l'effet combiné de la pluie et de la solution de moutarde diluée, ne modifie pas l'abondance des vers prélevés.

- *Nombre de jours écoulés depuis la dernière pluie*

Les analyses statistiques montrent un effet significatif uniquement sur les Anéciques tête noire. En effet, nous avons constaté une variation orientée à la baisse du nombre de ces vers en fonction du nombre de jours passés depuis la dernière pluie.

- *Quantité d'eau tombée durant les 15 jours précédents le prélèvement*

Cette variable affecte significativement l'ensemble des catégories. Les résultats confirment les travaux successifs de Philipson et al. (1976) et de Bachelier (1978), qui montrent que les lombrics sont plus sensibles à une sécheresse qu'à une immersion temporaire.

2.2 Le milieu (environnement proche de la zone de prélèvement)

Ces variables correspondent aux caractéristiques du milieu durant la période de prélèvement et annotés sur la feuille de relevés (cf. annexe 4).

Tableau 4 : Effets du milieu sur les quatre catégories écologiques

Variables	N	Epigés	Anéciques tête rouge	Anéciques tête noire	Endogés
Parcelle pâturée durant le prélèvement	324	**	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*
Texture du sol	324	**	*	***	**
Pente sur la parcelle	324	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*
Milieu limitrophe	324	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*
Infrastructure agro écologique en bord de parcelle	324	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*	*N.S.*
Déparasitage des animaux au pâturage	324	*N.S.*	*	*N.S.*	*N.S.*

N : Nombre de prélèvements
N.S. : Non significatif

* : niveau de significativité faible (entre 0.05 et 0.1)
** : niveau de significativité élevé (entre 0.01 et 0.05)
*** : niveau de significativité très élevé (< 0.01)

Le tableau précédent indique que trois variables ont des effets significatifs :

- *Parcelle pâturée durant le prélèvement*
  Cette variable a été ajoutée au cours des prélèvements car nous avions constaté un nombre important de vers Epigés lorsque les parcelles étaient en cours de pâturage. Les Epigés sont des vers coprophages que l'on retrouve dans les bouses et le fumier. Malgré le piétinement par les bovins, ils semblent tout de même être favorisés par leur déjection.

- *Texture du sol*
  D'après nos analyses, seuls les Epigés, les Anéciques tête noire et les Endogés sont sensibles à la texture du sol. Ces vers préfèrent ingérer des particules fines telles que les argiles et préférentiellement les limons. Ces résultats confirment les travaux de Bolton et Phillipson, (1976).

- *Déparasitage des animaux au pâturage*
  Cette variable était renseignée dans le questionnaire relatif aux pratiques agronomiques. Les analyses statistiques ont mis en évidence une baisse de l'abondance moyenne des Anéciques tête rouge, lorsque les bovins sont en traitement lors du pâturage. Les autres catégories semblent moins sensibles au déparasitage des bovins.

2.3 La zone climatique (océanique, semi-continentale et montagnarde)

La zone climatique prend en compte l'ensemble des effets du climat. Nous avons ainsi testé cette variable sur l'ensemble des groupes écologiques.

Tableau 5: Effet de la zone géographique sur les quatre catégories écologiques

Variable	N	Epigés	Anéciques tête rouge	Anéciques tête noire	Endogés
Zone climatique	324	***	**	*	*N.S.*

N : Nombre de prélèvements
N.S. : Non significatif *:*

* : niveau de significativité faible (entre 0.05 et 0.1)
** : niveau de significativité élevé (entre 0.01 et 0.05)
*** : niveau de significativité très élevé (< 0.01)

Nous pouvons constater qu'il existe un effet « climat » sur les Epigés et les Anéciques. Par ailleurs, nous remarquons que plus la catégorie se rapproche de la surface du sol, plus l'effet est significatif.

Les analyses relatives aux effets du climat sur les catégories écologiques (cf. annexe 9) ont montré :

- un effet positif du cumul des températures minimales (base 0°C) depuis janvier compris entre 400 et 550°C uniquement sur les Epigés et les Anéciques. Nous pouvons supposer que lorsque ce cumul est atteint, les cocons des Epigés éclosent et les Anéciques recommencent leur activité après la période « d'hibernation ».

- ***un effet positif du cumul des températures maximales*** (base 0°C) depuis janvier compris entre 1050 et 1350°C seulement sur les Anéciques tête noire et les Endogés. Il est possible que leur activité soit optimale durant cette période. Au-delà leur abondance décroit. Ainsi, il semble que les Anéciques tête noire et les Endogés soient en période de diapause au-delà de 1350°C. Ce cumul est à prendre en compte jusqu'à la fin de la période estivale, puisque ces vers retrouvent une activité dès la fin de cette période (Bouché 1972).

- ***un effet négatif au-delà de 50 de jours de gel depuis janvier*** pour l'ensemble des catégories.

- ***un effet positif du cumul des précipitations*** depuis janvier compris entre 100 et 200 mm d'eau uniquement sur les Epigés, les Anéciques tête noire et les Endogés. Les analyses en annexe 9 montrent qu'en deçà ou au-delà de ce cumul, l'abondance des vers est moindre.

L'ensemble des variables « environnementales » significatives décrites précédemment ont ensuite été prises en compte dans le modèle statistique afin de mettre en évidence les effets propres des modes d'exploitation et de la fertilisation.

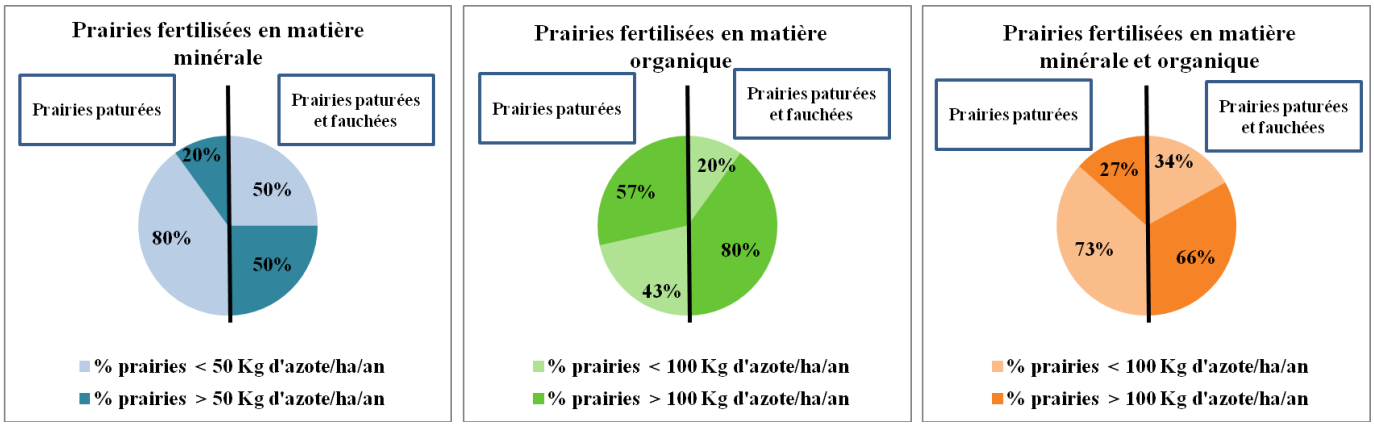
3. Effets des modes d'exploitation et de la fertilisation sur chaque catégorie de lombrics

Avant de décrire les effets des pratiques agricoles sur chaque catégorie de lombrics, nous allons au préalable décrire les gradients de fertilisation, afin de prendre en compte la quantité de fertilisation apportée.

3.1 Analyse des gradients de fertilisation

Dans un premier temps, pour mieux interpréter les résultats, il était nécessaire de connaitre la quantité de fertilisation apportée dans les parcelles. En effet, le nombre élevé de variables prises en compte n'a pas permis au modèle de Poisson d'effectuer des comparaisons multiples entre les différentes quantités de fertilisation.
En annexe 10, six graphiques ont été obtenus en effectuant une répartition des prairies en fonction des quantités d'azote apportées.
Ces graphiques ont été simplifiés dans la figure ci-dessous en comparant la concentration d'azote entre les prairies uniquement pâturées et les prairies mixtes (pâturées + fauchées).

Figure 10: Concentration des différents types d'azote en système pâturé et mixte

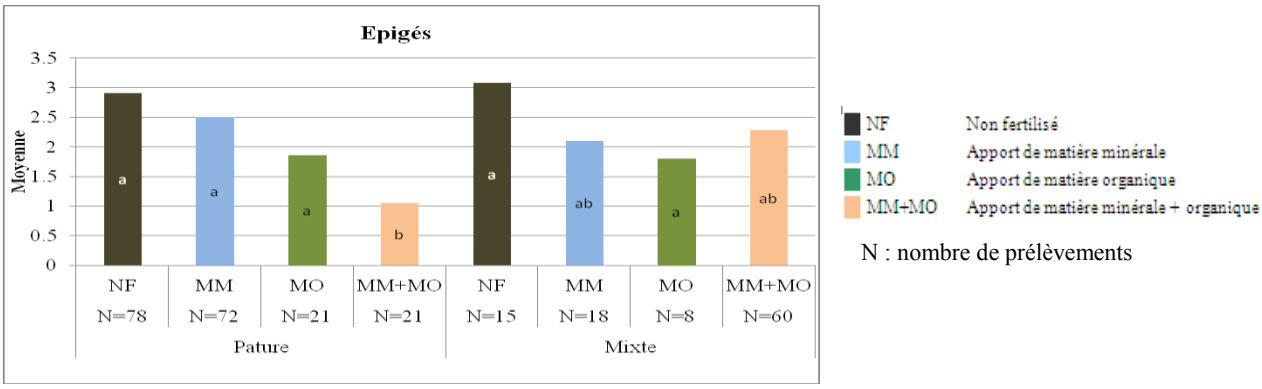


Pour les trois graphiques, on remarque que l'apport d'azote est plus important dans les prairies en système mixte qu'en pâturage unique.

3.2 Les Epigées

Le graphique suivant présente l'abondance moyenne des Epigés en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation.
Les lettres différentes dans les barres colorées ci-dessous indiquent des différences significatives. Une explication en est donnée en annexe 11.

