

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche



Scientifique

Université Abbes Laghrou Khenchela



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

DEPARTEMENT D'ÉCOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

Mémoire

De fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en écologie et environnement

Option : Protection et Décontamination des Eaux et des Sols Pollués

Thème

Relation Entre Quelques Paramètres De La
Fertilité Chimique Du Sol Et L'abondance
Lombricienne Dans Un Ecosystème
Forestier

Présenté par

Djebbar Fatiha

Laiche Asma

Devant le jury

ZITOUNI W.

MAA. Univ. ABBES Laghrou Khenchela

Présidente

ABABSA N.

MAA. Univ. ABBES Laghrou Khenchela

Encadreur

MERIDJA W.

MAB. Univ. ABBES Laghrou Khenchela

Examinatrice



Remerciement

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

*Nous n'arrivons pas à trouver de mots suffisamment forts pour exprimer la reconnaissance que nous avons à l'égard de notre promoteur **M ABABSA .N**, que ce soit sur le plan professionnel ou personnel. Pour faite découvrir ce sujet que nous adorons et qui devient sans cesse plus complexe au fur et à mesure qu'on avance. Vous êtes une enseignante exceptionnelle, Appris tellement au cours de notre formation, allant de la bonne manipulation.*

*Merci aux membres du jury, les enseignants **M MERIDJA.W** et **M ZITOUNI.W**, d'avoir accepté de juger notre travail. Convaincue que votre savoir nous permettra d'avancer encore plus loin dans ce sujet.*

*Je suis très reconnaissant aux ingénieurs et aux techniciens de la conservation des forêts de khenchela , et surtout **Mr KALLIL. N** sous chef de la circonscription des forêts d'El Hamma et toute son équipe, pour les moyens mis à ma disposition pour réaliser les sorties sur terrain.*

*Nous remerciement s'adresse à **Mr K.BAZRI**. Docteur à l'Université de Constantine pour son aide pratique (l'a détermination des espèces des vers de terre).*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements au chef de laboratoire de biologie Abbas Laghrour Khenchela **Madame CHORFI RAFIKA** et toute l'équipe du laboratoire sans exception pour leur aide.*

Je souhaite remercier toutes les personnes qui ont participé étroitement à l'avancée de nos recherches et à la réalisation des études expérimentales.



Résumé

L'importance des vers de terre pour les sols et la société a évolué au fil du temps.

Notre travail a été mené dans la forêt d'Ouled yagoub (Nord Est Algérien) qui se situe dans la wilaya de Khenchela.

Les résultats des analyses des sols montrent que les sols des sites étudiés ont un caractère légèrement alcalin.

Nous avons dénombré sept individus (07) pour le prélèvement d'automne et quarante deux (42) individus pour le prélèvement de printemps, et seulement trois espèces ont été inventoriées : *Octodrilus complanatus*, *Allolobophora molleri* et *Aporrectodea rosea* dans les différents sites de la forêt.

Cette abondance jugée faible peut être justifiée par la nature du sol ; ainsi que le climat.

Notre étude n'a enregistrée aucune corrélation entre les paramètres de la fertilité chimique analysés et la densité lombricienne.

Mots clés : Abondance, lombric, forêt Ouled yagoub, fertilité chimique.



الملخص

مع تطور الدراسات في مجال علم الحيوان وعلم البيئة بدأت تظهر أهمية الدور الفعال الذي تلعبه ديدان الارض في النظام البيئي.

دراستنا هذه التي اجريت في غابة اولاد يعقوب (شمال شرق الجزائر) الهدف منها هو محاولة ايجاد علاقة بين بعض الخصائص الكيميائية للتربة ووفرة ديدان الارض وكذلك احصاء الانواع الموجودة في منطقة الدراسة.

تبين من خلال هذه الاخيرة ان التربة ذات طابع قلوي حفيف ولم نتمكن من تسجيل أي علاقة ترابط بين الخصائص الكيميائية للتربة ووفرة ديدان الارض. كما تمكنا من احصاء اكبر عدد من ديدان الارض في الفترة الربيعية (42 دودة), مع تسجيل تواجد لثلاث انواع هي

Octodrilus complanatus, *Allolobophora molleri*, *Aporrectodea rosea*

الكلمات الدالة: الخصوبة الكيميائية للتربة, ديدان الأرض, غابة اولاد يعقوب

Summary

The importance of earthworms to soil and society has evolved over time.

Results of soil analysis showed that at the studied area, the soil presented a slightly alkaline character. In the present work, we were interested in the forest of Ouled yagoub, Khenchela (Northeastern Algeria). The objective is to find a relationship between some of the chemical properties of the soil and the abundance of earthworms, as well as the count of the species in the studied area.

Results showed that we could not record any correlation between the chemical properties of the soil and the abundance of earthworms. On the other hand, we were able to perform the count of a large number of earthworms in the spring period (42 worms), with the presence of the three species: *Octodrilus complanatus*, *Allolobophora molleri* et *Aporrectodea rosea*.

Keywords: Chemical fertility of the soil, Earthworms, Forest Ouled yagoub



Liste des Figures :

N	Titre	P
1	Cycle de vie d'un vers de terre	07
2	Ver de terre adulte avec son clitellum bien visible	08
3	Galerie de ver de terre tapissée de déjections	13
4	Carte de la situation de la forêt d' ouled yagoub	19
5	Dispositif d'échantillonnage des lombrics pour les deux périodes d'automne et de printemps	22
6	Préparation des placettes de collecte des vers	23
7	bêchage de la fosse	24
8	Pesage des vers récoltes à l'aide d'une balance de précisions	24
9	Identification des vers à l'aide d'une loupe binoculaire	25
10	Illustration de quelques étapes des analyses physicochimiques	27
11	Variation spatio-temporelle des valeurs moyennes de PH	30
12	Variation spatio-temporelle des valeurs moyennes de CE	31
13	Variation spatio-temporelle des valeurs moyennes de SO_4^{--}	32
14	Variation spatio-temporelle des valeurs moyennes de Ca	32
15	variation spatio-temporelle des valeurs moyennes de Mg^{++}	33
16	Variation spatio-temporelle des valeurs moyennes de Cl	34
17	Pourcentage de dominance des espèces lombricienne dénombrées	38
18	Distribution des paramètres étudiés dans le plan 1/2 de l'ACP	42
19	Distribution des individus dans le plan 1/2 de l'ACP	43

Liste des tableaux :

N	Titre	P
1	Trois groupes écologiques de vers de terre	10
2	enrichissement de la terre par les lombrics	14
3	moyenne des données climatiques de la station météo de Khenchela pour la période de 2002 à 2013	21
4	Valeurs moyennes obtenues pour l'ensemble des paramètres pédologiques mesurés	28
5	Valeurs moyennes de la variabilité spatiale de l'ensemble des variables pédologiques	30
6	Nombre et biomasse des vers de terre identifiés en automne dans la forêt d'ouled yagoub	36
7	Nombre et biomasse des vers de terre identifiés au printemps dans la forêt d'ouled yagoub	37
8	Valeurs moyennes obtenues pour le nombre et la biomasse des populations lombriciennes	39
9	Valeurs moyennes de la variabilité spatiale du nombre et biomasse des vers de terre	39
10	Carré moyen de l'analyse de variance des paramètres étudiés	40
11	Matrice de corrélation entre les différentes paires de paramètres mesurées	41

Liste des abréviations

Rep.	Répétition
Nbre	nombre
Ind/m ²	individus par m ²
meq	milliéquivalents
EDTA	acide éthylène diamine tétraacétique

Sommaire

Introduction

Chapitre 1 : Etude bibliographique

1- Fertilité des sols.....	01
1 -1- La fertilité physique.....	01
1 -2- La fertilité chimique	02
1 -3- La fertilité biologique.....	03
2- L'écosystème forestier.....	04
3- La biodiversité dans les écosystèmes forestiers	05
4- Biologie et écologie des vers de terre et place dans l'écosystème sol.....	05
4 -1- Biologie	06
4 -2- Ecologie	08
5- Les effets des facteurs des milieux sur les vers de terre	11
6- Rôles des vers de terre dans l'amélioration de la fertilité des sols	13
6- 1- Concentration des éléments nutritifs et modification de l'environnement Chimique.....	13
6- 2- Aération et amélioration de la pénétration de l'eau	14
6- 3- La décomposition de la litière et rajeunissement du sol	15
6- 4- Impact des vers de terre sur les bactéries et l'hygiénisation le sol.....	15
6- 5- Les vers de terre favorisent la formation et la stabilité des agrégats du sol	16
6- 6- Impact des vers de terre sur les mécanismes de défense et la croissance des plantes.....	16
Chapitre II- Enoncé général de l'étude	
1 -Présentation de la région d'étude.....	18
1-1- Situation géographique.....	18
1-2- Le relief.....	18
1-3-La géologie	18

1-4-Pédologie	20
1-5-Le climat.....	20
1-6- La Végétation.....	21
2-Echantillonnage des vers de terre.....	22
3-Characterisation du sol.....	25
4- Analyse statistiques.....	26

Chapitre III- Résultats et discussion

1- Les variables pédologiques	28
1-1- Variabilité temporelle.....	28
1-2- Variabilité spatiale.....	29
1- 3- Discussion de la variabilité spatio-temporelle	30
2-L'abondance et biomasse lombricienne	34
2-1-Abondance.....	34
2-2-La biomasse	38
2-3- la variabilité temporelle	38
2-4- la variabilité spatiale	39
3- Analyse de la variance	40
4- Liaison inter-caractères	41

Conclusion

Annexe

Introduction

Notre travail est restreint volontairement aux organismes les plus importants pour le maintien de l'écosystème forestier, nous avons choisi de travailler sur un groupe zoologique du sol possédant une importance particulière dans la dégradation des déchets organiques, les lombricidés (vers de terre),

Au-delà de leur densité, biomasse ou diversité, les organismes du sol peuvent être considérés Comme indicateur et acteur de la qualité des sols.

Bien que ces organismes représentent en poids la moitié de la biomasse animale terrestre, il existe peu d'études, vraiment synthétiques, sur ce groupe animal hormis quelque ancien travaux. **Clâud**, signale que c'est en forêt que les populations lombricienne sont les plus complexes est les plus riches en espèces.

Les vers de terre de l'Afrique du Nord sont encore mal connus. En effet, ce groupe de la faune du sol semble attirer peu d'intérêt de la part les scientifiques en Algérie. Cet espace biogéographique très diversifié sur le plan du climat, du sol et de la végétation depuis le littoral jusqu'au désert pourrait cependant révéler une grande diversité lombricienne avec certainement des espèces très adaptées à la sécheresse. (**Bazri et al., 2013**)

Rougerie et al., (2009) indiquent qu'en Algérie, les travaux relatifs à la biodiversité des lombriciens restent encore insuffisants. **Decaëns (2010)** signale que l'identification et la classification de ces organismes demeurent difficiles par **(i)** manque de taxonomistes qualifiés et, **(ii)** par ce que, l'étude des vers de terre n'est pas évidente à réaliser en raison de plusieurs contraintes liées à la nature des sols et à la complexité de ces organismes.

Notre travail est une première approche de l'étude de l'abondance et la diversité des populations des vers de terre, dans une forêt d'une région semi-aride, vu l'importance de ces ingénieurs de l'écosystème dans la fertilité des sols et la stabilité de la structure et vu le peu d'études dans ce domaine au niveau des régions semi-arides dans notre pays.

Notre mémoire est structurée en trois parties :

La première partie est une analyse de la littérature scientifique ;

La deuxième partie est une présentation du périmètre d'étude et des matériels et méthodes ;

La troisième partie est consacrée à l'analyse des résultats.

Conclusion

La fertilité des sols dépend notamment de la quantité et de la qualité des matières organiques transformées par les organismes décomposeurs. Les populations d'invertébrés du sol, dont font partie les vers de terre, jouent un rôle primordial dans l'incorporation, la transformation de ces matières et améliorent la structure du sol. Par leurs activités, les lombrics sont de véritables acteurs et bioindicateurs de la fertilité des sols. Les espèces de vers de terre retrouvées dans un milieu dépendent de la nature, des caractéristiques du sol et des conditions climatiques.

Notre étude est une initiation à l'étude de l'abondance et la diversité des ingénieurs de l'écosystème en Algérie. Nous avons choisi comme site la forêt d'**Ouled yagoub** qui se situe dans la wilaya de Khenchela, dans une zone semi-aride caractérisée par des sols légèrement alcalin à alcalin, et ainsi par un climat est en général semi-aride avec un hiver très froid et un été très chaud et sec.

Ces facteurs très connus (sol et climat) influent sur la présence des populations lombriciennes dans les écosystèmes terrestres.

Dans la littérature c'est connu que les écosystèmes forestiers abritent un très peu nombre de communautés lombriciennes. C'est les raisons pour les quelles trois espèces seulement sont recensées dans cette étude (*Octodrilus complanatus*, *Aporrectodea rosea* et *Allolobophora moleri*)

L'espèce *Allolobophora moleri* nous l'avons trouvé à l'automne, et l'espèce *Aporrectodea rosea* est au printemps mais la première espèce (*Octodrilus complanatus*) domine dans les deux saisons. Il ressort de cette étude que la période la plus adéquate pour l'activité lombricienne est la période de printemps où nous avons dénombré la densité la plus élevée des vers lombrics.

Aucune corrélation entre les variables pédologiques et le nombre et biomasse des vers n'est montré par cette étude. La seule corrélation est enregistrée entre la biomasse et la densité lombricienne.

Notre étude reste seulement une initiation à l'étude de l'abondance des vers de terre dans les écosystèmes forestiers des zones semi-arides algérienne et doit être suivi par d'autres études plus approfondies surtout en ce qui concerne les paramètres de la fertilité chimique (MO, N, P, K) et qui se basent sur la récolte des vers dans toute les saisons et même par mois.

I- Etude bibliographique

1- Fertilité des sols

Le sol est une structure vivante et dynamique, résultat de la transformation d'une roche mère sous l'effet des facteurs de la pédogenèse.

Dans les écosystèmes terrestres, une certaine quantité d'éléments chimiques (N, P, K, Ca, Mg) est disponible dans les sols pour la nutrition des végétaux. Dans la conception globale, la fertilité du sol est un potentiel de production végétale dont l'appréciation est liée à la connaissance des composantes physiques (**Millogo, 2002**) et à la composante biologique. De même, **Dakouo, (1991)** considère que la fertilité d'un sol est son aptitude à satisfaire durablement les besoins des populations à travers des systèmes de production et d'aménagement qu'elle réalise, c'est-à-dire son potentiel de production de matière végétale, sa capacité de stocker les éléments nutritifs mobilisables pour l'alimentation des végétaux.

Soltner (1986) et Ranger (1993, 1996) indiquent que la fertilité d'un sol est la résultante de ses bonnes propriétés physiques, chimiques et biologiques. Connaître la fertilité d'un sol c'est pouvoir diagnostiquer ses propriétés (**Védie, 2003**). Car la fertilité d'un sol dépend de ses propriétés et les interactions entre ces différentes propriétés donnant au sol sa capacité de nourrir les végétaux. Ainsi, il apparaît que les différentes composantes de la fertilité sont liées. (**Soltner, 1986**).

D'autres auteurs considèrent la fertilité des sols comme la capacité d'un sol à fonctionner dans les limites d'un écosystème aménagé ou naturel afin de soutenir la production animale ou végétale, à maintenir voire même améliorer la qualité des systèmes auxquels il est lié. (**Mando et al., 2000**).

La notion de fertilité requiert trois paramètres fondamentaux à savoir la fertilité chimique, la fertilité physique et la fertilité biologique du sol.

1 -1- La fertilité physique

Delomon (1968), (cité par **Traore, 2012**), indique que l'état structural et la capacité de rétention de l'eau constituent les facteurs physiques essentiels de la fertilité des sols.

Selon **Védie (2003)** la fertilité physique d'un sol est essentiellement déterminée par trois caractères ;

Sa porosité, qui détermine les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère et la circulation de l'eau. On distingue la macroporosité, qui doit être suffisante pour éviter l'engorgement, et importante pour assurer une réserve d'eau facilement mobilisable.

