

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Université de Blida 1
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département de Biotechnologie

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention d'un diplôme de master en
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : science agronomique
Spécialité : Phytoprotection durable

Thème

*L'effet des boues d'épurations sur la
biodiversité des sols (collemboles)*

Soutenu devant le jury :

Préparé par :

LARIBI KARIMA et LAGUEB AKILA

M^{re} DJAZOULIZ P.R

U.B.1

Président

M^{me} ZEMOURIS M.A.A

U.B.1

Promotrice

M^{me} REMINIL M.A.A

U.B.1

Examinatrice

Année universitaire : 2015/2016

Remerciements

Grâce à الله le tout puissant qui nous a donné la bonne santé, la patience, la volonté et le courage pour réaliser ce modeste travail.

Mes profonde gratitude s'adresse tout d'abord à :

M^{me} zemourí.S pour avoir accepté de m'encadrer et de diriger ce travail et pour leur Patience, pour ses conseils, sa confiance et pour ses directives les plus précieuses.

Nous exprimons notre reconnaissance et nos sincères remerciements à:

M^{me} ALLEL.L qui nous a fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.

❖ Nous remercions également les membres de jury :

Mr DJAZOULI F qui nous a fait l'honneur d'assurer le président du jury.

Melle REMINI pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail. M^{me} Oumourí.W, qui nous a aidé à réaliser l'analyse statistique des résultats.

Mr Gazali, qui nous a aidé à réaliser notre identifications.

M^{me} Amína pour sa gentillesse et son aide dans tout ce que nous avons besoin dans le laboratoire zoologie.

❖ Nous remercions aussi M^{me} LEMMITI.

❖ Nous voudrions exprimer notre reconnaissance envers les amis et collègues qui nous' ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de notre démarche.

❖ Nous remercions tous ceux et celles qui nous 'ont aidé de près ou loin à la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers ;

- A ma très chère mère Anissa ; Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi.

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

- A la mémoire de mon père Ahmed ; Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous.

Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

- A ma très chère sœur Leïla, son mari Yassine et leur petite fille Amina ; En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

- A mes très chers frères Billel, et Anis ; Mes anges gardiens et mes fidèles compagnons dans les moments les plus délicats de cette vie mystérieuse.

- A mes collègues, mes amis (es) Akila, Ilhem, Zahra... ; Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des sœurs, et des amis sur qui je peux compter.

En témoignage de l'amitié qui nous uni et des souvenirs de tous les moments que nous avons passé ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.

- A tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation.

Laribi karima

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots que je dédis ce modeste travail de fin d'étude à mes très chères parents qui ont sacrifié leur vie pour ma réussite.

- À mon frère Adel, sa femme Asma.

- À ma sœur Hanane, son mari Fouzi et leur fils Anis.

- À mon fiancé Mohamed et à ma belle famille.

- À mes très chères amies : Karima, Ishame, Zahra.

- À tous ceux et celles qui m'ont aidé de près et de loin pour réaliser ce mémoire.

Tableau des Matières

	Introduction générale.....	01
	Synthèse bibliographique	
Chapitre I :	Les boues d'épurations	
	Introduction.....	02
I.	Définition des boues d'épurations.....	02
II.	Origine des boues.....	03
III.	Les caractéristiques des boues.....	04
	III.1. Caractéristiques physico-chimiques.....	04
	III.1.1. Matière sèche et siccité.....	04
	III.1.2. Matières en suspension.....	04
	III.2. Caractéristiques biologiques.....	05
	III.2.1. Composition des matières organiques.....	05
	III.2.2. Pouvoir calorifique inférieur.....	05
	III.2.3. Composition des matières minérales.....	05
	III.2.4. Les Micropolluants.....	05
	III.3. Caractéristiques physiques.....	05
	III.3.1. Viscosité.....	06
	III.3.2. Granulométrie.....	06
	III.3.3. Conductivité thermique.....	06
IV.	La composition des boues d'épurations.....	06
	IV.1. Les éléments utiles.....	06
	IV.1.1. La matière organique.....	06
	IV.1.2. Les éléments minéraux.....	07
	IV.2. Les éléments indésirables.....	08
	IV.2.1. Les éléments traces métalliques.....	08
	IV.2.2. Les composés traces organiques.....	08
	IV.2.3. Les micro-organismes pathogènes.....	08