Figure 11: Abondance moyenne des Epigés en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation



3.2.1 Effets des modes d'exploitation

Nous effectuons une comparaison entre les systèmes pâturés et mixtes pour les prairies :

- non fertilisées (NF)
- fertilisées en matière minérale (MM)
- fertilisées en matière organique (MO)
- fertilisées en matière minérale et organique (MM+MO)

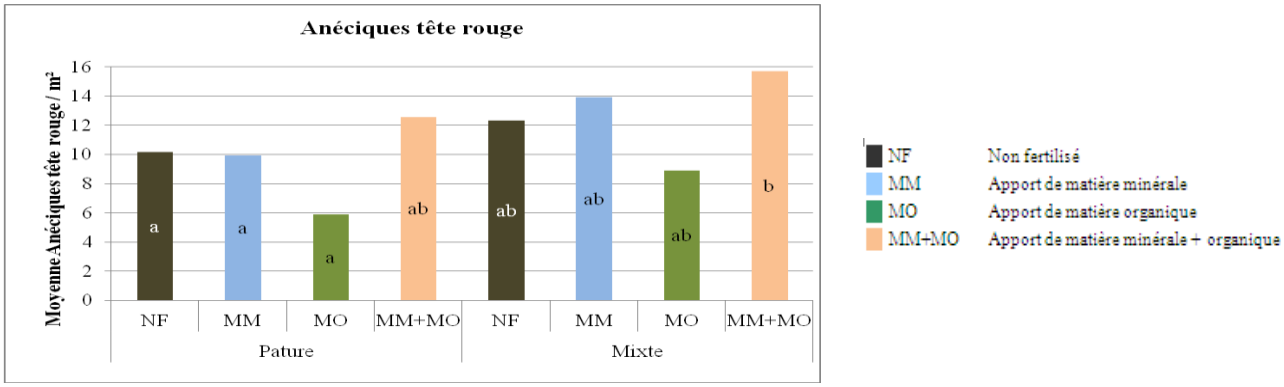
Lorsque l'on compare les deux systèmes (pâture/mixte), aucune différence significative n'est constatée quelque soit le type de fertilisation apportée. Cela ne signifie pas que le mode d'exploitation n'influence pas la dynamique de population des Epigés. En effet, sans les prairies uniquement fauchées, nous ne pouvons effectuer une comparaison avec cette référence. Ce graphique nous permet uniquement de constater, que d'exploiter la prairie par le pâturage ou l'alternance de fauche/pâturage, ne change rien quant à l'abondance des Epigés.

3.2.2 Effets de la fertilisation

Le graphique montre que dans les prairies pâturées, l'apport de matière minérale avec de la matière organique (MM+MO) a un effet significativement négatif en comparaison avec les prairies non fertilisées (NF) ou fertilisées uniquement avec de la matière organique ou minérale. Selon Van Horn et al. (1996), 40 à 50% de l'azote excrété par les animaux dans les fèces et les urines, l'est sous forme uréique.
Nous pouvons supposer que les apports importants de matière organique (fumier, compost, purin, lisier) et d'engrais (ammonitrates) conduisent à une accumulation d'azote sous forme uréique et ammoniacale à la surface du sol. Ces excès entraînent alors une volatilisation d'ammoniac qui est plus ou moins nocive selon les espèces et l'exposition. Les Epigés, se trouvant en première ligne, sont donc les plus affectés par les dégagements gazeux.
De plus, ces résultats confirment les travaux de Curry (1976).
On n'observe aucune différence significative en système mixte entre les différentes fertilisations. En effet, la pression du pâturage moins importante (car alternée avec la fauche) permet de limiter les accumulations d'ammoniac.

3.3 Les Anéciques tête rouge

Figure 12 : Abondance moyenne des Anéciques tête rouge en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation



3.3.1 Effets des modes d'exploitation

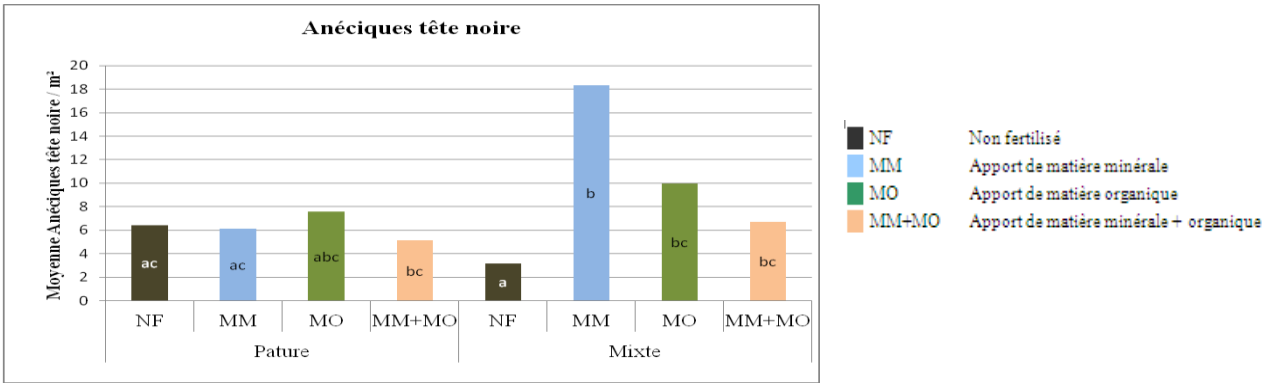
De même que pour les Epigés, l'abondance moyenne des Anéciques tête rouge n'est pas significativement différente entre les deux modes d'exploitation quelque soit la fertilisation apportée sur les prairies.

3.3.2 Effets de la fertilisation

L'histogramme montre que l'apport de fertilisation n'a pas d'impact significatif sur les Anéciques tête rouge.

3.4 Les Anéciques tête noire

Figure 13 : Abondance moyenne des Anéciques tête noire en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation



3.4.1 Effets des modes de gestion

Dans les prairies non fertilisées, nous n'observons pas de différence significative de l'abondance moyenne des Anéciques tête noire selon que la prairie soit pâturée ou mixte.
Néanmoins, dans les prairies fertilisées avec de la matière minérale, nous constatons une abondance moyenne des Anéciques tête noire plus importante dans les systèmes mixtes que dans les prairies uniquement pâturées. Rappelons qu'en système uniquement pâturé, 20% des prairies fertilisées en matière minérale (MM) ont des apports supérieurs à 50 kg N ha/an, contre 50% des prairies en système mixte.

Nous pouvons émettre l'hypothèse qu'il existe un effet combiné de l'apport important de fertilisation minérale (compris entre 50 et 75kg N /ha/an) avec le mode d'exploitation. C'est-à-dire que l'effet de l'apport d'azote sous forme minérale est plus favorable aux Anéciques tête noire lorsque la pression du pâturage est limitée (l'alternance de fauche et de pâturage).

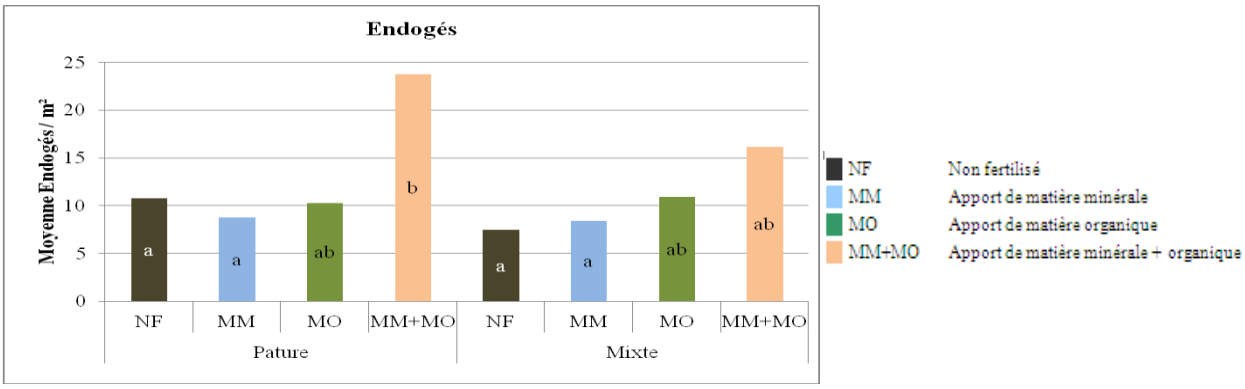
Nous n'observons pas de différence significative entre les systèmes pâturés et mixtes pour les autres types de fertilisation.

3.4.2 Effets de la fertilisation

L'apport de fertilisation n'influence pas la dynamique de population des Anéciques tête noire en pâturage unique. Cependant en système mixte, les vers semblent bénéficier des apports azotés apportés par les matières organiques et les engrais.

3.5 Les Endogés

Figure 14 : Abondance moyenne des Endogés en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation



3.5.1 Effets des modes de gestion

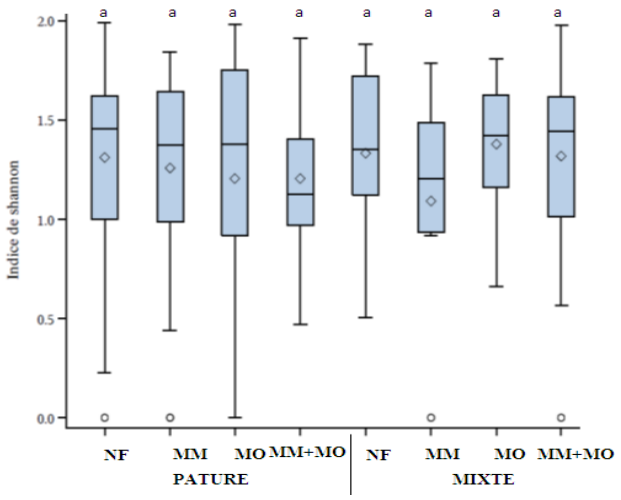
De même que pour les Epigés et les Anéciques tête rouge, l'abondance moyenne des Endogés n'est pas significativement différente selon les deux modes d'exploitation quelque soit la fertilisation apportée sur les prairies.