Sa structure : un horizon sera d'autant mieux colonisé par les racines et la faune du sol que sa structure est fragmentaire, fine et peu consistante. Cette structure est favorisée par la présence de matières organiques, une forte activité biologique (en particulier des vers de terre), un milieu neutre ou légèrement basique et une bonne saturation du complexe adsorbant du sol par le calcium.

Sa stabilité structurale, c'est –à-dire sa résistance à la déstructuration par l'eau. Une bonne stabilité permet de réduire la dégradation de la structure. Une mauvaise stabilité structurale se traduit souvent par l'apparition et la persistance de zones tassées, qui pénalisent la prospection du sol par les racines, ce qui provoque des risques importants de prise en masse et d'apparition de semelles et croutes de battance. Les apports de matières organiques, par leur complexe adsorbant et par l'activité biologique qu'ils favorisent, sont le meilleur artisan d'une bonne stabilité.

La texture, résultant de la composition granulométrique, est également une composante déterminante de la fertilité physique du sol. Ainsi, par exemple, la prédominance des limons par rapport aux sables et argiles augment les risques d'instabilité structurale.

1 -2- La fertilité chimique

Le sol est une réserve de substances nutritives qui proviennent de l'altération de la roche mère, de la décompositions de matières organiques et de l'atmosphère. Les racines puisent dans la solution du sol les éléments majeurs (Ca, N, P, K, Mg...) et les Oligo- éléments, la composition de la solution étant régulée par le complexe Argilo-Humique (CAH) du sol. C'est en effet le CAH du sol, dont l'importance varie en fonction des teneurs en argile et en matières organiques, qui va permettre la mise en réserve ou la libération des éléments nutritifs pour les racines. Tout le raisonnement d'apports éventuels d'éléments nutritifs doit donc être raisonné en fonction de la taille du CAH du sol, en général mesurée par la capacité d'Echange cationique (CEC). (**Védie, 2003**).

Il convient cependant de distinguer l'abondance des éléments nutritifs dans le sol dû à la nature de la roche mère, de la quantité d'éléments mobilisables, qui elle, dépend de l'ambiance physico-chimique et biologique. Ce caractère est susceptible d'être modifié par les systèmes de culture. C'est le cas par exemple des systèmes de culture avec exportation des résidus sans apport de fertilisants qui appauvrissent le sol. La baisse du niveau des éléments chimiques s'accompagne d'une acidification et des toxicités diverses (**Boyer, 1983**).

1 -3- La fertilité biologique

Le sol est un milieu vivant. Il abrite, partiellement ou complètement, de nombreuses espèces animales et végétales ; de nombreux cycles biologiques passent par le sol.

La fertilité biologique d'un sol est la résultante de l'activité de plusieurs groupes d'êtres vivants tels que la macrofaune, la mésofaune et les microorganismes. (**Védie, 2003**).

Les activités microbiennes consistent entre autre à la transformation de la matière organique et des substrats minéraux, à la biosynthèse de l'humus, aux actions spécifiques de fixation de l'azote et de dénitrification et enfin aux actions diverses (modifications du pH, rôle sur la structure...). (**Védie, 2003**).

Soltner (1986), souligne que ces activités microbiennes influencent considérablement la fertilité chimique et physique du sol.

Selon **Védie (2003)**, la plupart des réactions ayant lieu dans le sol ne sont pas purement chimiques mais biochimiques. L'activité biologique du sol permet :

- ✓ La formation de pores (galeries créés par les racines, vers de terre, taupes, nématodes...logettes d'estivations..) et d'agrégats (dépôts de déjections dans le sol et à la surface du sol).
- ✓ La dissolution de minéraux issus de la roche mère (Ca, Mg, Fe, P...) et la fabrication de nouveaux minéraux (calcite, hydroxydes...).

Par leurs activités, les faunes du sol (surtout les vers de terre) influencent divers aspects de la fertilité du sol: ils agissent sur le cycle métabolique (décomposition et transformation de la matière organique), sur les propriétés physiques et chimiques du sol (complexe argilo-humique, cycle de l'eau et de l'air, offre en nutriments dans les galeries de vers de terre) et sur les microorganismes du sol (broutage et stimulation des microbes du sol). (**BSA., 2009**).

L'activité biologique participe à la formation de la couche d'humus, réserve de matière organique dans le sol. La décomposition de l'humus libère de l'azote et d'autres éléments nutritifs indispensables à la croissance des végétaux. (ONF., 2007).

2- L'écosystème forestier

Un écosystème se définit par une communauté d'êtres vivants (la biocénose), par le milieu dans lequel ils vivent (biotope) et par les interactions des organismes entre eux et avec leur environnement. On peut écrire : **écosystème = biocénose + biotope**. Chaque organisme vivant y exerce des fonctions spécifiques. C'est pourquoi il est devenu courant de définir un écosystème par ses groupes fonctionnels, c'est-à-dire par les groupes d'espèces qui assurent la même fonction au sein de l'écosystème (décomposition, assimilation de nutriments, production, (Anonyme, 2010).

Les écosystèmes forestiers demeurent une composante fondamentale de la vie sur terre. Divers rôles sont attribués aux forêts dans leur large gamme de diversité structurelle. Elles restent un maillon central dans les équilibres naturels en conservant les sols, protégeant les agro-systèmes, régulant le climat et conservant les ressources hydriques. De par leurs diverses configurations architecturales, les forêts sont le refuge d'une large gamme de plantes et d'animaux et continuent d'être un foyer hautement potentiel en biodiversité. (CJNA., 2011). Dans les écosystèmes forestiers, la fertilité des sols est la clé de la durabilité. La durabilité des écosystèmes, repose sur un équilibre dynamique impliquant un processus de recyclage permanent des éléments nutritifs entre la végétation et le sol. (Trichet et al., 1999).

En Algérie, la forêt revêt un caractère particulièrement important car elle constitue un élément essentiel de l'équilibre écologique et socio-économique des régions rurales en particulier et du pays en général. La forêt apparaît aussi nécessaire à la protection contre l'érosion, la désertification, à l'amélioration des activités agricoles et pastorales et à la protection de l'environnement. (Ferka Zazou, 2006).

Actuellement le couvert forestier global en Algérie est de 4,1 millions d'hectares soit un taux de boisement de 16,4% pour le Nord de l'Algérie et de 1,7 % seulement si les régions sahariennes sont également prises en considération. Néanmoins seuls 1.3 millions d'hectares représentent la vraie forêt naturelle. A l'instar des pays du pourtour méditerranéen l'Algérie assiste à une dégradation intense de son patrimoine forestier. (Ferka Zazou, 2006).

3- La biodiversité dans les écosystèmes forestiers

Les forêts englobent certains des écosystèmes les plus vibrants de notre planète, abritant une variété étonnante d'oiseaux, d'animaux et de plantes. Les forêts sont à la base de plus de 5 000 produits, allant de l'huile distillée provenant de feuilles, aux médicaments à base de plantes ou aux carburants, aliments, matériaux de construction et vêtements. Les forêts sont incroyablement riches en biodiversité. On estime que les deux tiers des espèces terrestres vivent dans les forêts ou dépendent d'elles pour leur survie. **(SCDB., 2010)**.

La diversité biologique forestière désigne la diversité au sein de la forêt et se décline à ces trois niveaux. Elle comprend toutes les espèces de plantes, d'animaux et de microbes présents dans la forêt, et non pas seulement les essences forestières. Les forêts tropicales à elles seules abritent quelque 50 pour cent de tous les vertébrés connus, 60 pour cent des essences végétales et peut-être 90 pour cent des espèces totales de la planète **(Burley, 2002)**. Les vers de terre sont reconnus pour jouer un rôle important dans divers processus physiques, chimiques et biologiques de certains sols forestiers, notamment la minéralisation de la litière et le recyclage des éléments nutritifs **(Lee, 1985; Edwards, 2004)**. **Ponge (2004)**, démontre que la régénération naturelle des forêts passait, du moins pour certaines essences, par l'activité de ces "ingénieurs" de l'écosystème. Le même auteur signale que la stimulation de la dégradation de la matière organique par les vers de terre, jointe à leur action mécanique sur la matière minérale, augmente la vitesse à laquelle les nutriments sont libérés et mis à disposition des autres organismes. Il faut rappeler que la fertilité ne se mesure pas en termes de "réserves" mais en termes de "mise à disposition". En raison de leur impact sur le reste de l'écosystème, ces animaux ont été appelés "organismes ingénieurs".

4- Biologie et écologie des vers de terre et place dans l'écosystème sol

D'un point de vue écologique, les lombriciens correspondent au groupe de la macrofaune du sol le plus important en termes de biomasse et d'activité. **(Schreck, 2008)**. Ils possèdent un grand nombre d'activités directement en relation avec l'état écologique d'un sol **(Römbke et al., 2006)**. Les vers de terre se nourrissent de la matière organique présente dans le sol qu'ils ingèrent et participe alors au brassage des horizons organiques et minéraux, à l'aération et au drainage du sol. **(Schreck, 2008)**.

Selon **Römbke et al. (2006)**, les lombrics sont de bons indicateurs de l'état de vie d'un sol pour différentes raisons:

- ils participent au fonctionnement de l'écosystème sol (décomposition et structure),

- grâce à leur comportement et leur morphologie, ils sont en contact à la fois avec la phase solide du sol et avec la phase aqueuse (directement en lien avec le cheminement des pesticides),
- la plupart des espèces de lombriciens sont très sensibles à de faibles niveaux de pollution,
- leurs réactions aux stress sont mesurables et reproductibles en champ mais surtout en laboratoire,

4 -1- Biologie

Les vers de terre appartiennent au sous ordre des lombrics (*Lumbricina*), sous division de la sous-classe des Oligochètes (*Oligochaeta*) appartenant à l'embranchement des annélides (*Annelidae*). Les vers de terre représentent plus de la moitié des 6000 espèces décrites chez les oligochètes et regroupent un ensemble de vers terrestres, arboricoles et aquatiques. Très répandus, ils se retrouvent dans la plupart des régions du monde, à l'exception des milieux climatiques extrêmes à l'image des déserts ou encore des régions constamment enneigées ou recouvertes de glace. (**Freitas, 2013**)

il est possible de résumer la biologie des vers de terre selon les travaux de **Peres et al., (2002)** comme suit :

Les individus ont une croissance continue jusqu'au stade adulte (pas de métamorphose) : le juvénile devient un sub-adulte, puis un adulte (**figure 1**) ;

- le stade adulte est caractérisé par l'apparition des pores mâles visibles et le clitellum (la fameuse bague) (**figure 2**) ;
- la majorité des espèces se reproduit sexuellement et sont hermaphrodites protandres (les vers sont mâles avant de devenir femelles), mais elles nécessitent un accouplement ;
- les lombriciens produisent des cocons qui contiennent entre 1 et 7 embryons ;
- les épigés produisent une centaine de cocons par an contre une douzaine pour les anéciques ;
- les lombriciens sont principalement actifs en sortie d'hiver – début de printemps et en automne et sont inactifs dans les sols pas assez humides (sols gelés en hiver ou secs en été) ;
- la durée de vie varie de 3 mois (épigés) à 5-8 ans (endogés, anéciques).

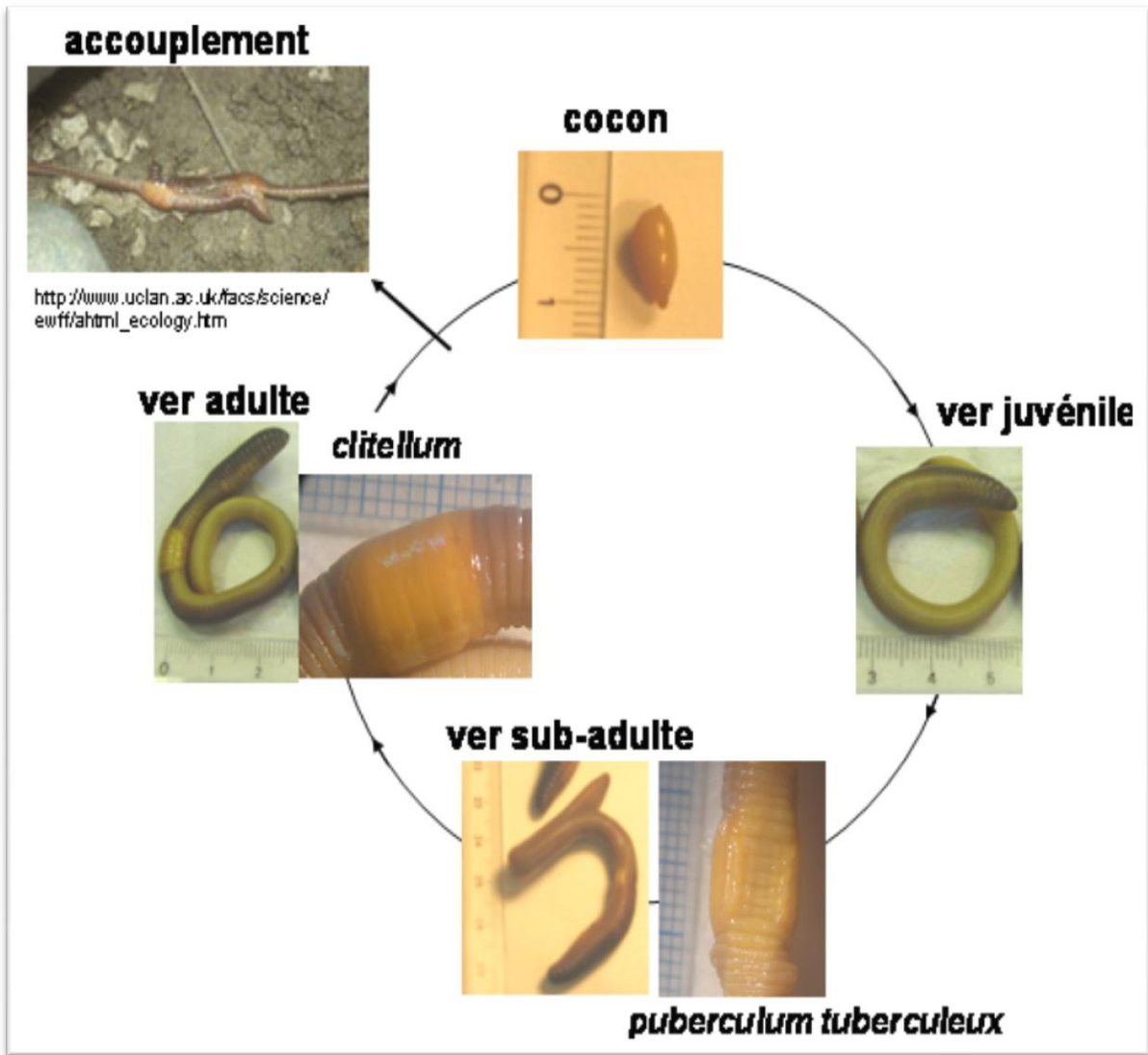


Figure (01) Cycle de vie d'un vers de terre. (Pelosi, 2008)



Figure (2) : Ver de terre adulte avec son clitellum bien visible. (Peres et al., 2010)

4 -2- Ecologie

Basé sur des paramètres morphologiques et physiologiques reflétant le mode de vie et l'activité des vers de terre dans le sol, **Bouché (1972)** a distingué 3 classes écologiques différentes de vers de terre, (i) les épigés, (ii) les anéciques et (iii) les endogés. (**tableau 1**). Les vers de terre dans les différents groupes écologiques ont des préférences différentes de systèmes d'alimentation et de fouissement, ce qui affecte les types d'impacts qu'ils ont dans la forêt. Espèces épigés touchent principalement le sol de la forêt, les espèces endogées touchent principalement les horizons minéraux du sol et des espèces anéciques peuvent affecter à la fois le sol de la forêt et l'horizon du sol minéral. Comme on pouvait s'y attendre, les plus grands effets se produisent lorsque plus d'un groupe écologique est présente dans une forêt. (**Pelosi, 2008**)

Les vers de terre, de part leur régime alimentaire, vont être responsables de la décomposition et de la fragmentation de la matière végétale morte (feuille, tige, tronc) et de toute autre matière organique résiduelle à la surface du sol. (**Freitas, 2012**)

La classe des anéciques, regroupe les vers de terre vivant dans le sol et créant des galeries verticales. Ces vers de terre à pigmentation brune, parfois irisée possèdent une taille beaucoup

plus importante que les vers de terre épigés. Ils sont caractérisés par une forte activité dans le sol, observable par le réseau complexe de galeries et les nombreux turricules (déjections) qu'ils déposent à la surface du sol. **(Freitas, 2012)**




Ces vers de terre sortent généralement la nuit, afin de limiter la prédation. Ils vont prélever la litière superficielle, qu'ils tirent dans leurs galeries. Ils réutilisent les mêmes galeries pendant un certains temps, à la différence des endogés. **(Freitas, 2012)**

La classe des endogés regroupe les vers de terre, de taille petite à intermédiaire qui sont souvent caractérisés par un manque de pigmentation. Cette caractéristique est répandue dans la faune édaphique de profondeur. Vivant en permanence dans le sol, dans des galeries horizontales, ils se nourrissent de la phase organo-minérale du sol (géophagie), de fragments de racines mortes (rhizophagie), mais aussi de la microflore et mésofaune qui sont ingérées avec le sol. Cependant, leurs habitudes alimentaires sont hétérogènes et dépendent fortement de leur préférence pour le type de matière organique **(Curry et Schmidt, 2007)**. Les turricules résultant de leur activité métabolique sont déposés dans les galeries souterraines, qui sont donc peu réutilisées. **(Freitas, 2012)**

Dans la plupart des écosystèmes, les vers de terre sont des facteurs clé dans la fragmentation de la matière organique **(Lavelle et Spain, 2001)**. On estime ainsi qu'ils sont capables de consommer la quasi-totalité de la litière annuelle **(Brown *et al.*, 2003)**.