	IV.3. Le prétraitement de l'eau usée.....	09
V.	Les différents types des boues.....	09
	V.1. Les boues industrielles.....	09
	V.2. Les boues primaires.....	10
	V.3. Les boues biologiques ou secondaires.....	10
	V.4. Les boues physico-chimiques.....	10
	V.5. Les boues mixtes.....	10
	V.6. Les boues d'aération prolongée.....	10
VI.	L'utilisation des boues.....	10
	VI.1. L'application des boues sur le sol.....	10
	VI.1.1. Le transport.....	11
	VI.1.2. Le mode d'épandage.....	11
VII.	Impact des boues sur l'environnement.....	11
	VII.1. Sur les propriétés biologiques du sol.....	11
	Conclusion.....	13
Chapitre II : Le sol		
	Introduction.....	14
I.	Les principales phases du sol.....	14
	I.1. La phase solide.....	14
	I.2. La phase liquide.....	14
	I.3. La phase gazeuse.....	14
II.	L'activité biologique du sol.....	14
	II.1. La faune du sol.....	15
Chapitre III : Mésofaune du sol (Collemboles)		
	Introduction.....	16
I.	Définition des Collemboles.....	16
II.	Caractéristiques morphologiques.....	16
III.	Régime alimentaire.....	18
IV.	Habitat.....	18
V.	Rôle des collemboles.....	19

VI.	Rôle écologique.....	21
VII.	Données actuelles sur les Collemboles d'Algérie.....	21
	VII.1. Liste des Collemboles nouvellement signalés en Algérie et en Afrique du nord.....	21

Partie expérimentale

Chapitre I : Etude du milieu

I.	Présentation de la région d'étude.....	25
	I.1. Cadre régional.....	25
	I.2. Cadre locale.....	25
II.	Géologie et géomorphologie	26
	II.1. La géologie.....	26
	II.1.1. Géologie régionale.....	26
	II.1.2. Géologie locale.....	26
II.2.	La géomorphologie.....	28
III.	Etude climatique.....	29
	III.1. Les températures.....	29
	III.2. La pluviométrie.....	30
	III.3. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN..	30
	III.4. Quotient pluviométrique et climatique d'Emberger	31
	Conclusion	33

Chapitre II : Matériels et méthodes

I.	Sur le terrain.....	34
	I.1. Choix du site	34
	I.2. Origine et caractérisation de la boue.....	34
	I.3. Matériels utilisés.....	35
	I.4. Prélèvement des échantillons.....	35
II.	Au laboratoire.....	36
	II.1. Préparation et analyse de sol.....	36
	II.1.1. Préparation de sol.....	36
	II.1.2. Analyse de sol.....	37
	II.1.2.1. Les analyses physiques et chimiques.....	37

	II.1.2.1.1. L'humidité.....	37
	II.1.2.1.2. Mesure du pH du sol.....	38
	II.1.2.1.3. Mesure de la conductivité électrique...	38
	II.1.2.1.4. Dosage de calcaire total.....	39
	II.2. Extraction de la faune.....	40
	II.3. Tri et dénombrement.....	41
	II.4. Conservation et identification.....	41
	II.5. Identification et comptage.....	41
III.	Méthode d'analyse de la structure des peuplements.....	41
	III.1. Abondance et densité d'espèces	42
	III.2. Indice de diversité de Shannon H'.....	42
Chapitre III : Résultats et discussions		
I.	Les analyses physico-chimiques du sol	43
	I.1. Le pH.....	43
	I.2. La conductivité électrique.....	43
	I.3. Le calcaire.....	44
	I.4. L'humidité relative des sols.....	45
	I.5. L'humidité relative et les Collemboles.....	46
	I.6. Le pH et l'abondance des Collemboles du sol.....	48
II.	Communautés des collemboles échantillonnées dans le sol.....	50
III.	Analyse de la structure du peuplement des Collemboles.....	56
	III.1. L'abondance relative des espèces.....	57
	III.2. La diversité de Shannon.....	58
	III.3. L'équitabilité.....	59
	Conclusion générale.....	61
	Références bibliographiques	
	Annexes	

Résumé

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact de l'utilisation des boues résiduelles sur l'abondance de la mésofaune notamment les collemboles dans les sols cultivés de la région de Tizi-Ouzou. Nous avons échantillonné les sols, l'un épandu avec des boues, le second utilisé comme témoin. Les paramètres physiques et chimiques des sols, ainsi que le dénombrement de la faune des sols selon la méthode de Berelése-Tullgren ont été mesurés.