3.5.2 Effets de la fertilisation

Dans les pâturages, les apports de matière minérale et organique favorisent les Endogés. Sur le premier graphique (Epigés), nous avons constaté un excès de fertilisation organique et minérale en pâturage. Nous pouvons supposer que cet excès entraîne une augmentation de la production des graminées et donc une sénescence racinaire plus importante. Les endogés se nourrissant essentiellement des racines mortes, ils sont ainsi favorisés dans ce type de milieu.

3.6 Répartition des quatre catégories de lombrics

Figure 15 : Indice de Shannon en fonction des modes d'exploitation et de la fertilisation



Le graphique ci-dessus présente l'indice de Shannon en fonction de la fertilisation en système pâturé ou mixte sous la forme de box plots. Cet indice permet de rendre compte de la diversité au sein de l'abondance totale des lombrics.
Le trait au milieu de la boite correspond à la médiane, la moyenne est représentée par un rond dans la boite, les barres d'erreurs correspondent aux extrêmes. Plus la médiane se rapproche du maximum, plus les vers relevés sont répartis de façon égale entre les différentes catégories écologiques. Plus elle se rapproche de 0, plus les vers relevés appartiennent à la même catégorie écologique.

Le graphique, montre pour chaque box plot, un indice élevé. Cependant, la répartition entre les catégories écologiques n'est pas tout à fait égale.

3.6.1 Effets des modes de gestion

Pour ce graphique, le modèle d'analyse de variance ne montre aucune différence significative entre les moyennes des box plot quelque soit le mode d'exploitation. Ensuite, nous avons effectué le test de Kruskal-Wallis afin d'exposer d'éventuelles différences significatives entre les médianes. De la même façon, aucune différence significative n'a été révélée. Ces résultats stipulent que les catégories écologiques se répartissent de la même manière dans les milieux uniquement pâturés et dans les milieux mixtes.

3.6.2 Effets de la fertilisation

Les différentes analyses effectuées sur les moyennes ainsi que sur les médianes des box plot n'ont montré aucune différence significative entre les prairies fertilisées et non fertilisées. Les résultats indiquent donc que la fertilisation apportée n'affecte pas la répartition des quatre catégories écologiques.

Pour conclure, ces résultats obtenus par l'Indice de Shannon sont confortés par l'indice de Pielou (cf. annexe 12).

IV. DISCUSSION, LIMITES RENCONTREES ET PERSPECTIVES

1. Validation et limites des hypothèses émises et discussion des résultats

L'hypothèse n°1 suppose que la fertilisation minérale affecte positivement l'abondance des Anéciques tête rouge, Anéciques tête noire et des Endogés.
En effet, en système mixte, les résultats ont montré qu'un apport de fertilisation minérale compris entre 50 et 75 kg N/ha/an et que l'association de fertilisation organique et minérale augmentent l'abondance des Anéciques tête noire. Nous supposons qu'il existe un effet combiné de l'apport important de fertilisation minérale avec le mode de gestion. Ainsi l'apport d'azote est plus favorable aux Anéciques tête noire lorsque la pression du pâturage est limitée par l'alternance avec la fauche.
Par ailleurs, l'association de fertilisation minérale et organique a montré un effet positif sur les Endogés en système pâturé. Cette observation est probablement expliquée par un développement et donc une sénescence racinaire plus importante dans ce système dû à de forts apports azotés sous différentes formes.
Les Anéciques tête rouge n'ont montré aucune sensibilité à l'apport d'azote minérale.

Cette hypothèse met en évidence les effets de l'apport de fertilisation d'un point de vue global mais il serait intéressant de prendre en compte les différentes quantités apportées pour établir des seuils de sensibilité des lombrics. Ainsi, en échantillonnant plusieurs exploitations ayant les mêmes caractéristiques de milieu et de climat, le modèle de poisson pourrait établir des comparaisons sur un gradient de fertilisation. De même, la prise en compte de la pression du pâturage (piétinement, quantité des rejets organiques) exprimée en UGB.JPP/ha/an (JPP correspond aux Jours de Présence au Pâturage) affinerait les résultats. Toutefois les données recueillies durant le questionnaire étaient insuffisantes pour déterminer cette variable.

L'hypothèse n°2 stipule que dans les prairies non fertilisées et uniquement pâturées l'abondance des différentes catégories de lombrics est favorisée par l'apport des déjections régulières des bovins.
En effet, les urines et fèces déposées favorisent les décomposeurs tels que les lombrics qui assurent le recyclage et la minéralisation de la matière organique ("turnover" de la matière).
D'un point de vue général, en système uniquement pâturé, la pression des bovins répartie sur une année est plus importante qu'en système mixte dont les prélèvements s'effectuent également par la fauche. Néanmoins, les résultats ont montré que pour les prairies non fertilisées, il n'existait aucune différence significative d'abondance de chacune des catégories écologiques entre les deux systèmes.

Ces résultats doivent malgré tout être tempérés, car l'intensité d'exploitation de la prairie est liée à sa capacité à produire de l'herbe. Par exemple la pression animale, peut être plus faible dans les prairies uniquement pâturées à faible potentiel par rapport aux systèmes mixtes à fort potentiel. Dans ce contexte, il parait intéressant de déterminer l'abondance des lombrics en fonction des UGB.JPP/ha/an.
De plus, pour répondre à l'hypothèse n°2, il aurait été préférable de comparer des prairies uniquement fauchées avec des prairies uniquement pâturées. Cependant le nombre limité de prairies uniquement fauchées n'a pas permis au modèle statistique de traiter les résultats.
Ainsi pour pallier à ces limites, il serait nécessaire d'apporter un nombre suffisant de prélèvements suivant la méthodologie décrite dans ce mémoire.

2. Limites de l'étude

L'étude a été réalisée auprès d'exploitants volontaires. Il parait donc normal que l'ensemble du protocole soit peu contraignant et relativement rapide. Cependant les données récupérées n'ont pas permis de mettre en avant la pression du pâturage exercée par les bovins. En effet, dans les parcelles, les bovins entrent et sortent à plusieurs reprises au cours d'une année notamment en pâturage tournant. Les agriculteurs ont montré des difficultés à communiquer ces dates qui évoluent d'une année à l'autre, ainsi seules les dates de première entrée et de dernière sortie nous ont été transmises.

Ensuite, les analyses statistiques et les recherches bibliographiques ont montré l'importance de la texture du sol sur l'abondance des lombrics. Toutefois les données collectées auprès des agriculteurs et nos propres appréciations manquent de précision sur la texture.

Par ailleurs, le traitement statistique a montré des limites. En effet le nombre de variables intégrées au modèle de Poisson était limité par un manque de puissance du logiciel. Ainsi, certains choix ont dû être faits pour mettre en valeur les pratiques agronomiques parmi les autres variables.

3. Perspectives de travail

Afin d'évaluer avec plus de précision l'impacte du pâturage sur les vers de terre, il serait nécessaire de déterminer le nombre de jours de présence au pâturage (UGB.JPP/ha/an) et d'intégrer dans le modèle statistique, des parcelles uniquement fauchées.
Ceci nécessiterait d'augmenter le nombre de prélèvements sur les parcelles uniquement fauchées, et de diminuer le nombre de variables associées aux critères environnementaux pour permettre l'interprétation par le modèle statistique.

L'analyse des caractéristiques des sols donnant le pH, la texture, la roche mère et la profondeur pourraient enrichir la base de données traitée par le modèle statistique.

Enfin, il semble important de déterminer la richesse spécifique ainsi que les espèces rares. Ainsi, l'ensemble des vers adultes photographiés et recueillis dans les piluliers feront l'objet d'études génétiques à l'université de Rennes par une équipe dirigée par Daniel Cluzeau.

CONCLUSION

Evaluer les effets des pratiques agricoles sur la biodiversité n'est pas chose facile. En effet, il n'existe pas un « type de pratique idéal ». Certaines gestions peuvent favoriser des espèces et en défavoriser d'autres.
Jusqu'à présent peu d'études relatives à l'évaluation de la biodiversité dans les exploitations agricoles avaient été réalisées sur une échelle nationale avec autant de répétitions.
La méthodologie d'échantillonnage a permis d'intégrer différents modes de gestion représentatifs sur le plan français qui combinent le mode d'exploitation et la quantité de fertilisation organique et azotée apportée.
La typologie inspirée de la matrice (figure 9) et établie à partir des capacités du modèle de Poisson, a permis de différencier le pâturage du système mixte ainsi que le type de fertilisation.
Malgré les limites du modèle statistique, nous avons pu constater que la dynamique de population de certaines catégories écologiques tels que les Anéciques tête noire et les Endogés, est favorisée par l'apport de fertilisation minérale et organique. En revanche ces conditions semblent néfastes aux Epigés. En effet, ces espèces qui vivent en surface souffrent de l'accumulation des apports d'azote sous forme uréique et ammoniacale responsables des dégagements d'ammoniac.
Enfin, aucune différence d'abondance de lombric n'a été constatée entre l'ensemble des prairies non fertilisées uniquement pâturées et mixtes (pâturé et fauché). Evaluer la pression exercée par les bovins sur les quatre catégories de lombrics permettrait d'apporter une réponse plus précise quant à l'effet du pâturage sur les groupes écologiques.

Les limites du modèle statistique n'ont pas permis d'étudier l'effet du milieu (favorable/défavorable), or nous avons pu constater à partir des observations sur le terrain, de fortes abondances totales de lombrics sur des prairies fortement exploitées de part leur capacité à produire le l'herbe. Par exemple, le record de 322 vers sur un mettre carré à été enregistré en Auvergne dans une prairie pâturée et fauchée deux fois par an. Par ailleurs, cette prairie reçoit 70 kg d'azote minéral/ha/an et 30 tonnes de lisier/ha/an.

Ne serait-t-il pas plus plausible que l'abondance totale de vers soit d'avantage liée au potentiel de production de la prairie qu'aux effets des pratiques en elles-même ?

Bibliographie

Bachelier G., 1978. La faune des sols, son écologie et son action. IDT n°38 ORSTOM, Paris. 391 p.

Bolton, P.J., Phillipson, J, 1976. Burrowing, feeding, egestion and energy budgets of Allolobophora rosea (Savigny) (Lumbricidae) . Oecologia, p. 225–245.