La classe des épigés regroupe des vers pigmentés de petite taille de 4 à 10 cm **(Cluzeau et al., 2009)** qui vivent dans la litière de surface et se nourrissent des matières organiques en décomposition dans cette litière. Ils ne creusent pas, même si certaines espèces intermédiaires peuvent créer de petites galeries très superficielles. Les espèces épigées, vivant à la surface du sol, sont les plus exposées aux aléas climatiques, à la prédation et aux opérations culturales (travail du sol, pesticides) ; ces espèces sont par conséquent assez rares en milieu cultivé. **(Pelosi, 2008)**

Tableau 1 Trois groupes écologiques de vers de terre. (Pfiffner, 2013)

1	Épigés	Endogés	Anéciques
2	Espèces qui habitent dans la litière de surface	Espèces qui creusent des galeries horizontales et superficielles	Espèces qui creusent des galeries verticales et profondes
			
3	Dans la litière de surface, surtout dans les prairies, la forêt et le compost. Se trouvent rarement dans les sols labourés puisqu'il ne peut pas s'y former de couche de litière durable.	Couche arable (5–40 cm), sols humiques. Surtout galeries horizontales et instables. Les jeunes vers se trouvent généralement assez haut dans la zone des racines des plantes.	Toutes les couches du sol jusqu'à 3–4 m de profondeur. Creusent des galeries verticales et stables (Ø 8–11 mm) de diamètre où ils séjournent normalement pendant toute leur vie. Importants dans les sols agricoles.
4	Petits, le plus souvent 2–6 cm de longueur	Petits ou jusqu'à 18 cm de longueur	Le plus souvent grands, 15–45 cm de longueur
5	Petits morceaux de plantes restés à la surface du sol	Débris de plantes mélangés à la terre de la couche arable	Tirent de grands débris de plantes dans leurs galeries d'habitation
6	Forte	Limitée	Limitée
7	Courte: 1–2 ans	Moyenne: 3–5 ans	Longue: 4–8 ans
8	Faible	Forte	Modérée
9	Globalement rouge-brunâtre	Pâle	Rouge-brun, tête plus foncée
10	Ver du compost, Ver rouge du marécage	<i>Octolasion</i> , <i>lacteum</i> , <i>Allolobophora</i> , <i>caliginosa</i>	Lombric, Ver à tête noire

1 Groupes, 2 Représentants, 3 Habitat, 4 taille, 5 Alimentation, 6 Multiplication, 7 Durée de vie, 8 Sensibilité à la lumière, 9 Couleur, 10 Exemples.

(Pelosi, 2008), suggère que cette classification en catégories écologiques est un peu arbitraire, dans la mesure où il existe un continuum entre les groupes : un certain nombre d'espèces présente ainsi des caractéristiques propres à différentes catégories écologiques.

Par exemple, *L. terrestris* est un épi-anécique puisqu'il vit dans une galerie verticale permanente et peut descendre très profondément dans le sol mais se nourrit en surface.

L'activité conjointe de ces 3 classes écologiques de vers de terre permet la dégradation fine de la matière organique ainsi que son enfouissement dans le sol selon la chronologie suivante : dans un premier temps, la litière à la surface du sol va être fragmentée par les vers de terre épigés. (Edwards et Bohlen, 1996)

Pelosi, (2008), estime que, la litière fragmentée, sera à son tour consommée par les vers de terre anéciques, la dégradant encore plus et permettant son enfouissement dans le sol. Cette matière organique fortement dégradée va poursuivre son cycle en étant ingérée par les vers de terre endogés et subissant un nouveau processus de dégradation et de dissolution.

5- Les effets des facteurs des milieux sur les vers de terre

Les vers peuvent survivre dans une plage de **pH** allant de 5 à 9 (Edwards, 1998). La plupart des experts estiment que les vers préfèrent un pH de 7 ou légèrement plus élevé. D'après Georg (2004), des chercheurs de Nouvelle-Écosse ont découvert que la plage de 7,5 à 8,0 était la meilleure.

Les vers sont généralement absents dans des sols très acides ($\text{pH} < 3.5$) et sont peu nombreux dans les sols à $\text{pH} < 4.5$ (Curry, 1998). Il existe un pH optimal pour chaque espèce (Edwards et Bohlen, 1996). La majorité des espèces de régions tempérées se trouvent dans des sols à pH compris entre 5.0 et 7.4 (Satchell, 1967). Satchell (1955) propose une classification des Lumbricidés selon les valeurs de pH.

Les vers sont très **sensibles aux sels** et préfèrent une salinité inférieure à 0,5 % (Gunadi et al., 2002).

D'après Lee (1985), la **texture** du sol agit sur les lombriciens de deux façons, l'une directe et l'autre indirecte. D'une part, la taille et la rugosité des éléments grossiers du sol (sable) sont des barrières à l'ingestion, et d'autre part la texture du sol agit indirectement au travers des

propriétés physico-chimiques qu'elles engendrent comme la capacité de rétention hydrique, ou les échanges cationiques (pH).

Comme ils ingèrent la terre, il est logique que les vers soient plus abondants dans les sols limoneux, argilo-limoneux et argilo-sableux que dans les sables, les graviers et les argiles. **(Guild, 1948, in Bachelier, 1978).**

Les travaux de **Cluzeau et al. (2009)**, indiquent que les vers endogés présentent de nombreuses corrélations avec les paramètres texturaux. L'abondance des endogés est corrélée positivement aux argiles et aux limons fins et leurs biomasses aux limons grossiers. Abondance et biomasse sont corrélées négativement aux sables grossiers. **Nordström et Rundgren (1974)** (cité par **Cluzeau et al., 2009**) ont également mis en évidence une corrélation positive significative entre la teneur en argile des sols et l'abondance des endogés ; ils attribuent ce fait essentiellement aux propriétés physico-chimiques du sol engendrées par la présence d'argile. D'autres facteurs du milieu peuvent influencer la distribution et l'abondance des populations de vers comme le type de sol (**Edwards et Bohlen ; 1996**), la profondeur (**Van Rhee et Nathans, 1973 ; Philipson et al., 1976 ; Bachelier, 1978**) et la texture du sol (**Guild, 1948 ; Curry, 1998**). Par exemple, **Nordström et Rundgren (1974)** trouvent une corrélation positive significative entre l'abondance des vers de terre et le taux d'argile des sols.

La température, l'humidité du sol sont les facteurs clés qui régulent l'abondance et l'activité des vers en milieu naturel (**Satchell, 1967 ; Hartensein et Amico, 1983 ; Sims et Gerard, 1999**) et les populations lombriciennes répondent relativement rapidement à des variations de ces facteurs du milieu (**Pelosi, 2008**).

La température influence notablement la rapidité de développement des vers de terre, ainsi que leur activité. Les vers de terre sont généralement tués si la température descend pendant quelques heures en dessous de leur point de congélation (**Bachelier, 1978**). La production des cocons par les lombrics devient quatre fois plus importante quand la température s'élève de 6C° à 16C°. Les cocons sont résistants aux conditions défavorables comme la sécheresse ou une modification de la température (**Edwards et Bohlen, 1996**). L'activité de fouissage devient plus importante avec l'élévation de la température. Le dessèchement du sol provoque la déshydratation du cocon, ce qui peut retarder le développement embryonnaire (**Evans et Guild, 1948; Gerard, 1967**).

6- Rôles des vers de terre dans l'amélioration de la fertilité des sols

Les vers de terre sont les architectes des sols fertiles. Leur influence est très diverse. Ils déposent jusqu'à 10 kilos par mètre carré et par année de déjections dans la terre et à la surface du sol (cela représente jusqu'à 0.5 cm de l'horizon A dans les champs et même jusqu'à 1.5 cm dans les prairies). (Pfiffner, 2013).



Figure (3) Galerie de ver de terre tapissée de déjections (Pfiffner, 2013)

6- 1- Concentration des éléments nutritifs et modification de l'environnement chimique

Les vers de terre produisent entre 40 et 100 tonnes de déjections par hectare et par année. Les déjections des vers de terre sont un mélange intime de particules végétales et minérales, et les éléments nutritifs y sont présents en plus forte concentration et sous une forme facilement assimilable par les plantes. Les turricules ou tortillons, contiennent en moyenne 5 fois plus d'azote, 7 fois plus de phosphore et 11 fois plus de potassium que la terre environnante. (Pfiffner, 2013).

La disponibilité en nutriments dans l'environnement est indispensable à la croissance des plantes. Souvent, la limitation en nutriments concerne l'azote, le phosphore et le potassium. La disponibilité de ces nutriments essentiels a déjà été montrée comme étant accrue dans les structures produites par de nombreuses espèces de vers de terre. Les turricules de ces vers

de terre présentent une teneur en nutriments élevée pour NH_4^+ , NO_3^- , Mg^{2+} , K^+ et HPO_4 . (Pelosi, 2008).

Soltner (2005) souligne que le passage de la terre dans le tube digestif des vers de terre a considérablement augmenté sa teneur en substance assimilable pour les plantes surtout en Ket P (tableau2), résultat d'une minéralisation organique et d'action enzymatique sur les minéraux du sol.

Tableau 2 enrichissement de la terre par les lombrics (Soltner, 2005)

Paramètres			Augmentation du aux vers %
	Sol de surface	Excréments des vers	
Calcium échangeable	1.990	2.790	40%
Magnésium échangeable	0.162	0.492	20%
Azote (nitrate)	0.004	0.022	366%
Phosphore disponible	0.009	0.067	644%
Potassium échangeable	0.032	0.358	1019%
Taux de saturation	0.074	0.093	26%
PH	6.4	7.00	-

6- 2- Aération et amélioration de la pénétration de l'eau

L'activité lombricienne affecte la porosité des sols. Cette modification de la porosité va avoir une influence au niveau de la croissance des plantes en modifiant les échanges gazeux, la résistance à la pénétration racinaire, la composition biotique de la rhizosphère mais surtout l'infiltration et la rétention de l'eau (Shipitalo et Le Bayon, 2004). La création de galeries dans le sol, par les vers de terre, va fortement influencer la porosité de ce dernier ; un ver de terre creuse une galerie et modifie donc la porosité en créant de la macroporosité (Peres, 2003; Pfiffner, 2013).

Les pores ainsi formés seront remplis avec de l'eau ou de l'air et vont servir d'habitat à de nombreux organismes tel que des bactéries, des protozoaires ou encore des nématodes dans la

phase aqueuse et des champignons, racines et microarthropodes dans la phase gazeuse (**Brown et al., 2000**). En plus d'influencer les habitats de ces organismes, la porosité du sol va également influencer la capacité de rétention de l'eau par le sol (**Gobat et al., 2010**).

Les galeries stables et verticales des anéciques (lombric p.ex.) améliorent particulièrement nettement l'absorption, le stockage, l'infiltration et le drainage de l'eau dans le sol, ce qui contribue fortement à empêcher le ruissellement et l'érosion. On trouve dans les sols non labourés jusqu'à 150 tubes au m², ce qui représente 900 mètres de galeries par m² sur 1 mètre de profondeur. Ces galeries verticales stabilisées par le mucus excrété par les vers de terre peuvent atteindre 3 mètres de profondeur dans les sols profonds sur loess, et même 6 mètres dans les terres noires. Leur puissante musculature permet aux vers de terre anéciques de traverser les zones du sol faiblement compactées et d'améliorer ainsi l'écoulement vertical de l'eau. (**Pfiffner, 2013**)

6- 3- La décomposition de la litière et rajeunissement du sol

Dans les champs, les vers de terre incorporent dans le sol jusqu'à six tonnes de matière organique morte par hectare et par année, et dans les forêts ils travaillent jusqu'à neuf tonnes de feuilles mortes par hectare et par année. (**Pfiffner, 2013**). Le même auteur signale que les vers de terre prélèvent des matières dans le sous-sol et les transportent dans la couche arable, ce qui la rajeunit continuellement.

6- 4- Impact des vers de terre sur les bactéries et l'hygiénisation le sol

Les vers de terre favorisent l'implantation et la multiplication des bactéries et des champignons édaphiques (du sol) utiles dans leurs galeries et leurs turricules. Une fois qu'ils ont tiré les débris de feuilles mortes dans le sol, les organismes nuisibles qui y habitent (formes hivernantes de champignons pathogènes comme la tavelure du pommier, chenilles mineuses des feuilles) subissent une décomposition biologique et les formes de résistance survivent cependant à la digestion par les vers de terre et se retrouvent ensuite dans les turricules. (**Pfiffner, 2013**)

Les vers de terre sont capables de produire un ensemble de métabolites et autres substances actives, qui vont être bénéfiques à l'activité des microorganismes, lors de leur passage dans le tube digestif du vers de terre (**Lavelle et al., 1995; Brown et al., 2000; Edwards, 2004**). Au

cours de ce processus, du mucus intestinal chargé en eau et en carbone soluble est produit par le vers de terre et va permettre le réveil de certaines bactéries.

Ainsi, pendant et après le passage dans le tube digestif des vers de terre, les bactéries seront fortement actives (**Bernard et al., 2012**). La forte activité des bactéries va permettre la décomposition des formes stables de matière organique du sol pour lesquelles les vers de terre ne possèdent pas les enzymes adéquates (**Lavelle et al., 1995; Brown et al., 2000**).

6- 5- Les vers de terre favorisent la formation et la stabilité des agrégats du sol

Les vers de terre sont responsables de la majeure partie des agrégats à la surface des sols. Certains auteurs ont établi que 50% des agrégats à la surface des sols tempérés seraient constitués de ces turriculés, représentant 40 à 50 t ha/ an en surface et d'autant plus en profondeur (**Six et al., 2004**). Il existe deux mécanismes via lesquels les vers de terre vont influencer cette agrégation : (i) la création de galeries et (ii) la formation de turricules (**Brown et al., 2000**).

En excréant du mucus et en mélangeant intensivement la matière organique avec des particules minérales du sol et des microorganismes, les vers de terre forment une structure grumeleuse stable qui contribue à diminuer la battance des sols et rendent le sol plus stable (**Pfiffner, 2013**).