Les sols ont un pH légèrement acide, des taux de calcaire et de variables d'un sol à un autre, avec une conductivité électrique élevée dans les traités. 13 groupes fauniques ont été recensés, avec des abondances variables d'un niveau à un autre et d'un sol à un autre.

L'abondance faunique se localise dans les traités avec les boues.

Mots clés : Boues résiduelles, Biodiversité, Collemboles, Tizi-Ouzou.

Abstract

The main goal of this work is to evaluate the impact made by using the sewage sledges in the areas rich with mesofauna knowing that the Collembolas in the cultivated soils in the region of Tizi Ouzou that we sampled our soils from, one we spread with the sludge and the other we kept as a witness. The physical and chemical parameters of soils in addition to the count of fauna in the soils were all measured using the Berelése-Tullgren method. The soils had a slightly acidic pH, the ratios of calcareous and the variables of a soil to another, with a high electrical conductivity in the samples treated. 13 faunic groups have been identified, with the variable abundances of a level to another and to a soil and another. The faunic abundance is localized in the samples treated with sledges.

Key words: sewage sledges, Biodiversity, collembolas, Tizi-Ouzou.

ملخص

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم تأثير استخدام الحمأة على وفرة من Mésafaune بما في ذلك القافزة بالذنب في التربة المزروعة في منطقة تيزي وزو حيث قمنا بأخذ عينات التربة , الأولى قمنا بنشرها مع الحمأة , والثانية تستخدم كشاهد أو (مثال).

المعلومات الفيزيائية والكيميائية للتربة وأيضا توزع الحياة البرية تكون باستخدام طريقة Berelése-Tullgren . أنواع التربة ذات وسط حامضي قليلا , ومعدلات الحجر الجيري متنوعة من تربة الى أخرى مع توصيل كهربائي عالي في المعالجة .

تم التعرف على 13 جماعة في الحياة البرية مع وفرة متفاوتة من مستوى الى آخر ,ومن طابق الى آخر.

الكلمات المفتاحية : الحمأة,التنوع البيولوجي ,القافزة بالذنب , تيزي وزو.

Liste des Figures

Figure 01 :	Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration.....	04
Figure 02 :	Schéma du principe d'une filière de traitement des boues.....	09
Figure 03 :	Faune du sol.....	15
Figure 04 :	Morphologie générale d'un collembole arthropodéone.....	17
Figure 05 :	Onychiuridae (<i>protaphorura armata</i>).....	19
Figure 06 :	Ravageur du trèfle : <i>Sminthurus viridis</i>	20
Figure 07 :	Auxiliaire des cultures : <i>Sinella curviseta</i>	20
Figure 08 :	Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN pour la période (2003-2013).....	30
Figure 09 :	Le climagramme d'EMBERGER de la wilaya de Tizi-Ouzou pour la période (2001-2013).....	32
Figure 10 :	de parcelle échantillonnée via Google Earth 2016.....	34
Figure 11 :	Photos illustrant les niveaux des profondeurs des prélèvements.....	36
Figure 12 :	Photo illustrant le broyage des échantillons.....	37
Figure 13 :	Photo illustrant le tamisage des échantillons.....	37
Figure 14 :	pH mètre.....	38
Figure 15 :	Conductivimètre.....	39
Figure 16 :	Le calcimètre de Bernard.....	39
Figure 17 :	Appareil de Berlese-Tullgren.....	40
Figure 18 :	La variation du pH pour l'ensemble des horizons.....	43
Figure 19 :	La variation de la conductivité électrique des horizons.....	44
Figure 20 :	La variation du calcaire totale des horizons.....	45
Figure 21 :	Pourcentage de l'humidité relative des échantillons de sol pour l'ensemble des horizons.....	46