Bouche M.B., 1971. Relation entre les structures spatiales et fonctionnelles des écosystèmes illustrés par le rôle pédobiologique des vers de terre. *In* Pesson P. (Ed). La vie des sols. Gauthier-Villars, p. 187-209.

Bouché M. B., 1972. Lombriciens de France. Écologie et systématique.[s.l.] : Institut national de la recherche scientifique, 671 p.

Bouche M.B., 1977. Stratégies lombriciennes . Bull. Ecol.. n°25, p. 122-132.

Carignan V., Villard M. A., 2002. Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. Environmental monitoring and assessment, Vol. 78, n°1, p. 45–61.

Chanseaume A, 2010. Evaluation de la biodiversité ordinaire à différentes échelles de l'espace agricole. Nancy.

Chevassus-au-Louis B., Salles J. M., Pujol J. L., 2009. Approche économique de la biodiversité et des services liés aux écosystèmes. Contribution à la décision publique.

Clergue Boris, Amiaud Bernard, Pervanchon F., Lasserre-Joulin F., Plantureux Sylvain, 2005. Biodiversity: function and assessment in agricultural areas. A review. Agronomy for Sustainable Development [En ligne]. Vol. 25, n°1, p. 1-15. Disponible sur: < http://dx.doi.org/10.1051/agro:2004049 > (consulté le 19 juin 2012)

Cluzeau D., Binet F., Vertes F., Simon J., Riviere J., Trehen P., 1992. Effects of intensive cattle trampling on soil plant earthworms system in 2 grassland types. Soil Biol. Biochem. [En ligne]. Vol. 24, n°12, p. 1661-1665. Disponible sur: < http://dx.doi.org/10.1016/0038-0717(92)90166-U>

Cluzeau D., Pérès G., Thomas F., 2004. L'importance de la biodiversité du sol: le cas du ver de terre. n°27, p. 14-23.

Curry J.P., 1976. Some effects of animal manures on earthworms in grassland. Pedobiologia. n°16, p. 425-438.

Curry, J. P., 1998. Factors affecting earthworm abundance in soils. *In:* Edwards, C. A. (eds), Earthworm Ecology. Boca Raton, St. Lucie Press. 389 p.

Desriers M., 2007. L'agriculture française depuis cinquante ans: des petites exploitations familiales aux droits à paiement unique. Agreste Cahiers. Vol. 2, p. 3-14.

Dooley E. E.;Doole., 2005. Millennium Ecosystem Assessment. Environ health persp. Vol. 113, n°9, p. A591, 591.

Dupraz C., 2005. Entre agronomie et écologie: vers la gestion d'écosystèmes cultivés. Demeter. p. 5.

Edwards C.A., Lofty J.R., 1972. Biology of earthworms. Chapman and Hall, LTD London. 283p.

GIBON A., 2005. Managing grassland for production, the environment and the landscape. Challenges at the farm and the landscape level. LIVEST PROD SCI. Vol. 96, n°1, p. 31, 11.

Hutchinson, S. A. et Kamel, M., 1956. The effect of earthworms on the dispersal of soil fungi. J. Soil Sci. 7, p. 213-218.

Institut de l'Elevage, ITAVI, ITCF, ITP, 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme, 101 p.

Institut de l'Elevage, 2007. La prairie, un enjeu économique et sociétal. Disponible sur: < http://www.agrireseau.qc.ca/bovinsboucherie/documents/hors_serie_PRAIRIE-v.pdf > (consulté le 23 février 2012)

Lavelle P., Spain A., 2001. Soil Ecology. Kluwer Academic Publishers. 654 p.

Lavelle P., 1981. Stratégie de reproduction chez les vers de terre. Acta Oecol. Gener., p. 117-133.

Lavelle P., 1983. The structure of earthworm communities. In Satchell J.E. Chapman & Hall, London.

Lopez C., 2000. La regression de poisson avec Genmod [En ligne].. Disponible sur : < http://78.155.145.72/html/html1/IMG/pdf/La_regression_de_Poisson_avec_GENMOD.pdf >

Mc Arthur R.H., Wilson E.O., 1967. Some generalized theorems of natural selection. p. 1893-1897.

Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 2011. Synthèse du protocole de Nagoya [En ligne]. Disponible sur: < http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/1-MEDDTL-Synthese-Protocole-Nagoya.pdf > (consulté le 24 février 2012)

Niqueux M., Arnaud R., 1967. Recherche d'une relation entre précocité d'épiaison et températures pour quelques variétés de gramine des fourragères observées en France. Physiologie Végétale. Vol. 1, p. 29-64.

Paoletti M., 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. Vol. 74, p. 137-155. Disponible sur: < http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00034-1 > (consulté le 23 juillet 2012)

Pelosi C., 2008. Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre lumbricus terrestris au champ [En ligne]. Thiverval-Grignon : Agro Paris Tech. Disponible sur: < http://www.inra.fr/ea/EA_these/fichier_these/These-C-PELOSI.pdf >

Peres G., Cluzeau D., Curmi P., Hallaire V., Chaussod R., Andreux F., Moncomble D., 1996. The influence of the relationships between organic matter and earthworm community on vineyard soil structure. XII Int. Coll. on Soil Zoology. Dublin.

Peres G., 2003. Identification et quantification in situ des interactions entre la diversité lombricienne et la macro-bioporosité dans le contexte polyculture breton. Influence sur le fonctionnement hydrique du sol [En ligne]. Université de Rennes 1. Disponible sur: < http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00007432/ > (consulté le 16 février 2012)

Pfiffner L., 2012 « Dossier Ver de terre ». *In* Bioactualites [En ligne]. Disponible sur: < http://www.bioaktuell.ch/fr/sol-sain-plantes-saines/biodiversite/ver-de-terre.html > (consulté le 26 juillet 2012)

Phillipson J., Abel R., Steel J., Woodell S.R.J., 1976. Earthworms and the factors governing their distribution in an english beechwood. Pedobiologia, p. 258-285.

Le Roux X., Barbault R., 2008. Expertise scientifique collective INRA. [En ligne]. Disponible sur: < www.inra.fr > (consulté le 13 février 2012)

Romans J.C.C., Robertson L., 1975. Some characteristics of the freely drained soils of the Ettrick association in East Scotland. Geoderma. p. 297-317.

Satchell, J. E., 1980. 'r' worms and 'K' worms: a basis for classifying lumbricid earthworm strategies. *In:* Dindal, D. L. (eds), Soil biology as related to land use practices. Proc. 7th Intl Colloq. Soil Zool. Syracuse, Environmental Protection Agency, Washington D. C. pp. 848-854.

Smith R. G., McSwiney C. P., Grandy A. S., Suwanwaree P., Snider R. M., Robertson G. P., 2008. Diversity and abundance of earthworms across an agricultural land-use intensity gradient. Soil Tillage Res. [En ligne]. Vol. 100, n°1-2, p. 83-88. Disponible sur : < http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.04.009 >

Tondoh J. E., Monin L. M., Tiho S., Csuzdi C., 2006. Can earthworms be used as bio-indicators of land-use perturbations in semi-deciduous forest?. Biology and Fertility of Soils [En ligne]. Vol. 43, n°5, p. 585-592. Disponible sur: < http://dx.doi.org/10.1007/s00374-006-0144-z > (consulté le 24 juillet 2012)

Van Horn H. H., Newton G. L., Kunkle W. E., 1996. Ruminant Nutrition from an Environmental Perspective: Factors Affecting Whole-Farm Nutrient Balance. J. Anim.

Liste des Annexes

ANNEXE 1 : Principales caractéristiques des quatre catégories écologiques de vers de terre.. 1

ANNEXE 2 : Mode d'exploitation et caractérisation du milieu 2

ANNEXE 3 : Arbre de sélection des parcelles P1, P2 et P3 3

ANNEXE 4 : Relevés relatifs au milieu et aux conditions climatiques 4

ANNEXE 5 : Relevé du nombre d'individus 5

ANNEXE 6 : Le modèle de Poisson 6

ANNEXE 7 : Reconsidération de la typologie d'origine 7

ANNEXE 8 : Statistiques descriptives 8

ANNEXE 9 : Analyses des effets du climat sur les quatre catégories écologiques 9

ANNEXE 10 : Répartition des prairies en fonction des quantités d'azote apporté 11

ANNEXE 11 : Explication de l'obtention des lettres à l'intérieur des barres 12

ANNEXE 12 : Indice de Pielou 13

ANNEXE 1 : Principales caractéristiques des quatre catégories écologiques de vers de terre

(Bouché 1972, 1977)

	Epigés	Anéciques tête rouge	Anéciques tête noire	Endogés
Alimentation	Litière décomposée à la surface du sol ; peu ou pas d'ingestion de sol	MO décomposée à la surface du sol, dont une part est emmenée dans les galeries ; un peu d'ingestion de sol	MO décomposée à la surface du sol, dont une part est emmenée dans les galeries ; un peu d'ingestion de sol	Sol minéral et racines en décomposition
Pigmentation	Sombre, souvent ventrale et dorsale	Gradient d'intensité. La tête est plus foncée et rougeâtre	Gradient d'intensité. La tête est plus foncée et tend vers le noir	Peu ou pas pigmenté. Rosâtre/ verdâtres
Taille adultes	Petite (1-6 cm)	Grande (10-110 cm)	Grande (10-110 cm)	Moyenne (1-20 cm)
Galeries	Pas ; quelques galeries dans les 1ers cm de sol par espèces intermédiaires (Epi-anéciques)	Grandes galeries verticales et permanentes	Grandes galeries verticales et permanentes	Galeries continues, extensives, subhorizontales, entre 15 et 40 cm de profondeur
Mobilité	Mouvements rapides en réponse à perturbation	Retrait rapide dans galerie	Retrait rapide dans galerie	Généralement lents
Longévité	Courte	Longue	Longue	Intermédiaire
Temps de génération	Court	Long	Long	Court
Survie à sécheresse	Sous forme de cocons	Quiescence principalement	Diapause principalement	Diapause
Prédation	Très importante, surtout par les oiseaux, mammifères et arthropodes prédateurs	Importante, quand ils sortent de leurs galeries	Importante, quand ils sortent de leurs galeries	Faible ; principalement par les arthropodes prédateurs