Lors de leurs déplacements, les vers de terre vont exercer une pression sur le sol environnant et du mucus, essentiellement constitué de polysaccharides et de macro-protéines, va être excrété et déposé sur la paroi des galeries nouvellement formées, stabilisant ainsi leur structure (**Edwards et Bohlen, 1995**).

6- 6- Impact des vers de terre sur les mécanismes de défense et la croissance des plantes

Les galeries sont colonisées par les racines des plantes car elles leur permettent de pénétrer sans résistances dans les couches profondes du sol et d'y trouver des conditions de croissance idéales (déjections riches en éléments nutritifs des vers de terre, eau à disposition). (**Pfiffner, 2013**).

D'après **Wolfarth et al. (2011)**, l'effet des vers de terre, sur la réduction de la sévérité de nombreuses maladies, a été démontré à de nombreuses reprises. Leurs effets sur la réduction de certaines maladies chez les plantes sont souvent associés à une meilleure nutrition des plantes ou encore à un effet de prédation par le vers de terre.

L'impact des vers de terre et des microorganismes du sol sur la modification des propriétés physiques et chimiques du sol a été déjà largement étudié. Inversement, l'impact des vers de terre sur les propriétés biochimiques du sol reste à ce jour faiblement documenté. Pourtant, ces molécules sont des éléments déterminants pour la physiologie des plantes. (**Brown *et al.*, 2000**).

II- Enoncé général de l'étude

1 -Présentation de la région d'étude

1-1- Situation géographique

La zone d'étude est située à l'extrémité Nord-est du massif des Aurès, sur les dernières chaînes qui viennent mourir au pied de la ville de Khenchela. Elle forme un triangle isocèle dont la base orientée au Sud –Est limitée par les dépressions d'outa Elmouroudj et outa ziriz, un côté Nord par la route départementale khanchela Kais et un côté ouest par la vallée de Oued Mellagou prolongée au nord de Bouhmama par la route Bouhmama –Kais. (BNEF., 1984)

1-2- Le relief

Le relief est constitué par une chaîne montagneuse, massive et homogène qui s'élève au dessus de la plaine de Remila. Elle est formée de plis parallèles orientés sud ouest –nord Est avec deux expositions dominantes, un versant sud est et un versant Nord ouest.

Les principaux plis sont les suivants : **Djebel Tafias** (1.505m) **Djebel Aidel** (2.173m) **Djebel Feraoun** (2.093m) **Djebel Chentgouma** (2.112m) **Kef Tifekressa** (1.950m). (BNEF., 1984)

1-3-La géologie

Si la cédraie des ouleds yagoub se trouve entièrement dans le crétacé inférieur sur l'anticlinal de Khenchela qui présente un faciès gréseux, marno-calcaire et de dolomites, la pinède par contre est totalement installée dans le crétacé supérieur sur le flanc des anticlinaux de Chelia et de Khenchela et au cœur du synclinal de djebel Aurès avec un faciès marneux, marno-calcaire et calcaire.

Du sommet du synclinal vers la base nous distinguons : le maestrichien, le campagnien, le sautonien, le coniacien, le turonien et le cénomanien.

Le tertiaire avec le paléocène apparaît au fond des vallées de **Oued Mellagou**, de **Oued Temza** et **Oued Issouel**. On y trouve comme roche mère des calcaires, des marnes, des argiles et parfois du gypse. (BNEF., 1984)

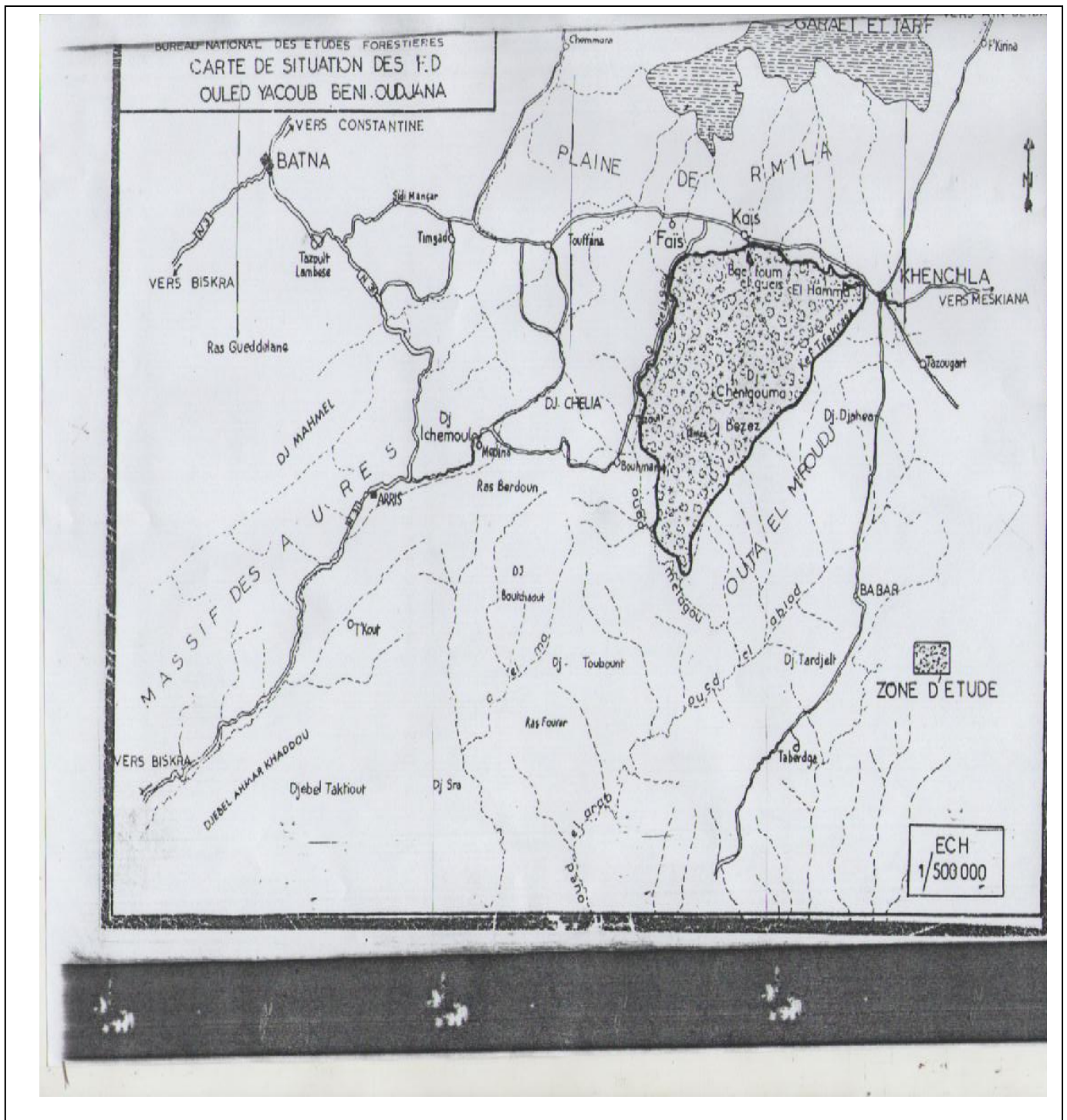


Figure-(04) Carte de la situation de la forêt d'ouled yagoub. (BNEF., 1984).

1-4-Pédologie

Les sols de la pinède d'**Ouled Yagoub** sont calcimorphes à différents stades d'évolution ou de dégradation.

La couche d'humus est peu développée, ce qui s'explique par le surpâturage, les incendies et l'érosion qui en résulte.

Le sol est caillouteux, il est commun de trouver beaucoup de pierres de différentes tailles tout aussi bien en surface qu'à l'intérieur des profils. Les sols bruns calcaire sont rares. **(BNEF., 1984)**

1-5-Le climat

Le climat est en général semi-aride avec une saison froide et humide d'octobre à mai et une saison chaude et sèche de juin à septembre avec cependant des variations selon l'altitude et l'exposition.

Les mois les plus chauds sont juillet et août en été (**tableau02**), et température peut atteindre jusqu'à 40°C. Les mois les plus froids sont janvier et février avec des températures atteignant jusqu'à -9°C en plein massif. **(BNEF., 1984)**

La **pluviométrie** est caractérisée par son irrégularité au cours d'une même année et d'une année à une autre, il peut y avoir de grande différence. L'hiver et le printemps sont les deux saisons où il pleut le plus. L'été est sec mais des orages pas très fréquents peuvent éclater avec violences qui se concentrent sur les mois d'août et septembre sont souvent accompagnées par des éclairs qui peuvent provoquer des incendies. **(BNEF., 1984)**

Les **gelées** printanières sont fréquentes et peuvent provoquer l'avortement des fleurs femelles du pin d'Alep et la plus grande partie de **la neige** tombe durant les mois de janvier et février et elle peut durer jusqu'à fin avril sur les sommets élevés. **(BNEF., 1984)**

Les **vents** soufflent surtout du nord ouest en hiver. En été c'est le sirocco, vent sec et chaud qui souffle du sud(Sahara) et a un effet desséchant sur les jeunes plantes. **(BNEF., 1984)**

Le tableau (03) nous renseigne sur les facteurs climatiques de Khenchela étalé sur une période de douze ans (2002 au 2013)

Tableau (0 3) moyenne des données climatiques de la station météo de Khenchela pour la période de 2002 à 2013.

Paramètres mois	Température (c°)	Précipitation (hauteur Maximale en 24h)	Evaporation (hauteur Totale en mm)	Humidité Relative (%)	Vitesse de Vent (m/s)
janvier	6.75	45.09	53.41	68.61	3.4
Février	6.89	33.58	65.72	68.33	4.03
Mars	10.47	43.76	97.98	61.41	3.96
Avril	13.44	58.58	114.73	62.18	3.96
Mai	17.81	69.33	139.57	57.48	3.6
Juin	22.33	27.34	206.87	51.95	3.3
Juillet	26.96	20.28	256.93	42.39	3.1
Aout	26.21	38.67	236.93	47.05	3.01
Septembre	21.28	61.59	148.14	58.71	2.7
Octobre	16.56	41.03	122.7	59.32	2.8
Novembre	11.08	35.83	79.37	67.19	3.6
décembre	7.4	44.59	57.43	70.15	3.4

(Station météorologique Khenchela)

1- 6- La Végétation

Selon **BNEF., (1984)**, la zone d'étude renferme par ordre d'importance, **du cèdre, du Pin d'Alep, du chêne Vert et du Genévrier.**

Le Pin d'Alep est localisé au sud de la zone et au centre du massif sur le synclinal de **Djebel Aourès**, tout autour du cerne **d'Ain Mimoun**. C'est un peuplement jeune à moyen, d'âge moyen de 84 ans et de diamètre moyen de 30,87 centimètres. La hauteur est 10, 81mètre.

Le chêne vert est localisé au nord de la zone autour de **Kais** et versants est de l'antiviral de **Khenchela**. IL se présenter sous forme de taillis avec de nombreuses espèces de faible dimensions, diamètre inférieur à 5cm et une hauteur rarement supérieur à 03 mètres

Le chêne vert joue un rôle très important dans le contexte écologique par la protection du sol ; les feuilles se décomposent lentement et contribuent à la formation d'humus.

Le Genévriers oxycèdre se trouve en mélange avec le chêne vert formant un maquis, soit comme sous bois dans les futaies de Pin d'Alep.

Le genévrier de Phénicie se trouve surtout dans des endroits dégradés et très secs.

2-Echantillonnage des vers de terre

Dans la littérature de nombreuses méthodes d'échantillonnage des vers de terre ont été mises au points afin d'optimiser l'extraction des lombriciens ; le tri manuel d'un bloc du sol, le lavage, tamisage, méthode électriques, extraction par chaleur, méthodes chimiques et méthodes couplées.

Pour notre travail, les lombriciens sont extraits suivant la méthode du tri manuel, pour plusieurs raisons (i) le tri manuel est la méthode la plus simple (ii) ne demande pas de substances chimiques.

Notre expérimentation s'y déroule sur deux saisons l'automne de 2013 le printemps de 2014. Selon la littérature scientifique le printemps et l'automne représentent les périodes les plus favorables pour l'échantillonnage de la macrofaune du sol, car c'est la période de l'activité lombricienne.

Dans la forêt nous avons choisi trois sites. Le choix de ces derniers est fait selon l'altitude (**figure- 05**) et nous avons effectués quatre répétitions dans chaque site, ce qui donne au total 12 points d'échantillonnage pour chaque saison.

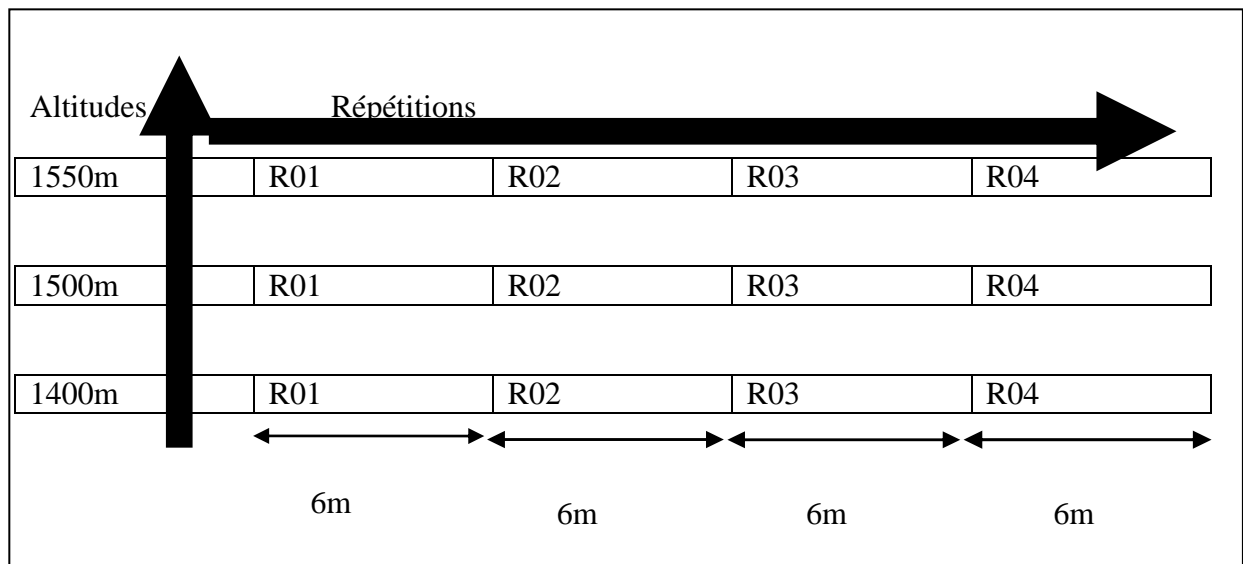


Figure (05) -Dispositif d'échantillonnage des lombrics pour les deux périodes d'automne et de printemps

Le choix des sites selon les trois altitudes (1400, 1500 et 1550) est fait d'une façon arbitraire. Pour les répétitions, dans chaque site, quatre points ont été bêchés à intervalles réguliers de 6m, dont la direction a été choisie de manière aléatoire.

La première étape d'échantillonnage consiste à délimiter les placettes d'échantillonnage (100cm x100 cm) puis dégager la surface qui va être échantillonnée (couper délicatement et exporter la végétation en place ; ôter délicatement la litière ou les amas organique. (**figure06**)



Figure (06) Préparation des placettes de collecte des vers

Nous avons creusé une fosse de 1m×1m ×0.3m (**figure 07**)



Figure (07) bêchage de la fosse

Le tri du sol échantillonné est réalisé directement après le bêchage et nous avons compté le nombre de vers de terre puis les conservés dans l'éthanol 96%

Au laboratoire, nous avons pesé les vers récoltés à l'aide d'une balance de précisions pour déterminer la biomasse totale. (**figure 08**)



Figure(08) Pesage des vers récoltes à l'aide d'une balance de précisions.

Une détermination des espèces est réalisée au laboratoire d'écologie du département d'écologie et environnement, faculté des sciences de la nature et de la vie de Constantine par docteur **Bazri** en prenant en compte plusieurs caractères morphologiques externes : la taille, la couleur, la répartition des soies et le positionnement et la forme des caractères sexuels (clitellum: bague, puberculum, pores mâles).