Figure 22 :	Corrélation entre le pourcentage d'humidité relative et l'abondance des collemboles sur les parcelles témoin (a) et épandue(b).....	47
Figure 23 :	Corrélation entre le PH et l'abondance de collemboles sur les parcelles témoin (a) et épandue(b).....	49
Figure 24 :	Répartition des espèces sur les familles pour la parcelle témoin.....	52
Figure 25 :	Répartition des espèces sur les familles pour la parcelle épandue.....	55
Figure 26 :	Pourcentage des collemboles récoltés dans les deux parcelles témoin et épandue.....	56
Figure 27 :	Abondance relative des collemboles sur les parcelles témoin et épandue de chaque espèce.....	58
Figure 28 :	Diversité de Shannon des Collemboles pour l'ensemble des horizons.....	59
Figure 29 :	Equitabilité des collemboles pour l'ensemble des horizons.....	60

Liste des Tableaux

Tableau 01 :	Liste d'espèces nouvellement signalées en Algérie (Hamra-Kroua, 2005).....	23
	
Tableau 02 :	Températures moyennes mensuelles pour la période (2003-2013) dans la région de Tizi-Ouzou.....	29
Tableau 03 :	Pluviométrie moyenne mensuelle pour la période (2003-2013 dans la région de Tizi-Ouzou.....	30
Tableau 04 :	Caractéristiques des boues utilisées (Station d'épuration de Tizi-Ouzou)	35
Tableau 05 :	Liste faunistique et nombre d'espèces de la parcelle témoin.....	50
Tableau 06 :	Liste faunistique et nombre d'espèces de la parcelle épandue	53
Tableau 07 :	Résultats de l'abondance relative.....	57
Tableau 08 :	Résultats de l'indice de Shannon (H').....	58
Tableau 09 :	Résultats de l'équitabilité des parcelles témoin et épandue.....	59

Liste des Abréviations

CTO :	Composés traces organiques.....	08
ETM :	Elément traces métallique.....	08
MES :	Matières en suspension.....	04
MS :	Matière sèche.....	04
MV :	Matière volatil.....	05
PCI :	Pouvoir calorifique inférieur.....	05
S :	Siccité.....	04
STEP :	Station de traitement des eaux polluées.....	10

Introduction générale

L'Algérie est un pays au climat essentiellement aride à semi-aride, où les ressources en matière organique sont très limitées ; Le problème majeur dont on se confronte tout le temps, consiste à trouver une solution pour augmenter l'état de fertilité des sols agricole tout en protégeant l'environnement et l'hygiène publique.

Dans ce sens, la valorisation des boues résiduares par épandage semble le moyen le plus efficace, du point de vu écologique et économique, à savoir que cette pratique vise à valoriser les propriétés fertilisantes des boues résiduares pour les cultures. **(Medkour, 2002).**

En Algérie Devant une situation largement déficitaire en matière fertilisante, l'accroissement de la demande sur les produits agricoles incite à l'utilisation de ce type de déchet, elle est considérée par les agriculteurs comme une ressource abondante, riche en éléments fertilisants et gratuite.

En effet, les sols traités avec des boues gardent plus longtemps l'humidité et tendent à avoir un pH neutre et s'enrichissent en phosphore et en matière organique **(Benmouffok et al., 2005; Mohammad et al., 2004 ; Gomez et al., 1984)**. Cependant les boues résiduares sont riches en microorganismes pathogènes, elles sont la cause de la pollution aux métaux lourds **(Tasdilas, 1997)** qui peuvent facilement nuire à la santé publique ; Cependant, le moyen le plus adéquat pour l'élimination des boues résiduares serait leur valorisation agricole.

En effet, il est devenu nécessaire la valorisation de cette ressource fertilisante, non négligeable et d'en pérenniser la pratique on confirmant les effets sur le compartiment biologique et la modification de son fonctionnement à court ou à plus long terme.

Dans ce contexte que s'inscrit notre travail axé essentiellement sur l'impact de l'utilisation des boues résiduaire en agriculture. Notre objectif est d'évaluer l'effet de l'épandage des boues résiduaire issues de la station d'épuration de Rehalia à Oued Aissi sur le comportement biologiques de quelques sols de la région de Tizi- Ouzou notamment la mésofaune (Collemboles) qui jouent important dans le cycle des nutriments au niveau de l'écosystème sol.

La thèse comporte deux parties, et trois chapitres pour chaque partie.