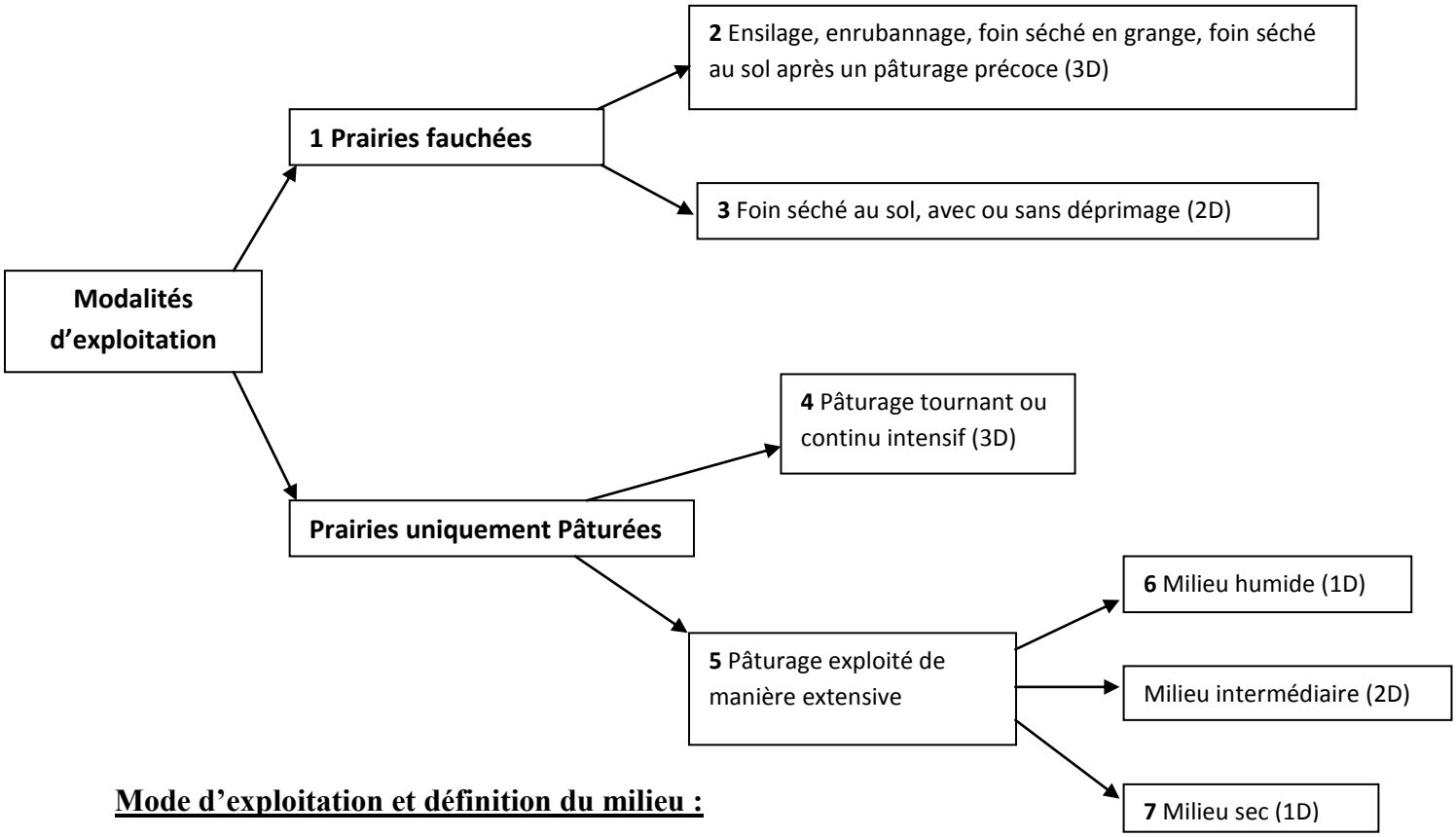
(MO = Matière Organique)

Définition des types de survie à la sécheresse :

La quiescence : l'arrêt l'activité est causé par des conditions contraignantes (sécheresse par exemple), l'activité reprendra dès le retour de bonnes conditions. De même l'hibernation provoquée par la baisse de la température du sol, prend fin dès que le sol se réchauffe (Bouché, 1972).

La diapause est déclenchée par la dessiccation du milieu ou d'un agent traumatisant comme l'ablation d'une partie du corps par exemple (Saussey, 1966). L'arrêt de l'activité est géré par les hormones : les espèces concernées sont en diapause chaque année entre juin et début septembre.

ANNEXE 2 : Mode d'exploitation et caractérisation du milieu



Mode d'exploitation et définition du milieu :

(1) Prairies qui sont fauchées en première coupe ou après un déprimage plus ou moins sévère – il ne s'agit pas seulement des prairies qui sont uniquement fauchées.

(2) Cette catégorie vise à rassembler les prairies qui font l'objet d'une première intervention qui soit à la fois précoce et intense. En cas de pâturage comme première intervention avant la fauche, on distingue ce pâturage précoce du déprimage (cas 3) par le fait que le couvert végétal est suffisamment mangé pour que les repousses ne contiennent que peu d'épis.

(3) Il s'agit ici d'un vrai déprimage : le pâturage est précoce, rapide et peu intense. Les épis des espèces herbacées ne sont pas coupés ou très peu.

(4) L'herbe est courte et homogène à la sortie des animaux (pas ou peu de refus – ou il y a fauche des refus) - Si les pratiques sont changeantes en cours d'année, c'est ce qui se passe au printemps qui importe le plus.

(5) L'herbe est hétérogène quand les animaux sortent, il y a des refus et ceux-ci ne sont pas fauchés – il peut y avoir des petits ligneux dans la parcelle.

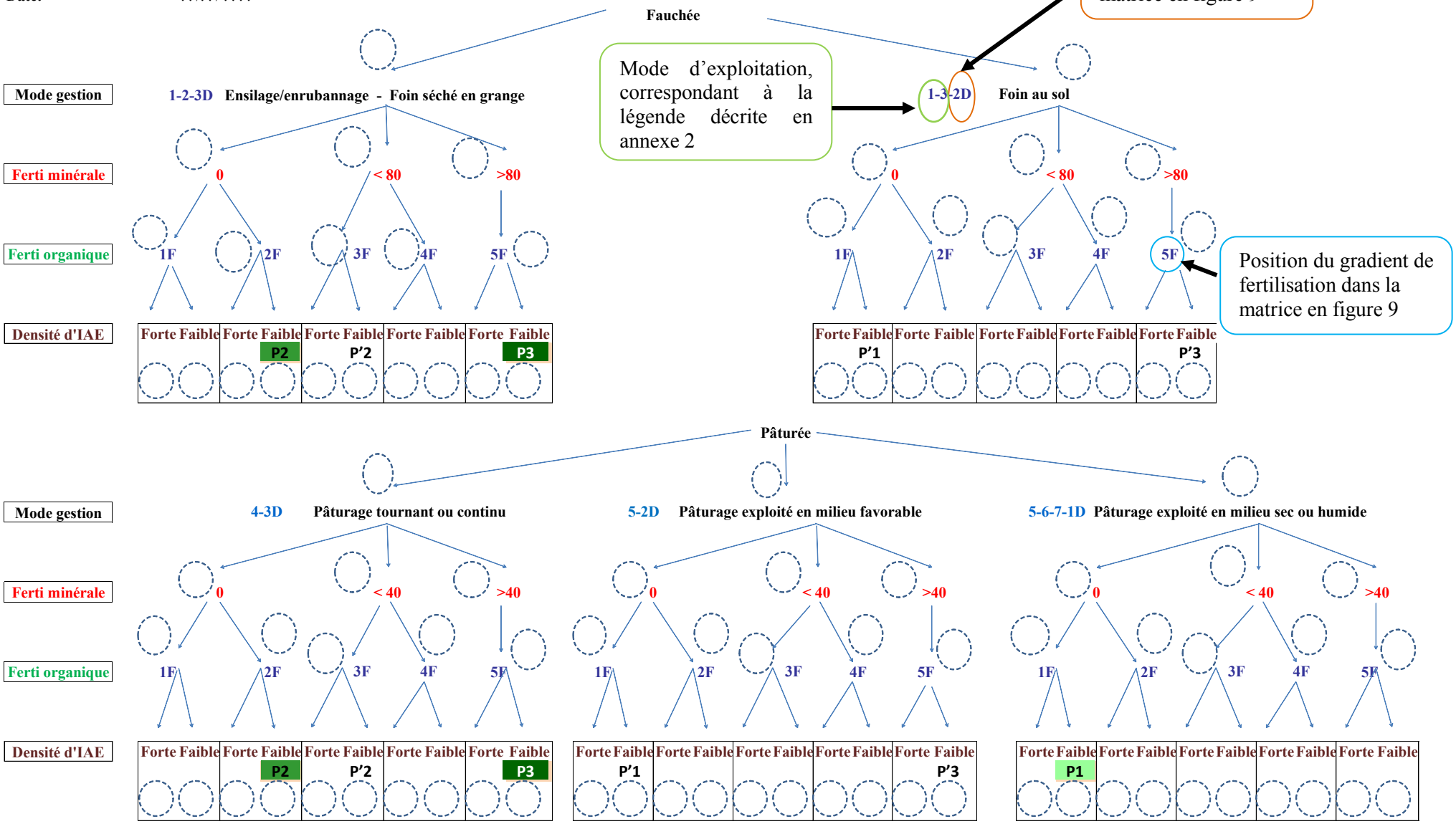
(6) Milieu humide = sol gorgé d'eau de façon continue en hiver et au printemps (au moins).

(7) Milieu sec = sol superficiel (< ~ 10 cm) et en pente.

Source : Mémoire d'Aline Chanseaume, 2010

ANNEXE 3 : Arbre de sélection des parcelles P1, P2 et P3

Exploitation/ n°siret :
Lieu: Auvergne / Champagne-Ardenne, Lorraine / Normandie
Date: . . /. . / . . . .