Figure 09- Identification des vers à l'aide d'une loupe binoculaire

3- Caractérisation du sol

En parallèle de la récolte des vers de terre, nous avons prélevé dans chaque placette une quantité d'environ 500g de sol pour effectuer l'analyse physicochimique de sol.

Après prélèvement les échantillons de sol sont séchés à l'air libre puis tamisés à un tamis de 2mm de diamètre pour déterminer les paramètres de fertilité de sol. Pour notre étude l'objectif était de mettre en relation l'abondance lombricienne et la fertilité de sol pour cette raison nous avons choisi de réaliser les paramètres suivant : pH, Conductivité électrique (CE), Chlorure (Cl), Sulfates (SO₄), Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Matière organique(MO), Phosphore

assimilable (P₂O₅), Azote (N) et la granulométrie, mais malheureusement au niveau du laboratoire de la faculté nous n'avons pu analyser que les paramètres suivants : pH, CE, Cl, SO₄, Ca, Mg. à cause du manque de réactifs chimiques nécessaires.

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre dans une solution du sol préparée selon le rapport sol/eau : 1/2.5 agitée pendant une minute et laissée reposer deux heures. (**Mathieu et Pielain, 2003**).

La CE est mesurée à l'aide d'un Conductimètre dans une solution du sol préparée selon le rapport sol/eau : 1/5 avec une agitation de deux heures. (**Mathieu et Pielain, 2003**).

Les Chlorures (Cl), Sulfates (SO₄), Calcium (Ca) et Magnésium (Mg) ont été analysés sur la base de la solution du sol préparée selon le rapport sol/eau : 1/5 ; Les chlorures sont dosés par méthode volumétrique (**Mathieu et Pielain, 2003**), les sulfates par méthode colorimétrique (**Mathieu et Pielain, 2003**), et le calcium et le magnésium sont déterminés avec méthodes volumétriques par dosage par EDTA en présence du noir d'ériochrome (Ca) et murexide.

4- Analyse statistiques

L'analyse de la variance sur les paramètres mesurés est effectuée à l'aide du logiciel Minitab. Nous avons utilisé un autre logiciel XLSTAT pour réaliser l'analyse en composante principale (ACP), cette dernière est utilisée pour tout en tenant compte des paramètres qui présentent des grands coefficients de corrélation, pour identifier et mettre en évidence des différences entre traitements étudiés.

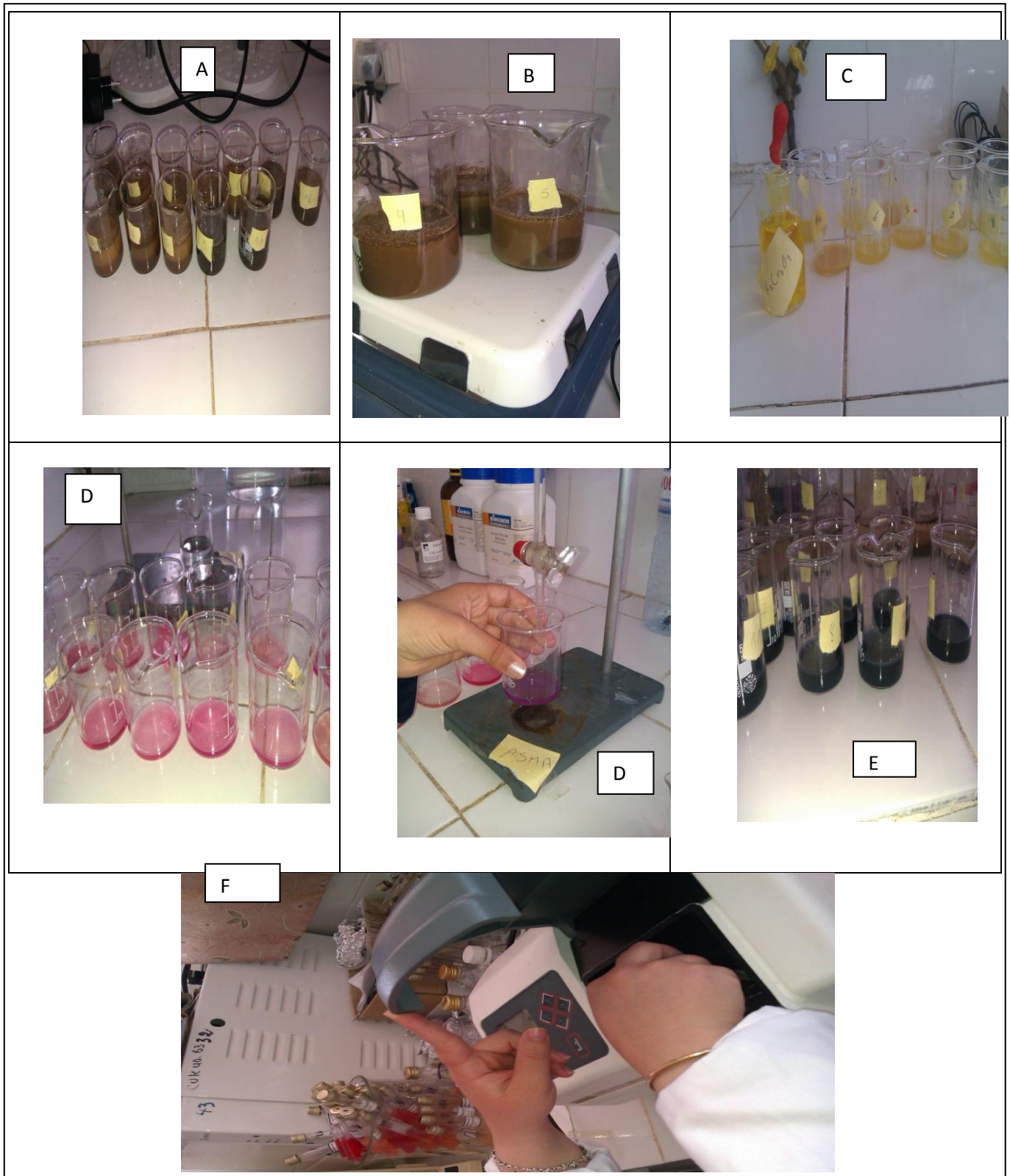


Figure 10 Illustration de quelques étapes des analyses physicochimiques : **A)** solution de mesure de pH. **B)** solution de mesure de CE. **C)** dosage des chlorures. **D)** dosage de calcium. **E)** dosage de la dureté. **F)** lecture de l'absorbance des sulfates par spectrophotomètre.

III- Résultats et discussion

Dans cette partie, nous traitons les résultats obtenus durant notre campagne de prospection et d'analyse.

Pour les variables pédologiques, nous avons mesuré quelques paramètres de la fertilité chimique du sol (pH, CE, Cl⁻, SO₄⁻, Mg⁺⁺ et Ca⁺⁺), ainsi que nous avons compté et mesuré l'abondance numérique et pondérale des lombrics.

Dans cette partie nous allons traiter les résultats selon l'espace (altitude) et selon le temps

1- Les variables pédologiques

1- 1- Variabilité temporelle

Les résultats de l'analyse de pH des sols révèlent que les sols de la forêt d'ouled yagoub ont un caractère légèrement alcalin à alcalin et ne présente pas des différences marquées dans le temps ; ces valeurs varient entre 7,46 et 8,12. (**tableau 4**)

Tableau(4) Valeurs moyennes obtenues pour l'ensemble des paramètres pédologiques mesurés

Paramètres	Saisons	Sites		
		1400	1500	1550
PH	Automne	8,12	7,77	8,12
	Printemps	7,87	7,46	8,01
CE (µs/cm)	Automne	234,00	179,68	175,48
	Printemps	237,25	158,93	175,83
SO ₄ (Mg /l)	Automne	56,67	59,74	78,40
	Printemps	81,73	121,73	82,44
Ca (Meq/100g)	Automne	2,42	4,49	2,78
	Printemps	2,17	2,70	2,55
Mg (Meq/100g)	Automne	4,94	3,27	2,96
	Printemps	3,53	2,68	2,22
Cl (Meq/L)	Automne	0,55	0,55	0,65
	Printemps	0,75	0,80	0,70

La conductivité électrique (CE) est un paramètre très important à analyser car elle nous indique la salinité des sols, cette dernière a un grand effet sur l'abondance et la distribution des lombrics.

Les résultats montrent que la conductivité est faible et elle varie entre 158,93 et 237,25 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (**tableau 4**) ce qui signifie que les sols de la forêt d'Ouled Yagoub n'ont pas un caractère salin. Et les résultats ne montrent pas des différences entre les deux saisons de prélèvement.

Une variation remarquable a été enregistrée pour **les sulfates** entre les deux saisons, où les valeurs de l'automne sont plus faibles que les valeurs enregistrées au printemps.

Le calcium et le magnésium ont les mêmes tendances de variation que pour les sulfates où toujours les valeurs enregistrées en automne étaient les plus élevées que les valeurs du printemps.

Pour **les chlorures**, les valeurs enregistrées au printemps étaient légèrement élevées que celles d'automne.

1- 2- Variabilité spatiale

L'étude de la variabilité spatiale des paramètres mesurés est essentielle pour quantifier l'évolution de ces paramètres mesurés selon l'altitude. L'observation du **tableau (5)** fait ressortir ce qui suit :

- Les valeurs de pH étaient presque similaires dans les deux altitudes 1400m et 1550m (8 et 8.06) alors que la valeur la plus faible est remarquée dans l'altitude de 1500m ;
- Les sols à 1400m sont caractérisés par une conductivité moyenne élevée par rapport aux deux autres sites ;
- Les sulfates et le calcium, ont la même tendance de variation où les valeurs les plus faibles sont enregistrées à 1400m alors que les valeurs de SO_4^- et Ca les plus élevées sont enregistrées à 1500m ;
- Pour le magnésium la variation diminue de l'altitude la plus basse vers l'altitude la plus élevée où la valeur moyenne la plus élevée est enregistrée à 1400m et la plus faible à 1550m ;
- Les chlorures est le seul paramètre pédologique qui ne présente presque pas de variabilité spatiale.

Tableau (5) Valeurs moyennes de la variabilité spatiale de l'ensemble des variables pédologiques

	pH	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	SO_4^{2-} (Mg /l)	Ca^{2+} (Meq/100g)	Mg^{2+} (Meq/100g)	Cl^- (Meq/L)
1400	8,00	237,25	69,20	2,30	4,23	0,65
1500	7,61	169,30	90,74	3,60	2,97	0,68
1550	8,06	175,65	80,42	2,67	2,59	0,68

1- 3- Discussion de la variabilité spatio-temporelle

Le pH du sol est un paramètre très important pour la caractérisation des sols, il a une influence sur trois composantes importantes de sa fertilité; la biodisponibilité des nutriments et éléments toxiques, l'activité biologique et la stabilité structurale.

La figure (11) illustre que la variabilité spatiale se caractérise par une diminution suivie alternativement par une augmentation des valeurs de pH pour les deux saisons. Sans oublier à signaler que les sols de la forêt d'ouled yagoub ont un caractère légèrement alcalin à alcalin.

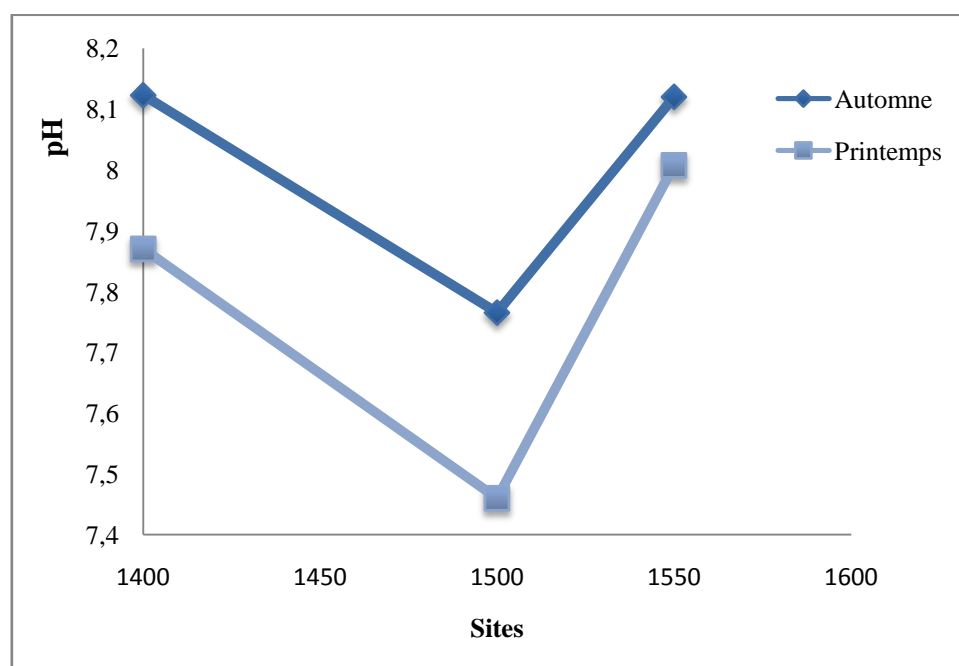


Figure (11) Variation spatio-temporelle des valeurs moyennes de pH

La conductivité électrique (CE) est un paramètre très important à analyser car elle nous indique la salinité des sols, cette dernière a un grand effet sur l'abondance et la distribution des lombrics. Nous observons dans **la figure (12)** que dans le premier et le troisième site, les valeurs de CE sont presque similaires pour les deux saisons d'analyse et seulement une légère différence entre les deux saisons est observée pour le deuxième site.

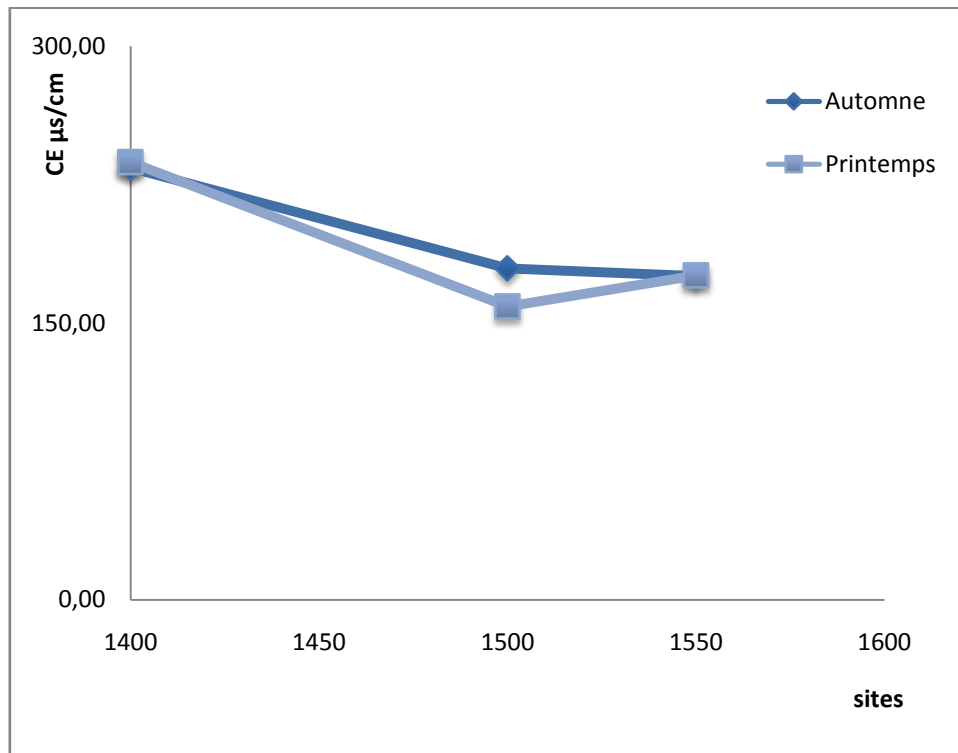


Figure (12) Variation spatio-temporelle des valeurs moyennes de CE

L'examen de la **figure (13)** qui représente la variation spatio-temporelle des valeurs moyennes **des sulfates (SO_4^{2-})**, nous montre que la variation spatiale se caractérise par une augmentation suivie par une diminution pour le prélèvement de printemps, tandis que cette dernière a une tendance inverse pour le premier prélèvement d'automne.