Introduction

Les boues résiduaires possèdent une valeur agronomique liée à la richesse en matière organique, en éléments fertilisants (N.P.K) et oligo-éléments. L'utilisation agricole de ces boues permet de recycler les éléments qu'elles possèdent par les plantes, et Néanmoins, le contrôle de l'épandage des boues doit être une préoccupation du fait que les boues sont des déchets et quelles sont susceptibles d'apporter des éléments indésirables (micropolluants métalliques ou organiques et des germes pathogènes) d'où il faut maîtriser les flux pour garantir l'innocuité vis-à-vis des sols et de l'environnement. Les différents travaux de recherche réalisés dans plusieurs pays appellent à l'application des boues en termes de matière fertilisante et d'amendement organique. Cette application doit répondre à plusieurs objectifs:

- ❖ Agro-écologique
- ❖ Economique
- ❖ Améliorer la qualité trophique et organique des sols
- ❖ Garantir la production agricole

Ainsi, la quantité de boue à épandre est calculée sur une période appropriée par rapport au niveau de fertilité des sols, et aux besoins nutritionnels des plantes en phosphore et en azote. Cette dose doit être compatible avec les potentialités des sols.

I. Définition des boues d'épurations

On appelle boues résiduaires ou boues d'épurations, les sédiments résiduaires issus du traitement des eaux usées, les boues d'épurations urbaines résultent du traitement des eaux usées domestiques qui proviennent de l'activité des particuliers et éventuellement des rejets industriels dans les réseaux des collectivités après avoir suivi un prétraitement obligatoire.

Les eaux usées sont collectées puis acheminées vers les stations d'épurations où elles sont traitées. En fin de traitement à la sortie de la station, l'eau épurée est rejetée vers le milieu naturel et il reste les boues résiduaires qui sont composées d'eaux et de matières sèches contenant des substances minérales et organiques (Comité Sécurité Alimentaire de l'Aprifel).

II. Origine des boues

Généralement, le traitement des eaux usées au sein d'une station d'épuration comporte quatre étapes successives (**Figure.01**).

- **Les prétraitements** : ils consistent à éliminer les éléments grossiers (dégrillage), à enlever le sable (dessablage) ainsi que les graisses (désuilage).
- **La décantation primaire** : elle permet la capture des éléments en suspension.
- **La digestion aérobie ou traitement biologique** : réduction de la charge en matière organique de l'eau usée par des micro-organismes regroupés en « flocs » et production de boues dites « activées ». Cette phase nécessite une aération conséquente.
- **La clarification** : elle permet la séparation du « floc » bactérien de la phase aqueuse. L'eau traitée est alors rejetée dans le milieu naturel, tandis que les boues résiduelles sont collectées puis traitées en vue de leur valorisation ou de leur élimination.

Par ailleurs, d'autres matières plus ou moins chargées, sont également traitées en station : eaux de pluie (en cas de réseau de collecte des eaux Usées unitaire), matières de vidange de fosses sceptiques (lorsque la station y est autorisée), etc. Les boues produites par les stations d'épuration sont essentiellement des particules solides non retenues par les prétraitements et les procédés de traitement de l'eau (dégradation et séparation des polluants de l'eau). Ces boues se composent de matières organiques non dégradées, de matières minérales, de micro-organismes et d'eau (environ 99%).