SUIVI DES LOMBRICIENS COMMUNS EN MILIEU AGRICOLE

Feuille de terrain- Prairies permanentes

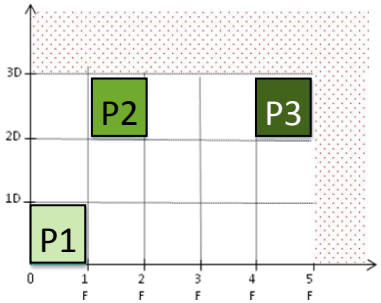
Exploitation/exploitant :
Situation géographique :
Adresse :

Date : . . / . . / . . . .
Observateurs :
Coordonnées GPS :

HABITAT : PAYSAGE

Texture du sol :

○ Argile ○Limon ○Sable



Parcelle pâturée durant le prélèvement :

○ Oui ○Non

Bordure de la parcelle (distance en m des observations)	
lisière de bois	
haie	
bande enherbée	
bord de route ou chemin	
fossé ou cours d'eau	
aucune = autre culture	
autre	

Milieu limitrophe	
autre culture	
prairie	
bois	
zone urbaine	
étang	
autre	

CONDITIONS DES OBSERVATIONS

Date Heure de début Heure de fin

Météo : T°C… Ensoleillement : ○ Soleil ○Peu nuageux ○ Couvert Pluie : ○ nulle ○légère ○ forte

Vent : ○ nul ○léger ○ fort Humidité : ○ sec ○humide ○ engorgé

Date dernière pluie et gelée : . ./../…. , ../../….

ANNEXE 5 : Relevé du nombre d'individus

		Placette 1	Placette 2	Placette 3
Epigés	**Adultes**			
	Juvéniles			
Anéciques **tête rouge**	**Adultes**			
	Juvéniles			
Anéciques **tête noire**	**Adultes**			
	Juvéniles			
Endogés	**Adultes**			
	Juvéniles			
Individus non déterminés				
Total placette =				

ANNEXE 6 : Le modèle de Poisson

La méthode de régression de Poisson concerne l'analyse de données de comptages ou de donnée de dénombrement. On s'intéresse au nombre de fois « **n** » où se produit un événement d'intérêt. Soit **Y** ce nombre. La Méthode de régression de Poisson suppose que **Y** soit une distribution de probabilité de Poisson. Cette loi caractérisée par un paramètre **μ**, suit l'expression suivante :

$$\mathbf{P\ (Y=n)= \frac{\mu^{n} * e^{-\mu}}{n!}}$$

- e est la base de l'exponentielle
- n! est la factorielle de n
- μ est un nombre réel strictement positif.

On dit alors que *Y* suit la *loi de Poisson* de paramètre μ.

Par exemple, si un certain type d'évènements se produit en moyenne 4 fois par minute, pour étudier le nombre d'évènements se produisant dans un laps de temps de 10 minutes, on choisit comme modèle une loi de Poisson de paramètre $\mu = 10 \times 4 = 40$.

Source : Lopez C., Institut de l'Elevage, Service Biométrie, 2000. La régression de poisson

ANNEXE 7 : Reconsidération de la typologie d'origine

Résultats de l'ACP réalisée sous SPAD

Typologie en 5 classes :

Classe 1: **Milieu pâturé** en milieu contraignant ou favorable, avec ou sans fertilisation azotée, **sans apport de matières organiques**

Classe 2 : Milieu **pâturé ou mixte** en milieu majoritairement favorable, avec un **apport d'azote compris entre 1 à 25 kg/ha/an**, **sans apport de matière organique liquide**, avec ou sans apport de fumier.

Classe 3 : Milieu pâturé et/ou **fauché 2 fois maximum** en milieu favorable majoritairement avec ou sans apport d'azote et majoritairement sans apport de matière organique liquide

Classe 4 : Milieu **pâturé et fauché (mixte) en milieu favorable** avec ou sans apport d'azote et de matière organique

Classe 5 : Milieu pâturé et/ou fauché en **milieu favorable** avec un **apport d'azote supérieur à 100 kg d'azote/ha/an, sans apport de fumier avec apport de matière organique liquide**

Comparaison de la typologie d'origine avec la nouvelle typologie créée sous SAS :

Pourcentage de la modalité (P1, P2, P3) dans la classe

			Typologie d'origine		
			P1	P2	P3
Typologie retenue sous SAS	Non fertilisés	Pâturé	52,78	16,67	2,78
		Fauché	5,56	2,78	2,78
		Mixte	5,56	2,78	2,78
	Apport MM	Pâturé	11,11	38,89	16,67
		Fauché	0,00	0,00	5,56
		Mixte	2,78	2,78	11,11
	Apport MO	Pâturé	2,78	8,33	8,33
		Fauché	0,00	0,00	0,00
		Mixte	5,56	5,56	5,56
	Apport MM+MO	Pâturé	8,33	5,56	5,56
		Fauché	0,00	0,00	5,56
		Mixte	5,56	16,67	33,33
TOTAL			**100,00**	**100,00**	**100,00**

27,8% des P1 ne répondent pas aux conditions des « P1 types »

En comparant la typologie d'origine avec la nouvelle, on constate que peu de classes sont communes. Ce tableau confirme que l'utilisation de la typologie d'origine, ne permet pas de différentier les différents types de fertilisation. Par exemple, les « P1 types » correspondent à des prairies uniquement fertilisées en matière organique, or 27,8 % des P1ne répondent pas à cette condition.

ANNEXE 8 : Statistiques descriptives

			Epigés					Anéciques tête rouge					Anéciques tête noire					Endogés					
			Adulte	Jeune	**Total**	Pi A	Pi J	Adulte	Jeune	**Total**	Pi A	Pi J	Adulte	Jeune	**Total**	Pi A	Pi J	Adulte	Jeune	**Total**	Pi A	Pi J	**Total vers**
Champagne Ardenne Lorraine	Pâturage	NF	43	13	**56**	77%	23%	57	170	**227**	25%	75%	33	193	**226**	15%	85%	177	165	**342**	52%	48%	**851**
		MM	40	35	**75**	53%	47%	48	100	**148**	32%	68%	62	171	**233**	27%	73%	169	172	**341**	50%	50%	**797**
		MO	3	2	**5**	60%	40%	13	43	**56**	23%	77%	11	81	**92**	12%	88%	66	71	**137**	48%	52%	**290**
		MM+MO	0	0	**0**	0%	0%	0	0	**0**	0%	0%	12	9	**21**	57%	43%	3	5	**8**	38%	63%	**29**
	Fauche	NF	7	0	**7**	100%	0%	0	3	**3**	0%	100%	4	29	**33**	12%	88%	19	52	**71**	27%	73%	**114**
		MM	7	0	**7**	100%	0%	1	32	**33**	3%	97%	6	39	**45**	13%	87%	18	18	**36**	50%	50%	**121**
		MO	**Aucune parcelle**																				
		MM+MO	10	2	**12**	83%	17%	5	37	**42**	12%	88%	7	85	**92**	8%	92%	82	133	**215**	38%	62%	**361**
	Mixte	NF	7	1	**8**	88%	13%	3	20	**23**	13%	87%	1	20	**21**	5%	95%	12	12	**24**	50%	50%	**76**
		MM	10	5	**15**	67%	33%	19	48	**67**	28%	72%	3	30	**33**	9%	91%	41	27	**68**	60%	40%	**183**
		MO	13	9	**22**	59%	41%	9	13	**22**	41%	59%	60	72	**132**	45%	55%	51	48	**99**	52%	48%	**275**
		MM+MO	34	9	**43**	79%	21%	67	133	**200**	34%	67%	49	90	**139**	35%	65%	106	122	**228**	46%	54%	**610**
Total Région			174	76	**250**	70%	30%	222	599	**821**	27%	73%	248	819	**1067**	23%	77%	744	825	**1569**	47%	53%	**3707**
Basse-Normandie	Pâturage	NF	87	23	**110**	79%	21%	117	214	**331**	35%	65%	31	156	**187**	17%	83%	206	118	**324**	64%	36%	**952**
		MM	68	6	**74**	92%	8%	64	155	**219**	29%	71%	40	84	**124**	32%	68%	59	49	**108**	55%	45%	**525**
		MO	31	2	**33**	94%	6%	19	36	**55**	35%	65%	6	52	**58**	10%	90%	32	41	**73**	44%	56%	**219**
		MM+MO	18	2	**20**	90%	10%	61	100	**161**	38%	62%	13	42	**55**	24%	76%	153	257	**410**	37%	63%	**646**
	Fauche	NF	21	6	**27**	78%	22%	7	20	**27**	26%	74%	3	22	**25**	12%	88%	9	16	**25**	36%	64%	**104**
		MM	2	7	**9**	22%	78%	8	15	**23**	35%	65%	4	4	**8**	50%	50%	0	2	**2**	0%	100%	**42**
		MO	**Aucune parcelle**																				
		MM+MO																					
	Mixte	NF	14	8	**22**	64%	36%	5	32	**37**	14%	86%	0	2	**2**	0%	100%	12	40	**52**	23%	77%	**113**
		MM	9	11	**20**	45%	55%	5	54	**59**	8%	92%	15	265	**280**	5%	95%	6	11	**17**	35%	65%	**376**
		MO	**Aucune parcelle**																				
		MM+MO	61	7	**68**	90%	10%	77	211	**288**	27%	73%	25	113	**138**	18%	82%	160	161	**321**	50%	50%	**815**
Total Région			311	72	**383**	81%	19%	363	837	**1200**	30%	70%	137	740	**877**	16%	84%	637	695	**1332**	48%	52%	**3792**
Auvergne	Pâturage	NF	39	22	**61**	64%	36%	41	195	**236**	17%	83%	22	67	**89**	25%	75%	99	81	**180**	55%	45%	**566**
		MM	26	5	**31**	84%	16%	52	295	**347**	15%	85%	20	65	**85**	24%	76%	60	122	**182**	33%	67%	**645**
		MO	0	1	**1**	0%	100%	1	12	**13**	8%	92%	1	8	**9**	11%	89%	5	2	**7**	71%	29%	**30**
		MM+MO	2	0	**2**	100%	0%	10	93	**103**	10%	90%	9	23	**32**	28%	72%	20	62	**82**	24%	76%	**219**
	Fauche	NF	**Aucune parcelle**																				
		MM																					
		MO																					
		MM+MO																					
	Mixte	NF	5	2	**7**	71%	29%	12	76	**88**	14%	86%	7	8	**15**	47%	53%	1	13	**14**	7%	93%	**124**
		MM	2	1	**3**	67%	33%	17	108	**125**	14%	86%	5	12	**17**	29%	71%	27	39	**66**	41%	59%	**211**
		MO	10	0	**10**	100%	0%	36	103	**139**	26%	74%	11	36	**47**	23%	77%	51	46	**97**	53%	47%	**293**
		MM+MO	26	0	**26**	100%	0%	69	384	**453**	15%	85%	19	107	**126**	15%	85%	213	207	**420**	51%	49%	**1025**
Total Région			110	31	**141**	78%	22%	238	1266	**1504**	16%	84%	94	326	**420**	22%	78%	476	572	**1048**	45%	55%	**3113**
Total vers des 3 régions			**595**	**179**	**774**	**77%**	**23%**	**823**	**2702**	**3525**	**23%**	**77%**	**479**	**1885**	**2364**	**20%**	**80%**	**1857**	**2092**	**3949**	**47%**	**53%**	**10612**