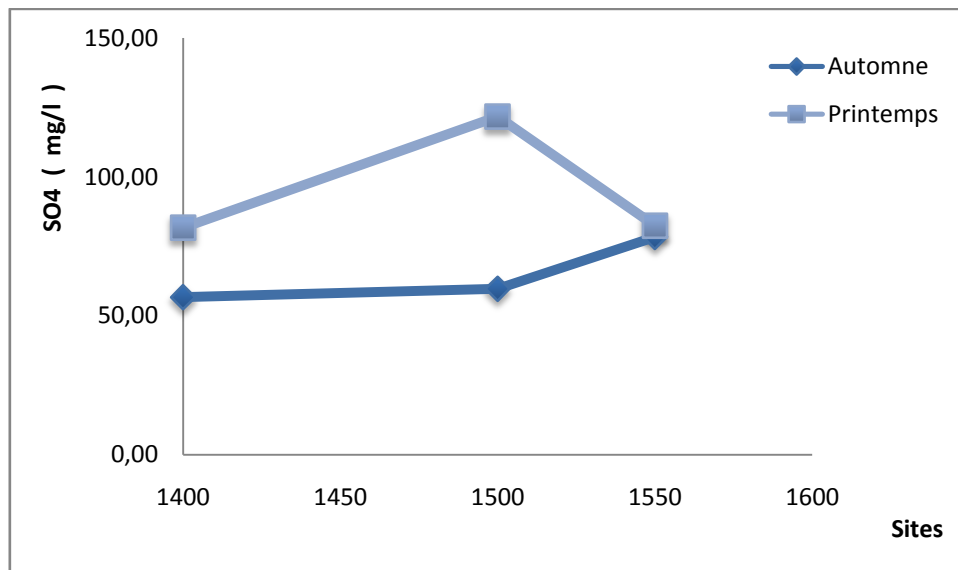


Figure (13) Variation spatio-temporelle des valeurs moyennes de SO_4^-

Bachelier (1978) indique que les sels solubles comme le calcium, magnésium, potassium et phosphore tant sur la forme soluble ou totale sont très abondants dans les déjections des lombrics par rapport aux sols voisins.

Les résultats figurant sous forme de courbe (**figure 14**), nous révèlent que la variation temporelle de **calcium (Ca^{++})** subit les mêmes évolutions dans le premier et le troisième site, alors que le deuxième site présente une très grande variation.

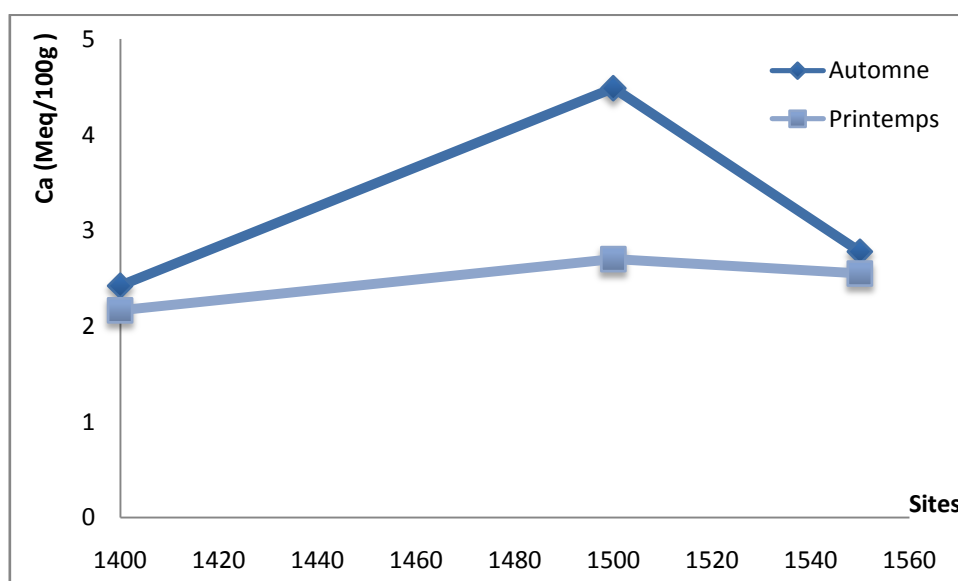


Figure (14) Variation spatio-temporelle des valeurs moyennes de Ca

Il ressort à travers l'examen des résultats illustrés dans la **figure (15)** que la variation spatiale des valeurs de magnésium (Mg^{++}) subit les mêmes tendances d'évolution pour les deux saisons, où elle commence par une forte diminution suivie par une légère augmentation.

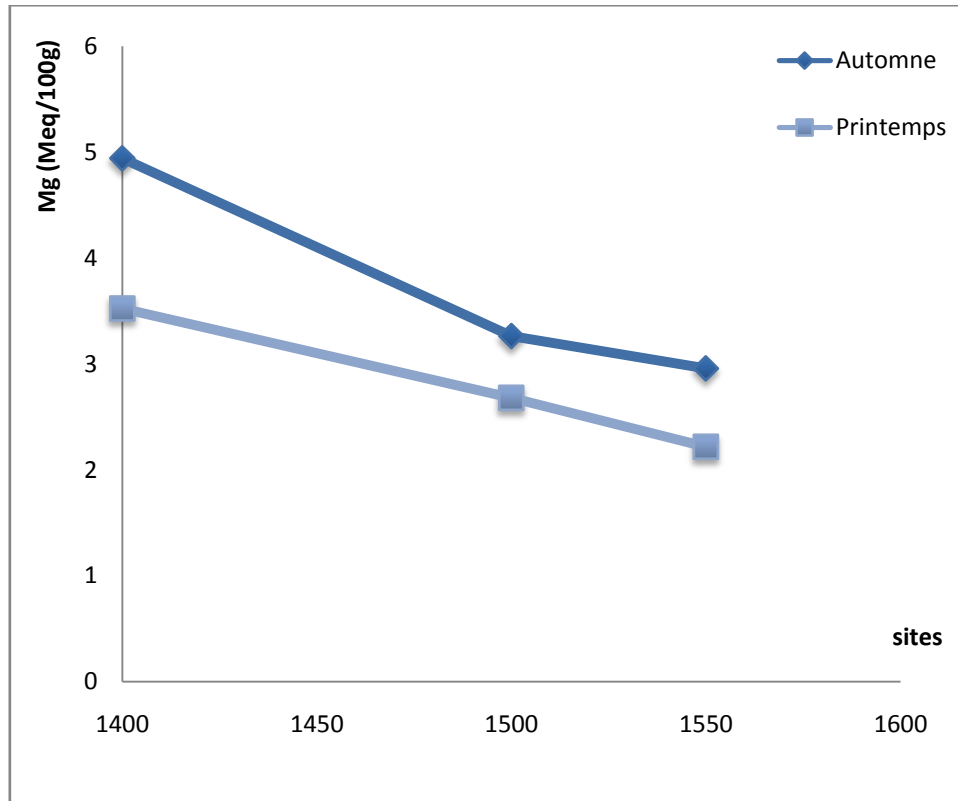


Figure (15) variation spatio-temporelle des valeurs moyennes de Mg^{++}

L'évolution spatiale des chlorures (Cl) a une tendance similaire à la tendance d'évolution des sulfates, avec une variation surtout temporelle très importante entre les deux saisons de prélèvement (**figure16**)

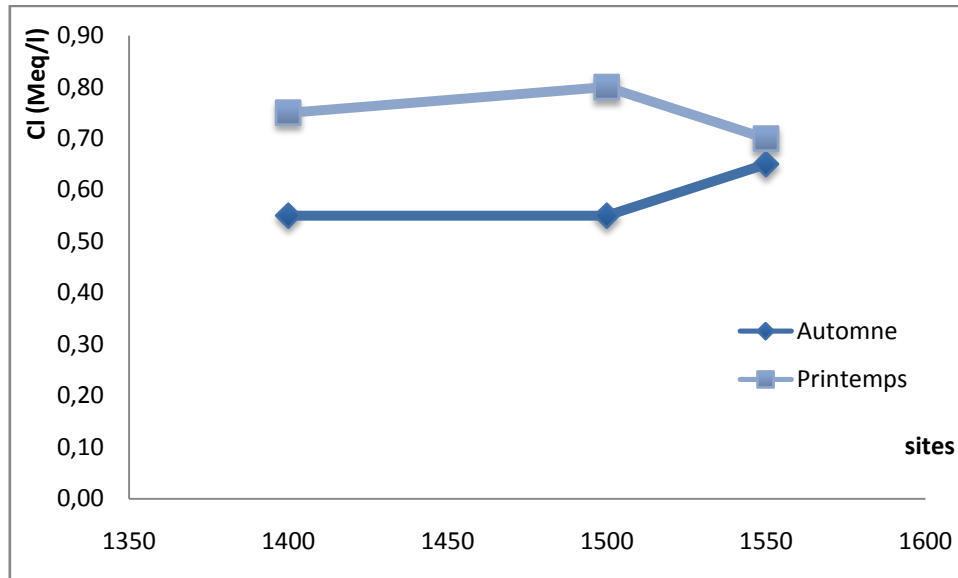


Figure (16) Variation spatio-temporelle des valeurs moyennes de Cl

2- L'abondance et biomasse lombricienne

En écologie le mot abondance désigne le nombre ou la densité des organismes. L'abondance a été exprimée en nombre total d'individus par mètre carré.

2-1-Abondance

L'abondance permet d'évaluer la dynamique des populations (reproduction, potentiel de développement). (Anonyme, 2009)

La densité lombricienne est en relation directe avec le climat et la nature et caractéristique du sol, où les plus fortes densités des vers de terre sont remarqués dans le tropical. Cluzeau (2012), signal une abondance de : 20 à 100 ind. /m² dans les sols des vignobles ,20 à 150 ind. /m² dans les sols des parcelles de culture, 60 à 300 ind. /m² dans les sols des prairies et 10 à 50 ind. /m² dans les forêts.

Les vers de terre de l'Afrique du Nord sont encore mal connus et les travaux relatifs à la biodiversité des lombriciens restent encore insuffisants. (Bazri et al., 2013).

Omodeo et al. (2003) estiment que la biodiversité est faible sur l'ensemble du territoire maghrébin (Maroc, Algérie et Tunisie), où ils n'ont signalé que 33 espèces, dont 24 taxons se trouvant en Algérie.

Dans notre travail et pour le prélèvement d'automne (tableau 6) nous avons dénombré un total de sept (07) individus. Le nombre le plus élevé est collecté à 1400m (04 vers) suivi par

le deuxième site (1500m) avec trois vers dont deux non identifiés à cause de l'effet du bêchage (les deux vers étaient blessés et coupés), alors que le site à 1550m d'altitude était dépourvu totalement des vers et cela pour les quarts répétitions. Pour ce prélèvement d'automne, deux espèces ont été identifiées dans le total de sept vers. Les espèces identifiées sont - *Octodrilus complanatus* (espèce anécique), *Allolobophora molleri* (espèce endogé). tandis que les deux vers blessés n'ont pu être identifiés.

En ce qui concerne le deuxième prélèvement de **printemps (tableau 7)**, nous avons recensé 42 vers ce qui représente six fois plus du nombre total recensé en automne. Lors de ce prélèvement seulement deux espèces ont été mis en évidence. Ces deux espèces sont *Octodrilus complanatus* (espèce anécique) et *Aporrectodea rosea* (espèce endogé). A noter que la densité la plus élevée des vers est observée dans le troisième site (à 1550m) avec 23 vers, dont dix-huit (18) vers n'ont pas pu être identifiés à cause de leur stade immature. Il est à signaler qu'au niveau de ce site nous n'avons trouvé aucun vers pour le prélèvement d'automne, suivi par le premier site (à 1400m) où nous avons échantillonné un nombre total de dix-neuf (19) vers, dont treize (13) vers anéciques et six (6) vers endogés. Alors que pour le deuxième site (à 1500m) nous n'avons pas trouvé des vers.

Tableau (6) Nombre et biomasse des vers de terre identifiées en automne dans la forêt d'ouled yagoub

Site	Rep	Nbre (Ind/m ²)	Biomasse (g/m ²)	Espèce
1400m	1	3	6.1350	2 vers <i>Octodrilus complanatus</i> 1ver <i>Allolobophora molleri</i>
	2	/	/	/
	3	/	/	/
	4	1	4.5255	<i>Octodrilus complanatus</i>
	total	4	10.6605	
1500m	1	2	0.3027	2 vers Non identifiés
	2	1	0.8128	<i>Allolobophora molleri</i>
	3	/	/	/
	4	/	/	/
	total	3	1.55	
1550m	1	/	/	/
	2	/	/	/
	3	/	/	/
	4	/	/	/
	total	/	/	/

Tableau (7) Nombre et biomasse des vers de terre identifiés au printemps dans la forêt d'ouled yagoub

Site	Répétition	Nbre (Ind /m ²)	Biomasse (g/m ²)	Espèce
1400m	1	0	/	
	2	9	24.2462	9 vers <i>Octodrilus complanatus</i>
	3	4	10.1936	4 vers <i>Octodrilus complanatus</i>
	4	6	15.672	6 vers <i>Aporrectodea rosea</i>
	total	19	50.1118	
1500m	1	0	/	/
	2	0	/	/
	3	0	/	/
	5	0	/	/
	total		/	/
1550m	1	0	/	/
	2	5	1.5484	5 vers <i>Aporrectodea rosea</i>
	3	8	0.0767	Juvéniles non identifié
	4	10	0.2033	juvéniles non identifié
	total	23	1.8248	

La figure (17) illustre la dominance de l'espèce anécique : *Octodrilus complanatus* dans les deux prélèvements, avec un pourcentage de 60% pour le prélèvement d'automne et un taux de 56% pour la saison printanière. la même figure nous montre l'absence de l'espèce *Aporrectodea rosea* pour le prélèvement d'automne et l'absence de *Allolobophora molleri* pour le prélèvement de printemps.

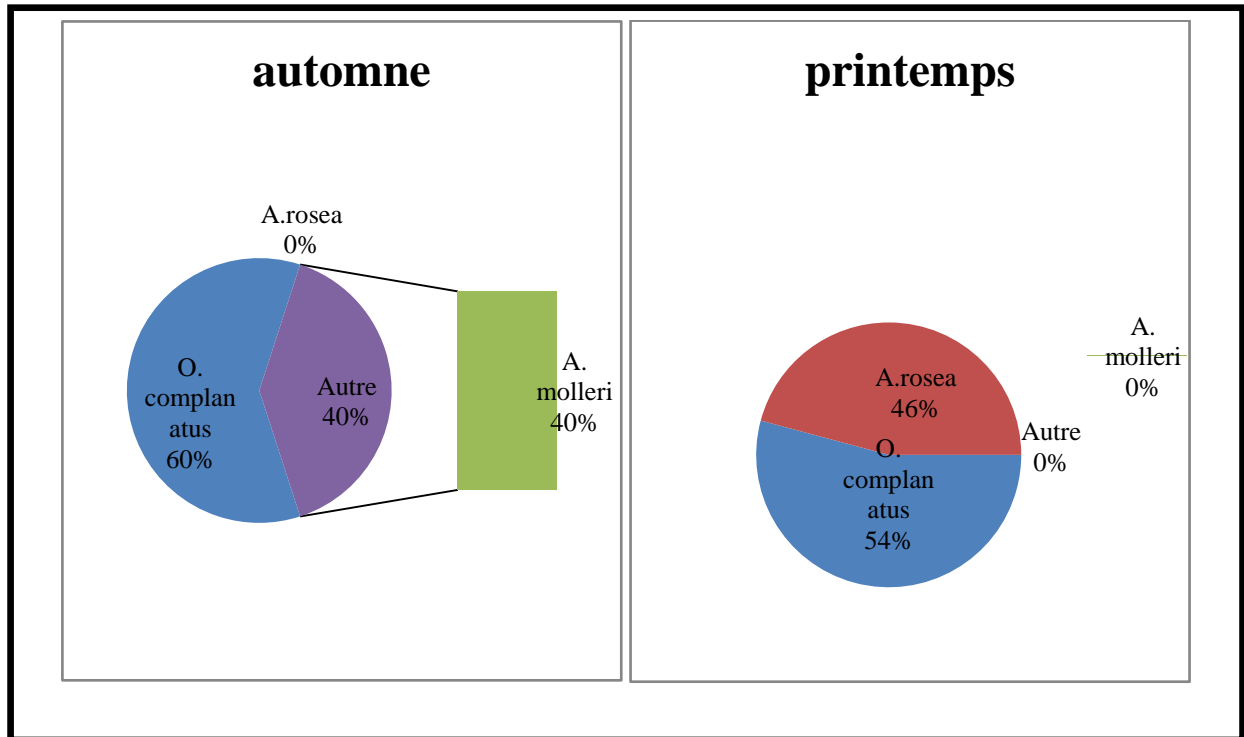


Figure (17) Pourcentage de dominance des espèces lombriciennes dénombrées

2-2-La biomasse

La biomasse reflète l'effet écologique des vers de terre sur le sol (brassage, ameublissement) (Anonyme, 2009). L'observation des deux derniers tableaux (6 et 7) fait ressortir que la biomasse lombricienne est élevée pour le prélèvement du printemps (51.9366g) par rapport à la biomasse enregistrée lors du prélèvement d'automne (12.2105g) et cela est dû en effet au nombre de lombriciens récoltés.