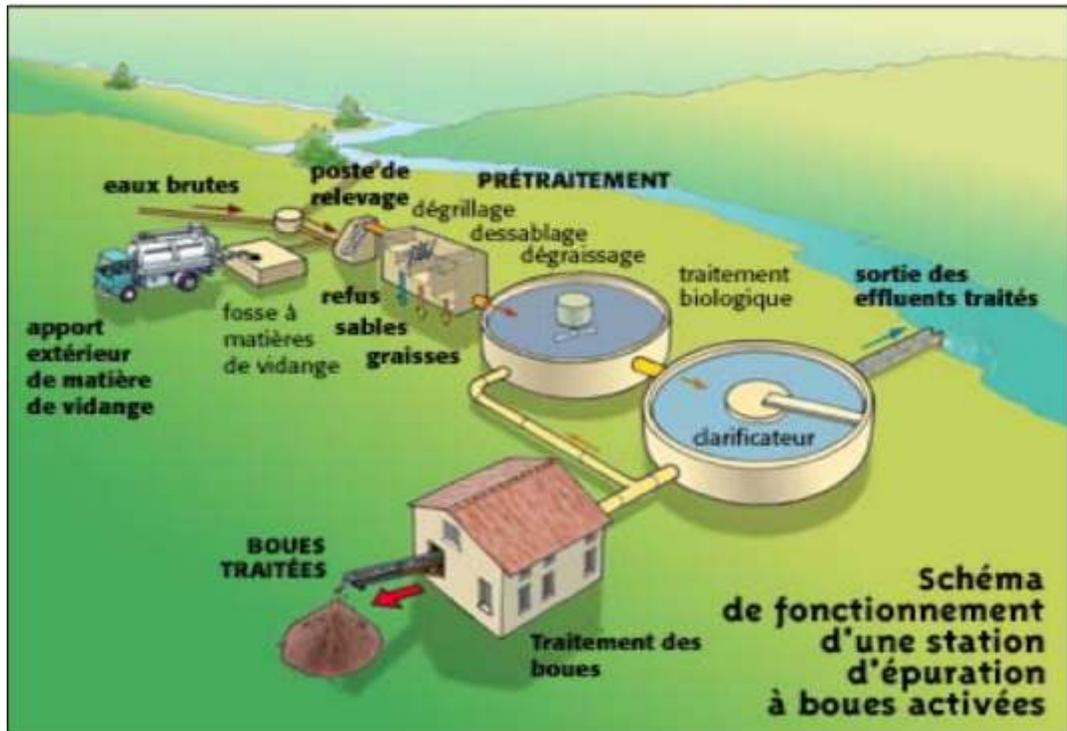


Figure 01: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration (source ADEME, 2001)

III. Les caractéristiques des boues

III.1. Caractéristiques physico-chimiques

III.1.1. Matière sèche et siccité

C'est le paramètre principal de la définition de filière et surtout un des plus faciles à mesurer. Matière sèche est exprimé en g/L. Rapporté à la masse totale de boue, on l'exprimera en fraction massique S qui correspond à la siccité. Il permet de connaître la quantité de boue à traiter-quel que soit- son niveau de concentration dans la filière de traitement. (KORMANIK, R.A. 1972).

III.1.2. Matières en suspension

Si les matières sèches sont faciles à déterminer sur les phases concentrées, il n'en va pas de même sur les phases clarifiées où la procédure de mesure des matières en suspension par filtration sur membrane est plus appropriée.

Afin d'écrire un bilan matière rigoureux soit en matières sèches, soit en matières en suspension sur une opération de séparation de phase (qui ne sépare que les matières en suspension), on reliera les deux paramètres par la relation expérimentale suivante :

$MES = MS - [\text{substances organiques et minérales dissoutes}]$. (EMILIE JARDE, 2002).

III.2. Caractéristiques biologiques

III.2.1. Composition des matières organiques

La connaissance de la composition élémentaire de la boue en terme de C, H, O, N, S permet de déterminer l'aptitude d'une boue à être dégradée biologiquement (digestion anaérobie avec production de biogaz) ou thermiquement (incinération).

Par écriture de la stœchiométrie de dégradation elle est exprimée par rapport aux MV, voire par rapport aux MV dégradables uniquement si l'on s'intéresse à la stabilisation biologique. (ECHAB, A 1998).

III.2.2. Pouvoir calorifique inférieur

Son importance est primordiale en incinération ;généralement exprimé par rapport aux MV, il est à relier au C, H, O, N, S par écriture de la stœchiométrie de combustion. Différentes approches (formule de Dulong, théorie des électrons disponibles, etc.) permettent de le calculer approximativement à défaut de le mesurer expérimentalement à la bombe calorimétrique. (HOODA, P. S, ALLOWAY, B.J 1993).

III.2.3. Composition des matières minérales

Silice, alumines, carbonates et phosphates constituent les éléments les plus couramment rencontrés à l'exception des boues minérales d'industries spécifiques. Carbonates et phosphates ont ainsi leur importance pour préciser la qualité agricole d'une boue épandue ; la silice est un élément défavorable en centrifugation. Par ailleurs les chlorures, essentiellement solubles sont peu appréciés en cas d'utilisation des cendres de boues incinérées en valorisation dans le béton. (TAUZIN, C, JUSTE, C1986).