NF : Non fertilisé
MM : Apport de Matière minérale
MO : Apport de matière organique
MM+MO : Apport de matière organique et de matière minérale
Pi A Proportion d'adultes dans la catégorie
Pi J Proportion de jeunes dans la catégorie
% :proportion > 50%

Période des relevés

Champagne Ardenne/ Lorraine : entre le 20 et le 23 mars et entre le 18 et 27 avril.
Basse Normandie : entre le 29 mars et le 12 avril.
Auvergne : entre le 9 et le 24 mai.

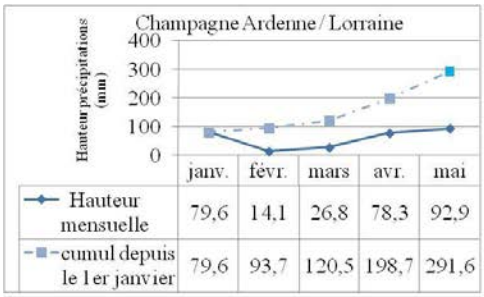
Récapitulatif des données météorologiques

La moyenne des données météorologiques de chaque zones prospectées ont permis d'obtenir un récapitulatif pour les trois zones climatiques selon:
- Le cumul des précipitations depuis le 1er janvier 2012
- Le cumul des températures minimales (base 0°C) depuis le 1er janvier 2012
- Le cumul des températures maximales (base 0°C) depuis le 1er janvier 2012
- Le nombre de jours de gel depuis le 1er janvier 2012

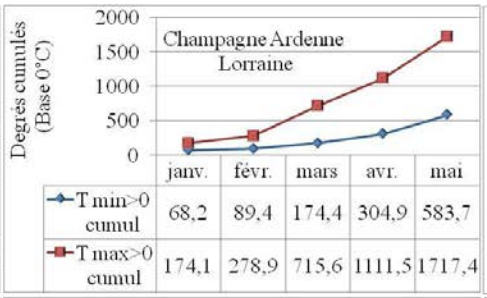
Cumul des précipitations

Cumul des températures minimales et maximales

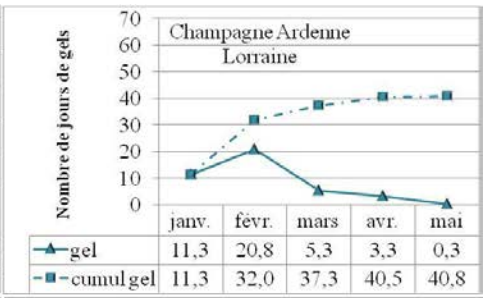
Nombre de jours de gel



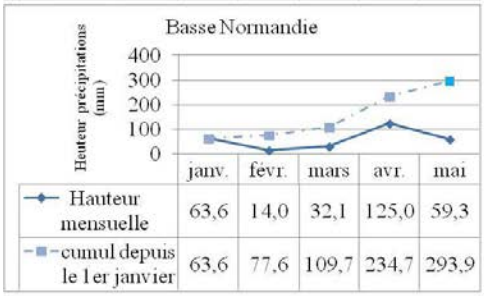
	janv.	févr.	mars	avr.	mai
Hauteur mensuelle	79,6	14,1	26,8	78,3	92,9
cumul depuis le 1er janvier	79,6	93,7	120,5	198,7	291,6



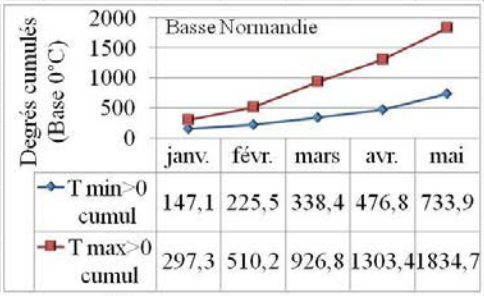
	janv.	févr.	mars	avr.	mai
T min>0 cumul	68,2	89,4	174,4	304,9	583,7
T max>0 cumul	174,1	278,9	715,6	1111,5	1717,4



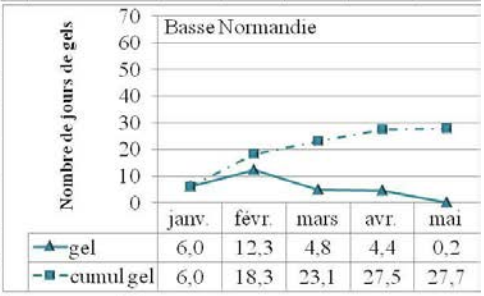
	janv.	févr.	mars	avr.	mai
gel	11,3	20,8	5,3	3,3	0,3
cumul gel	11,3	32,0	37,3	40,5	40,8



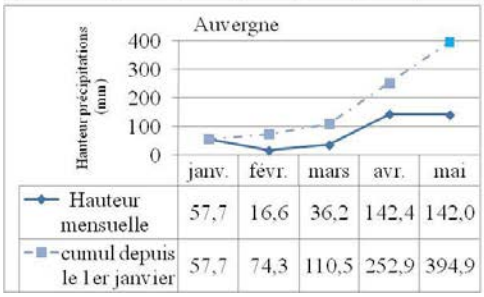
	janv.	févr.	mars	avr.	mai
Hauteur mensuelle	63,6	14,0	32,1	125,0	59,3
cumul depuis le 1er janvier	63,6	77,6	109,7	234,7	293,9



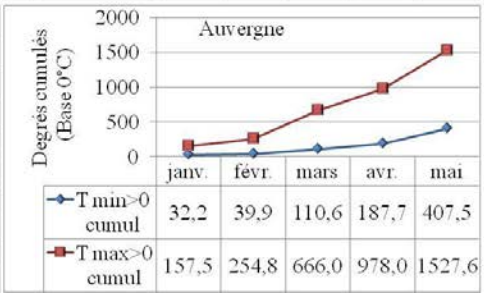
	janv.	févr.	mars	avr.	mai
T min>0 cumul	147,1	225,5	338,4	476,8	733,9
T max>0 cumul	297,3	510,2	926,8	1303,4	1834,7



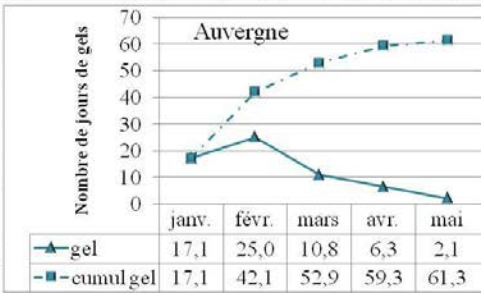
	janv.	févr.	mars	avr.	mai
gel	6,0	12,3	4,8	4,4	0,2
cumul gel	6,0	18,3	23,1	27,5	27,7



	janv.	févr.	mars	avr.	mai
Hauteur mensuelle	57,7	16,6	36,2	142,4	142,0
cumul depuis le 1er janvier	57,7	74,3	110,5	252,9	394,9



	janv.	févr.	mars	avr.	mai
T min>0 cumul	32,2	39,9	110,6	187,7	407,5
T max>0 cumul	157,5	254,8	666,0	978,0	1527,6



	janv.	févr.	mars	avr.	mai
gel	17,1	25,0	10,8	6,3	2,1
cumul gel	17,1	42,1	52,9	59,3	61,3

Evolution des catégories écologiques en fonction des facteurs climatiques et des régions

Rappelons que dans chaque région prospectée, les relevés ont eu lieux durant la période d'activité optimum des lombrics. C'est-à-dire lorsque la population atteint son maximum d'individus.

Dans un premier temps, les valeurs de chaque facteur climatique ont été réparties en plusieurs classes. L'objectif étant d'observer sur un gradient d'intensité et par l'intermédiaire des analyses descriptives et du modèle de poisson, les relations entre ces facteurs et l'abondance de chaque catégorie écologique.

Dans un second temps, il s'agissait d'attribuer à chaque région, la classe dans laquelle elle se situait durant la période des relevés afin de déterminer les effets des régions sur les catégories lombriciennes.

L'ensemble de cette analyse à permis d'obtenir le tableau suivant qui présente une comparaison des minimums et maximums de vers entre les régions pour chaque variable.

Effets des facteurs climatiques sur les Epigés (Ep), les Anéciques tête rouge (Ar), les Anéciques tête noire (An) et les Endogés (En) selon les régions.