2-3- la variabilité temporelle

Le tableau (8) révèle que la saison la plus pertinente pour l'activité lombricienne, mesurée à partir du nombre et la biomasse est la saison printanière.

Tableau (8) Valeurs moyennes obtenues pour le nombre et la biomasse des populations lombriciennes.

paramètres	saisons	sites		
		1400	1500	1550
Nombre (ind/m ²)	Automne	1,00	0,75	0,00
	Printemps	4,75	0,00	5,75
Biomasse (g/m ²)	Automne	2,67	0,28	0,00
	Printemps	12,53	0,00	0,46

2-4- la variabilité spatiale

La variabilité spatiale du nombre et biomasse les vers de terre est illustrée dans le **tableau (9)**

Ce dernier nous montre que le nombre des vers est similaire dans le premier et le dernier site (2.88 ind/m²), alors que la biomasse révèle plus élevé à 1400 m avec 7.60 g.

Tableau (9) Valeurs moyennes de la variabilité spatiale du nombre et biomasse des vers de terre.

Sites	1400	1500	1550
Nombre des vers (ind/m ²)	2,88	0,38	2,88
Biomasse des vers (g/m ²)	7,60	0,14	0,46

3- Analyse de la variance

Une analyse de variance a été réalisée sur l'ensemble des paramètres mesurés (**tableau 10**). Il ressort que la majorité de ces variables présentent des différences non significatives entre les traitements étudiés. Suivant cette synthèse statistique, nous pouvons noter que :

Le **pH**, présente un effet temps et un effet site très hautement significatif et un effet interaction non significatif.

Les paramètres **CE, Cl, S04, Mg, Ca et biomasse** présentent des effets temps et interaction temps x site non significatif.

Pour les paramètres **Cl, S04, Mg, Ca et nombre**, on note un effet site non significatif.

Un effet site hautement significatif est enregistré par la CE et la biomasse. Alors que le nombre de lombric présente un effet temps hautement significatif.

Le seul effet interaction temps x site significatif est présenté par l'abondance lombricienne.

Tableau (10) Carré moyen de l'analyse de variance des paramètres étudiés.

	pH	CE	SO4	CL	Ca	Mg
T	0.2993 ***	196 ns	5531 ns	0.1667 ns	3.44 ns	5.01 ns
S	0.4739 ***	10715 **	928 ns	0.0017 ns	3.59 ns	5.93 ns
T x S	0.0198 ns	343 ns	1721 ns	0.0217 ns	1.59 ns	0.39 ns
Erreur	0.0349	1188	1704	0.0622	3.37	5.65

ns : non significatif (P > 0.05), * significatif (P < 0.05), ** : hautement significatif (P < 0.01), *** : très hautement significatif (P < 0.001).

	nombre	Biomasse
T	51.04 **	67.2 ns
S	16.67 ns	146.6 **
T x S	22.17 *	63.9 ns
Erreur	6.01	19

ns : non significatif (P > 0.05), * significatif (P < 0.05), ** : hautement significatif (P < 0.01), *** : très hautement significatif (P < 0.001).

4- Liaison inter-caractères

Nous avons réalisé une ACP afin de ressortir les corrélations entre les variables étudiées. L'étude de corrélations entre les différentes paires de paramètres est menée pour identifier les caractères qui évoluent dans le même sens et ceux qui s'opposent. Généralement dans le cas où on a assez de données, on peut considérer une corrélation comme forte si elle est supérieure à 0.5 et une corrélation moyenne quand elle est dans la plage de 0.3 à 0.5, alors qu'une corrélation égale à un (1) indique que les deux variables sont équivalentes.

Le **tableau (11)** qui représente la matrice de corrélation fait ressortir une seule liaison intéressante (corrélation positive) entre le nombre des lombrics et la biomasse où $r = 0,581$

Tableau (11) Matrice de corrélation entre les différentes paires de paramètres mesurés

	PH	CE	Cl	SO4	Ca	Mg	Nbre	Biomasse
PH	1	0,191	-0,184	-0,169	0,137	-0,054	0,165	0,082
CE	0,191	1	0,061	-0,092	-0,135	0,245	0,263	0,309
Cl	-0,184	0,061	1	0,385	-0,304	0,060	-0,049	-0,137
SO4	-0,169	-0,092	0,385	1	-0,132	-0,241	-0,019	-0,076
Ca	0,137	-0,135	-0,304	-0,132	1	-0,191	-0,131	-0,117
Mg	-0,054	0,245	0,060	-0,241	-0,191	1	0,024	0,145
Nbre	0,165	0,263	-0,049	-0,019	-0,131	0,024	1	0,581
Biomasse	0,082	0,309	-0,137	-0,076	-0,117	0,145	0,581	1

En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil $\alpha = 0,050$ (test bilatéral)

La recherche des liaisons est étudiée grâce à l'ACP, les deux premiers axes détiennent respectivement 46.45% et 24.41 % de l'information.

La **figure (18)** qui représente le cercle de corrélations des variables, nous montre que l'axe 1,

intègre l'information apportée par le nombre et la biomasse des lombrics, alors que pour l'axe 2, le pH contribue avec le plus grand pourcentage. A partir de cette figure nous constatons que le nombre total des lombrics et la biomasse totale qui sont négativement corrélés à l'axe 1, s'opposent aux pH et CE qui sont positivement corrélés tout au long de cet axe.

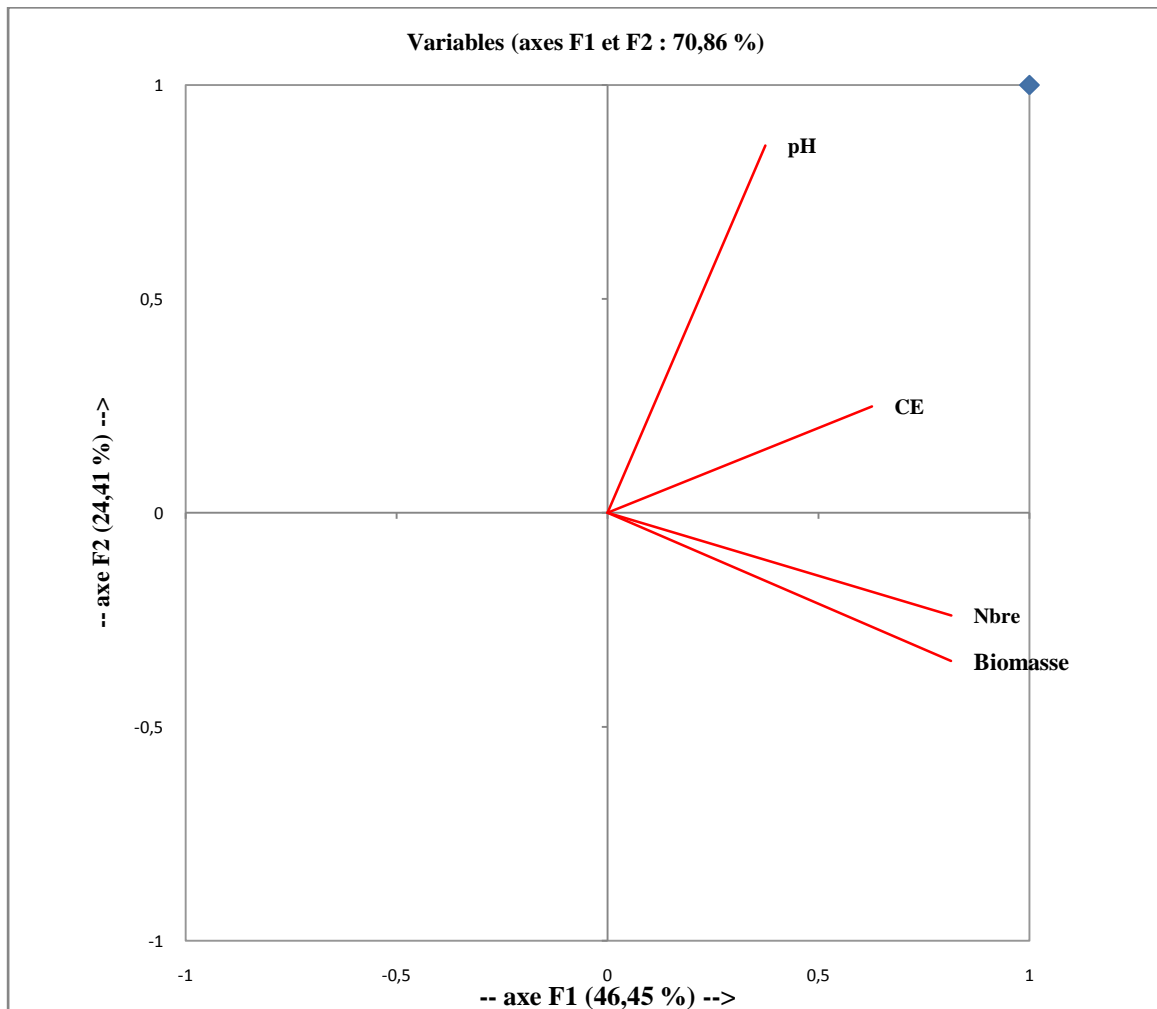


Figure (18) Distribution des paramètres étudiés dans le plan 1/2 de l'ACP.

L'observation de **la figure (19)** nous permet de dire que dans cette présentation graphique, la distribution des individus nous a permis d'élaborer un groupage où le groupe I est formé par les individus du premier prélèvement qui est corrélé positivement au premier et deuxième axe; le groupe II est opposé au premier donc corrélé négativement à l'axe 2 et rassemble les individus du deuxième prélèvement du printemps du premier et troisième site. Alors que le groupe III est corrélé négativement à l'axe 1 et regroupe le reste des individus.

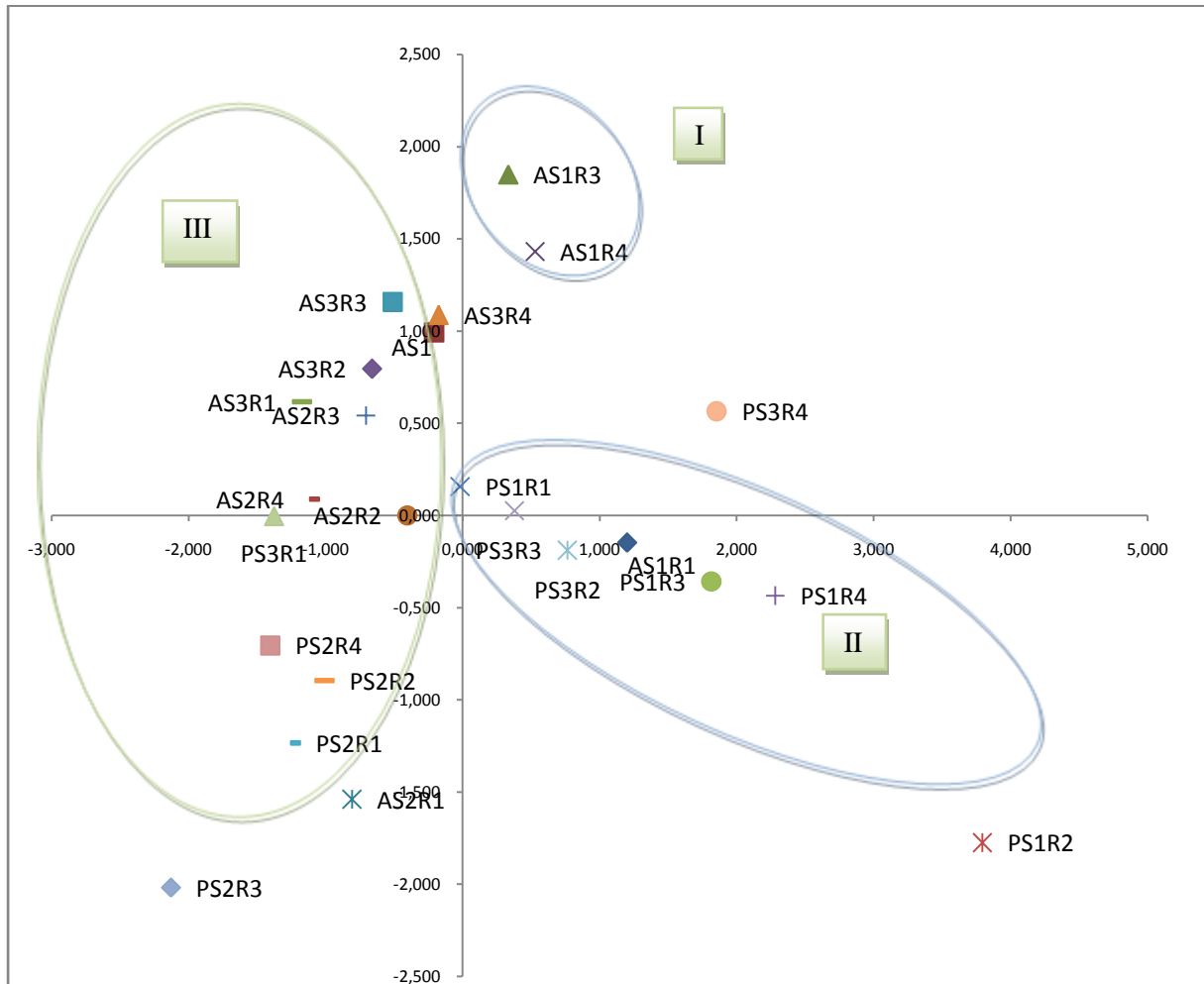
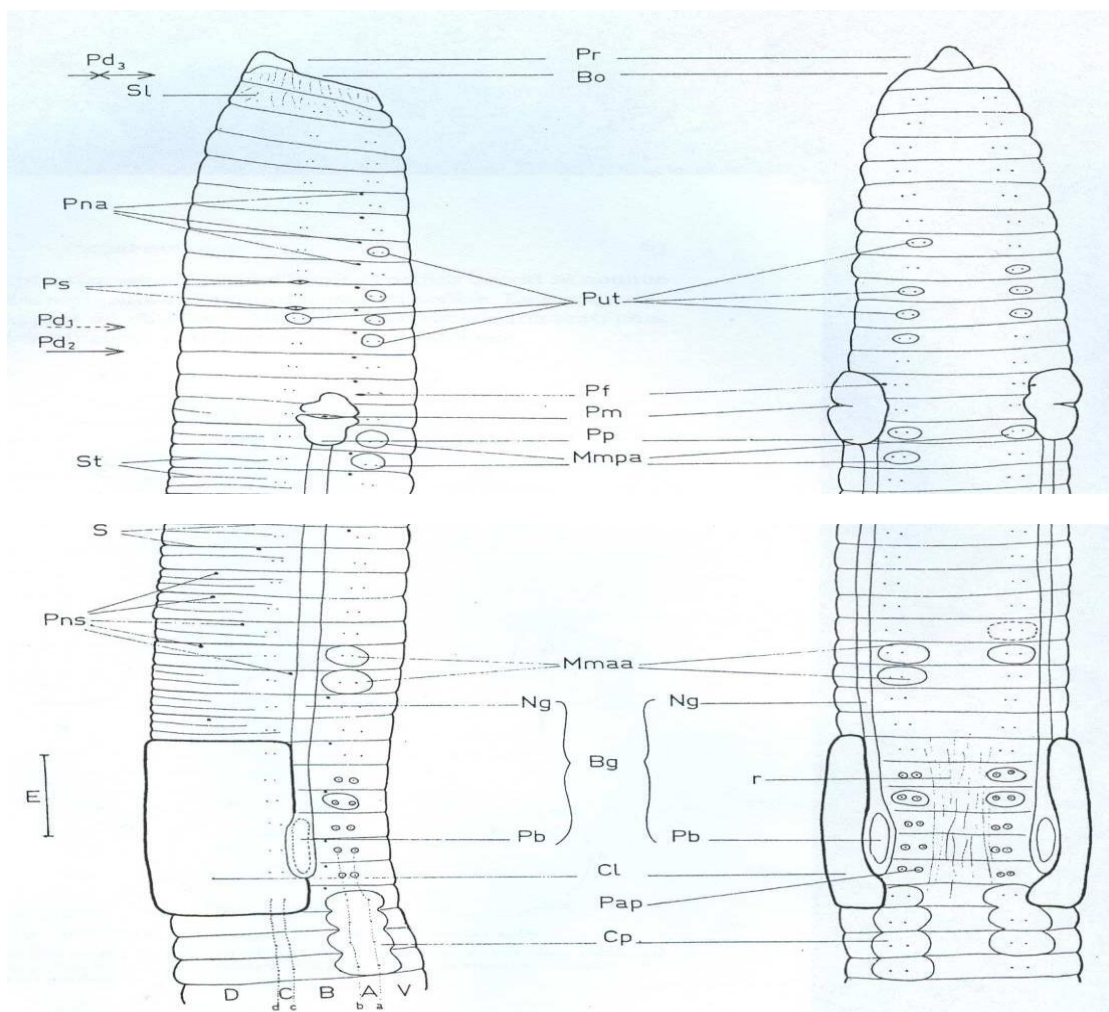


Figure (19) Distribution des individus dans le plan 1/2 de l'ACP.

Annexe 1 - Schéma des caractères externes d'un ver de terre (Bouché, 1972)

En vues latérale (à gauche) et ventrale (à droite). A, aire a ; a, ligne a ; B, aire b ; b, ligne b ; **Bo**, bouche ; Bg, bande génitale ; C, aire c ; c, ligne c ; **Cl**, clitellum ; cp, coussin puberculien ; D, aire d ; d, ligne d ; E, échelle de 1 cm ; Mm aa, mamelons antiarrhéniques ; Mm pa, mamelons périarrhéniques ; Ng, nervure génitale ; pap, papille puberculienne ; **Pb**, **puberculum** ; Pd, pores dorsaux, flèches conventionnelles pour : leur absence totale (Pd3), le premier constamment visible (Pd2) ou parfois visible (Pd1) ; **Pf**, **pore femelle** ; **Pm**, **pore mâle** ; Pn, pores néphridiens alignés (Pn a), en solfège (Pn s) ; Pp, porophore ; **Pr**, **prostomium** ; Ps, spermatophores ; Put, pustules périthécales ; r, ride ; s, scissures ; Sl, sillon longitudinal ; St, sillons transversaux ; V, aire ventrale.



Annexe 2 - Photos d'espèce *Aporrectodea rosea* (Pelosi, 2008)

Aporrectodea rosea (espèce endogé)

Vue dorsale d'un
A. rosea adulte



Vue dorsale
d'un *A. rosea*
juvénile



Vue dorsale d'un
A. rosea adulte



Vue dorsale d'un
A. rosea juvénile



Puberculum d'*A. rosea*

Références bibliographiques :

Anonyme, 2009. Guide à l'utilisation et à l'interprétation des paramètres biologiques du sol. Groupe de travail « Biologie du sol – application » (BSA): 25p

Anonyme, 2010. Agir pour la biodiversité dans les réserves de biosphère. <http://www.agirpourelabiodiversite.fr/spip.php?rubrique87>

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

Bazri K., Ouahrani G., Gheribi-aoulmi Z., Díaz Cosín D.J. 2013. La diversité des lombriciens dans l'Est algérien depuis la côte jusqu'au désert ; **Ecologia Mediterranea** – Vol. 39 (2). 13 pages.

Bernard, L., Chapuis-Lardy, L., Razafimbelo, T., Razafindrakoto, M., Pablo, A.-L., Legname, E., Poulain, J., Bruls, T., O'Donohue, M., Brauman, A., Chotte, J.-L. &

Blanchart, E., 2012. Endogeic earthworms shape bacterial functional communities and affect organic matter mineralization in a tropical soil. *ISME J*, **6**, pp : 213-222.

BNEF (1984) : Plan d'aménagement de la zone des Ouled Yakoub et des Béni-Oudjana (40.000 ha). Ministère de l'Hydraulique de l'Environnement et des Forêts. RADP. 62 pages + annexes.

Bouché, M. B., 1972. Lombriciens de France: Ecologie et Systématique. INRA Ann. Zool.

Ecol. Anim. Publication, France, 671 pages.

Boyer J., 1983. Conservation et amélioration de la fertilité in Bulletin technique d'information des ingénieurs des sciences agricoles n0379/381. pp : 357-366.

Brown, G.G., Barois, I. & Lavelle, P. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *Eur J Soil Biol*, **36**, pp: 177-198.

Brown, G. G., Benito, N. P., Pasini, A., Sautter, K. D., Guimaraes, M. d. F. et Torres, E., 2003. No-tillage greatly increases earthworm populations in Parana state, Brazil. *Pedobiol.* **47**, pp : 764-771

BSA., 2009. Aide à la mise en œuvre **Utilisation et interprétation des paramètres biologiques du sol** Référence Groupe de travail « Biologie du sol – application: Guide à l'utilisation et à l'interprétation des paramètres biologiques du sol. Frick. 25 pages.

Burley J., 2002. La diversité biologique forestière: tour d'horizon Unasylva 209 Vol. 53, pp 3-9.

Célébration de la Journée Nationale de l'arbre., 25 octobre 2011

Direction Générale des Forêts . Dossier de presse.6p

Cluzeau D., Bellido A., Boulonne L., Cannavacciuolo M., Chaussod R., Cortet J., Fargette M., Giteau J-L., Guernion M., Jolivet C., Lavelle P., Foucaud-Lemercier B., Martin F., Mateille T., Mercier V., Péres G., Pernin C., Plantard O., Ponge J.F., Ranjard L., Rougé L., Ruiz N., Tico S., Velasquez H., Villenave C., Walter C. 2009. RMQS *BioDiv* Bretagne. Rapport final. Vol 4 - Tome 7 : Lombriciens. 104 pages.

Cluzeau D., 2012. Mieux connaître les vers de terre. Guide explicatif. 4page.

[WWW:// ecobiosoil.univ.rennes.fr.](http://ecobiosoil.univ.rennes.fr)

Curry, J.P. et O. Schmidt, 2007. The feeding ecology of earthworms-a review. *Pedobiologia*, 50 pp: 463-477.

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

Decaëns T., 2010. Macro ecological patterns in soil communities. *Global Ecol. Biogeogr.* 19, 3 pp: 287-302

Dakouo D., 1991. Le maintien de la fertilité dans les systèmes de culture conduits en motorisation intermédiaire. Cas de la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso. INERA/Programme coton-ESFIMA. 49 pages.

Edwards, C. A., Bohlen, P. J., Linden, D. R. et Subler, S., 1995. Earthworms in agroecosystems. *In*: Hendrix, P. F. (eds), *Earthworm ecology and biogeography in North America*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, pp. 185-213.

Edwards, C. A. et Bohlen, P. J., 1996. *Biology and Ecology of Earthworms* 3rd ed. Chapman and Hall, London, 426 pages.

Edwards, C. A., 1998. *Earthworm Ecology*. Boca Raton, St. Lucie Press, 389 pages.

Edwards C.A., 2004. *Earthworm ecology* (2nd edition). CRC Press, Boca Raton, FL, 440 pages.

Evans, A. C. et Guild, W. J. M. L., 1948. Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. IV. On the life cycles of some British Lumbricidae. *Ann. Appl. Biol.* 35, pp : 471-484.

Ferka Zazou N., 2006. Impact de L'Occupation Spacio-temporelle des Espaces sur la Conservation de L'Ecosystème Forestier. Cas de la Commune de Tessala, wilaya de Sidi bel Abbes, Algérie .112 pages + Annexe.

Freitas. R. P., 2013. Effet du ver de terre *Aporrectodea caliginosa* sur la croissance des plantes, leur développement et leur résistance aux pathogènes.157 pages +Annexe.

Georg S., 2004. Feasibility of Developing the Organic and Transitional Farm Market for Processing Municipal and Farm Organic Wastes Using Large-Scale Vermicomposting, Good Earth Organic Resources Group, Halifax (NÉ). Plus de détails à <http://www.alternativeorganic.com>.

Gerard, B. M., 1967. Factors affecting earthworms in pastures. *J. Anim. Ecol.* 36, pp: 235-252.

Guild, W. J. M. L., 1948. The effect of soil type on the structure of earthworm populations. *Ann. Appl. Biol.* 35, pp: 181-192.

Gunadi B., Charles B. et Edwards C.A. 2002. The growth and fecundity of *Eisenia foetida* (Savigny) in cattle solids precomposted for different periods. *Pedobiologia*, N° 46, pp: 15-23.

Hartenstein, R. et Amico, L., 1983. Production and carrying capacity for the earthworm *Lumbricus terrestris* in culture. *Soil Biol. Biochem.* 15, pp : 51-54.

Lavelle, P., Barois, I., Blanchart, E., Brown, G., Brussaard, L., Decaëns, T., Fragoso, C., Jiménez, J. J., Ka Kajondo, K., De los Angeles Martinez, M., Moreno, A., Pashanasi, B., Senapati, B. et Villenave, C., 1995. Les vers de terre, une ressource dans les agrosystèmes tropicaux. *Nature et Ressources* 34, pp : 26-41.

Lavelle, P. et Spain, A. V., 2001. Soil Ecology. Kluwer Scientific Publications, Amsterdam, 654 pages.

Lee, K. E., 1985. Earthworms: their ecology and relationship with soils and land use. New York, 411 pages.

Mando A., Zougmore R., Zombre N. P., Hien V., 2000. Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne. *In* La jachère en Afrique, Floret Ch., et Pontanier R., (Eds), John Libbey, Paris, France.

Mathieu C. et Pieltain F. 2003. Analyse chimique des sols. Méthodes choisies. Ed. Lavoisier. 387 pages.

Millogo. B., 2002. Diagnostic des modes de gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de culture motorisés en zone cotonnière ouest du burkina faso. Mémoire d'ingénieur UPB/IDR. 94 pages.

Nordström, S. et Rundgren, S., 1974. Environmental factors and lumbricid associations in southern Sweden. *Pedobiol.* 14, pp : 1-27.

Omodeo P., Rota E. & Baha M., 2003. The megadrile fauna (Annelida: Oligochaeta) of Maghreb: a biogeographical and ecological characterization. *Pedobiologia.* 47: pp: 458-465

ONF. (Office national des forêts),2007

http://www.onf.fr/gestion_durable/sommaire/milieu_vivant/ecosysteme/elements/2007

Pelosi, C., 2008. Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre *lumbricus terrestris* au champ, contribution à l'étude de l'impact de systèmes de culture sur les communautés lombriciennes, 195 pages.

Peres G., Cluzeau D., Hotte H., Delaveau N. et Coll. 2002. Les vers de terre Des Outils Biologiques Pour Des Sols Durables **Fiche outil F2.** www.ademe.fr

Pfiffner,L., 2013.Fiche technique. Vers de terre. Ed. Suisse.6pages. www.Fible.org.

Phillipson, J., Abel, R., Steel, J. et Woodell, S. R. J., 1976. Earthworms and the factors governing their distribution in a beechwood. *Pedobiol.* 16, pp : 258-285.

Ponge J.F. 2004. La faune du sol, ouvrière peu connue du fonctionnement des écosystèmes forestiers. Forêt-entreprise 155, 1 pp: 33-35

Ranger J., 1993. Le diagnostic de fertilité chimique des sols forestiers. INRA Formation Permanente, Centre de Nancy, 16 pages.

Ranger J, 1996. La fertilité des sols des forêts est-elle durable ? Les dossiers de l'INRA : "La gestion durable des forêts : contribution de la recherche", n° 12, Automne 1996. pp: 26-31

Römbke, J., Sousa, J. P., Schouten, T. et Riepert, F., 2006. Monitoring of soil organisms: a set of standardized field methods proposed by ISO. *Eur. J. Soil Biol.* 42, pp: 62-64.

Rougerie R., Decaëns T., Deharveng L., Porco D., James S.W., Chang C.-H., Richard B., Potapov M., Suhardjono Y. & Hebert P.D.N., 2009. DNA barcodes for soil animal taxonomy. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 44. pp: 789-801.

Satchell, J. E., 1967. Lumbricidae. *In*: Burges, A. et Raw, F. (eds), *Soil Biology*. Academic Press, London, pp: 259-322.

SCDB (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique) 2010. La biodiversité forestière-Le trésor vivant de la planète. Montréal, 48 pages.

Schreck E., 2008. Influence des modes d'entretien du sol en milieu viticole sur le transfert des pesticides vers les eaux d'infiltration – Impact sur les lombriciens. **Thèse doc.** Université Toulouse III – (Ecotoxicologie) 301pages.

Shipitalo, M.J. & Le Bayon, R.C. (2004) Quantifying the effects of earthworms on soil aggregation and porosity. In Edwards, C.A. (ed) *Earthworm ecology*. CRC Press, Boca Raton, USA, pp: 183-200.

Sims, R. W. et Gerard, B. M., 1999. Earthworms. FSC Publications, London, 167 pages.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. & Denef, K. (2004) A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, **79**, pp : 7-31.

Soltner D., 1986. Les bases de la production végétale. Tome 1. le sol. 146 édition collection sciences et techniques agricoles, 464 p.

Soltner D., 2005. Les bases de la production végétale. T 1 : le sol et son amélioration. 24 Ed. Science et techniques agricoles, 473 pages.

Traore S. S. H., 2012. Effets agro-pédologiques des modes de gestion à long terme des nutriments sous système de production à base de coton au Burkina Faso : cas des essais longue durée de Saria et de Farako-Bâ. Mémoire d'ingénieur du développement rural. Option : Agronomie. Université Polytechnique De Bobo-Dioulasso (UPB). 59 pages.

Trichet P., Jolivet C., Arrouays D., Loustau D., Bert D., Ranger J., 1999. Le maintien de la fertilité des sols forestiers landais dans le cadre de la sylviculture intensive du pin maritime. *E.G.S.*, 6, pp : 197-214.

Van Rhee, J. A. et Nathans, S., 1973. Ecological aspects of earthworm populations in relation to weather conditions. *Rev. Ecol. Biol. Soil* 10, pp : 523-533.

Védie, H., 2003. Fiche technique. (GRAB). Evaluer la fertilité des sols. 4 pages.

Wolfarth, F., Schrader, S., Oldenburg, E., Weinert, J. & Brunotte, J. 2011. Earthworms promote the reduction of Fusarium biomass and deoxynivalenol content in wheat straw under field conditions. *Soil Biol. Biochem.*, **43**, pp : 1858-1865.