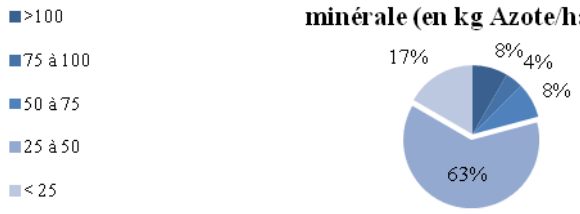
Facteur climatique	Région	Classe correspondante	Ep	Ar	An	En
Cumul température min > 0 depuis janvier	Basse Normandie	400°C à 550°C	++	++	++	*N.S.*
	Champagne Ardenne / Lorraine	250°C à 400°C	-	-	-	*N.S.*
	Auvergne	400°C à 550°C	++	++	++	*N.S.*
Cumul température max > 0 depuis janvier	Basse Normandie	1050°C à 1350°C	*N.S.*	*N.S.*	++	++
	Champagne Ardenne / Lorraine	1050°C à 1350°C	*N.S.*	*N.S.*	++	++
	Auvergne	1350°C à 1650°C	*N.S.*	*N.S.*	-	-
Nombre de jours de gel depuis janvier	Basse Normandie	10 jours à 30 jours	++	++	++	++
	Champagne Ardenne / Lorraine	30 jours à 50 jours	+	+	++	++
	Auvergne	50 jours à 70 jours	-	-	-	-
Culmul des précipitations depuis janvier	Basse Normandie	200 mm à 300 mm	+	-	-	-
	Champagne Ardenne / Lorraine	100 mm à 200 mm	++	-	++	++
	Auvergne	300 mm à 400 mm	-	-	-	+

N.S. : pas d'effet significatif
- : classe où l'on observe le minimum de vers
+ : classe intermédiaire (si elle existe)
++ : classe où l'on observe le maximum de vers

ANNEXE 10 : Répartition des prairies en fonction des quantités d'azote apporté

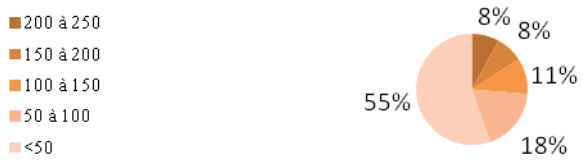
PATURAGE

Répartition des prairies paturées en fonction des quantités d'azote minérale (en kg Azote/ha/an)



Répartition des prairies paturées en fonction des quantités d'azote organique (en kg Azote/ha/an)

Répartition des prairies paturées en fonction des quantités d'azote minérale et organique (en kg Azote/ha/an)

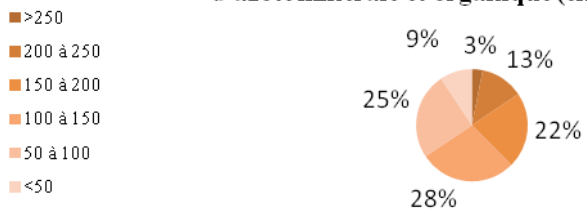


PATURAGE + FAUCHE

Répartition des prairies en système mixte en fonction des quantités d'azote minérale (en kg Azote/ha/an)

Répartition des prairies en système mixte en fonction des quantités d'azote organique (en kg Azote/ha/an)

Répartition des prairies en système mixte en fonction des quantités d'azote minérale et organique (en kg Azote/ha/an)



ANNEXE 11 : Explication de l'obtention des lettres à l'intérieur des barres

L'abondance des lombrics représentée par des barres a été obtenue en effectuant une moyenne à partir des données brutes. Néanmoins, ce chiffre ne prend pas en compte les effets des variables « environnementales ». Les analyses statistiques répondent à cette problématique et permettent d'effectuer des comparaisons multiples.

Par exemple le test statistique effectué ci-dessous montre une différence significative entre la classe 1 et la classe 2 mais aucune entre la classe 1 et 3 ainsi que la classe 2 et 3.

Differences of classe Least Squares Means Adjustment for Multiple Comparisons: Tukey-Kramer							
classe	classe	Estimate	Standard Error	DF	Valeur du test t	Pr > |t|	Adj P
1	2	1.6394	0.8029	92	2.04	0.0440	0.6207
1	3	-0.3610	0.3841	92	-0.92	0.3610	0.9977
2	3	-0.3527	0.3841	92	-0.92	0.3841	0.9977

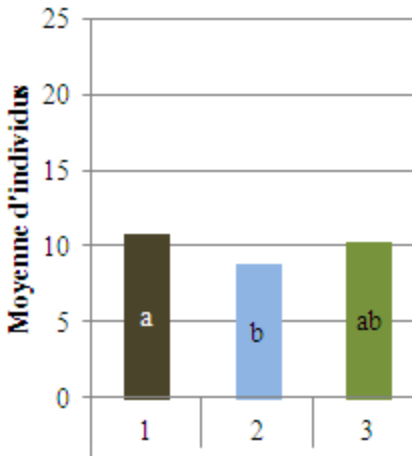
La classe 1 est différente significativement de la classe 2 au seuil de 0.1% (< 0,1).

Aucune différence significative entre les classes 1 et 3 et entre les classes 2 et 3.

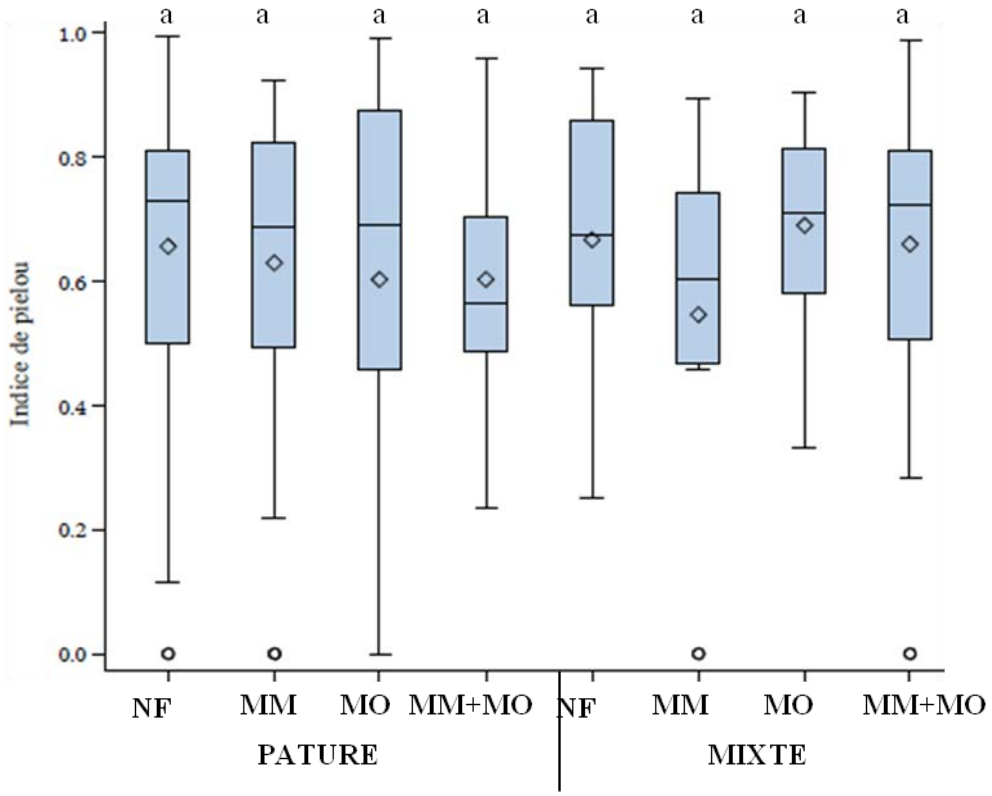
L'abondance des vers dans la classe 1 est plus élevée que dans la classe 2 car le chiffre est positif

<u>La représentation graphique est la suivante :</u>

Les lettres présentes à l'intérieur de chaque barre montrent des différences significatives entre les colonnes d'après les tests statistiques. Par exemple, si des lettres sont communes entre deux colonnes, cela signifie qu'il n'existe pas de différence significative entre ces colonnes. Sur la figure ci-contre, la colonne 1(a) est différente de la colonne 2 (b) mais la colonne 3(ab) n'est pas différente de la colonne 2, ni de la colonne 1.



ANNEXE 12 : Indice de Pielou



De même que pour l'Indice de Shannon, les différents analyses effectuées sur les moyennes ainsi que sur les médianes des box plot, n'ont montré aucune différence significative entre les prairies fertilisées et non fertilisées ainsi qu'entre les modes d'exploitation.

Les résultats indiquent donc que la fertilisation apportée, quelque que soit le mode d'exploitation (pâturé ou fauché), n'affecte pas la répartition des quatre catégories écologiques.

Evaluation des effets des modes d'exploitation et de la fertilisation sur les quatre catégories de lombrics au sein d'un système polyculture-élevage bovin conduit en prairies permanentes

RESUME

La prise en compte des problématiques liées à la biodiversité est devenue un enjeu politique majeur. Concilier production et biodiversité est l'objectif à suivre dans le contexte économique et environnemental actuel. De nombreuses accusations sur la perte de biodiversité, ont été portées sur les systèmes de polyculture élevage en France.
Cette étude vise à apporter des résultats relatifs aux effets des pratiques agronomiques en prairie permanente sur un indicateur : le vers de terre.
Les analyses ont montré que dans les prairies fauchées et paturées, les apports de fertilisation minérale et organique favorisent les anéciques tête noire sans influencer les autres catégories écologiques. En pâturage unique, l'accumulation des apports minéraux et organiques favorisent les espèces localisées en profondeur (endogées) aux dépens des espèces de surface (épigées). Enfin dans les prairies non fertilisées, l'abondance des lombrics est équivalente entre les prairies uniquement paturées et celles qui sont fauchées et paturées.

Mots clefs : prairies permanantes, mode d'exploitation, fertilisation, polyculture-élevage, lombrics

Evaluating effects of operating mode and fertilization on four categories of earthworms in a mixed farming cattle led to permanent grassland

ABSTRACT

Considering questions related to biodiversity has become a major political issue. Reconciling production and biodiversity has to be followed in the current economic and environmental context. Numerous charges about biodiversity loss have been made concerning mixed farming systems in France. This study aims to provide results related to the effects of agronomic practices on permanent grassland using the earthworms as an indicator.
The analysis revealed that in the hay meadows and grazing, the contributions of mineral and organic fertilization favour anecic black head without influencing other ecological categories. Only within grazing conditions, the accumulation of mineral and organic inputs promotes the development of deep localized species (endogeic) at the expense of species living on the surface (growth control). Finally, in unfertilized grasslands, the abundance of earthworms is equivalent in grazed meadows only and in mowed and grazed ones.

Keywords: permanent grassland, operating mode, fertilization, mixed farming, earthworm