III.2.4. Les Micropolluants

Ils doivent être caractérisés en cas d'épandage agricole comme en cas d'incinération, car ils peuvent alors se retrouver dans les fumées. Les législations se sont longtemps tenues aux seuls micropolluants minéraux en limitant les rejets des métaux lourds suivants: plomb, chrome, cuivre, manganèse, nickel, arsenic, cadmium et mercure. (SUH, Y.J AND, ROUSSAUX, P, 2002).

III.3. Caractéristiques physiques

Afin de concentrer, chauffer, convoier et stocker la boue, il est indispensable de préciser ses propriétés physiques.

III.3.1. Viscosité

Les boues fraîches, dont la concentration dépasse rarement 10 à 15 g/L, ont un comportement newtonien. Quand la teneur en MS prend des valeurs plus importantes, la boue adopte un comportement généralement rhéofluidifiant, modélisable. (SEDKI, A, 1995).

III.3.2. Granulométrie

Idéalement, la valeur du diamètre particulaire permettrait de connaître, d'après la loi de Stokes, l'aptitude d'une boue à épaissir. La distribution granulométrique d'une boue est cependant difficile et longue à mesurer. Les rares mesures effectuées montrent en outre une forte dispersion autour du diamètre moyen. Par ailleurs, si la taille est généralement un critère favorable, des particules de taille importante peuvent entraîner des problèmes de convoyage (dépôts) ou d'abrasion (silice), notamment en cas de centrifugation. (ADEME, 1999).

III.3.3. Conductivité thermique

Ce paramètre ne sert que dans le cas d'une modélisation fine du séchage indirect ou d'échangeurs où des calculs de coefficients d'échange sont nécessaires. (AGGELIDES, S.M., LONDRA, P.A. 2000).

IV. La composition des boues d'épurations

Les boues sont composées de particules solides non retenues par les prétraitements. Elles sont essentiellement composées d'eau (99%), et de trois éléments : les éléments utiles (matière organique et éléments fertilisants), les éléments indésirables (éléments traces métalliques et composés et composés traces organiques) et les micro-organismes pathogènes.

IV.1. Les éléments utiles

IV.1.1. La matière organique

Les boues contiennent généralement autant de matières organiques qu'un fumier. leur concentration en matières organiques peut varier de 30 à 80%, celle-ci est constituée de matières particulaires éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19% de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33% de la matière organique) ainsi que les produits de métabolisme et des corps microbiens résultants des traitements biologiques : digestion et stabilisation (ADEME, 2001).

IV.1.2. Les éléments minéraux

L'azote : La teneur en azote des boues est un des éléments principaux qui favorisent sa valorisation, cette richesse en azote (ramée à la matière sèche) est surtout importante dans la phase liquide sont des composés facilement métabolisables ou tout simplement des composés ammoniacaux directement utilisables par les plantes. Il en résulte que les boues qui ont subi une déshydratation importante notamment par passage filtre-pressé, perdent une grande partie de leur valeur engrais azotés solubles. Par ailleurs, le traitement thermique des boues conduit à des produits plus pauvre en azote que la moyenne (1 à 1,5% de la matière sèche). Il en est de même des boues qui ont subi un traitement par la chaux pouvant provoquer des pertes importantes en azote par volatilité d'ammoniac.

Le phosphore : Le nombre de travaux consacrés à l'étude de la disponibilité pour les plantes de l'acide phosphorique contenu dans les boues est beaucoup plus restreint que celui ayant trait à l'appréciation de l'assimilabilité de l'azote de se même déchet. Il faut reconnaître que les résultats des expériences culturales réalisées un peu partout dans le monde sont souvent contradictoires ; le phosphore des boues étant considéré comme assimilable ou beaucoup moins assimilable que celui d'un engrais phosphaté minéral considéré comme soluble.

Le potassium : C'est l'élément le moins représenté dans les boues dix fois moins que la teneur en azote. Le déficit en potassium des boues résulte de sa solubilisation et de son entraînement dans l'effluent épuré. Par conséquent, les apports en potassium par les boues sont pratiquement négligeables. Mais la minime quantité contenue semble être rapidement assimilable.

Le calcium : La forte charge de calcium des boues n'autorise pas à considérer ces derniers comme des amendements calcaires susceptible d'élever le pH des sols. Il est vraisemblable en effet que le calcium des boues se trouve absorbé sous une forme facilement échangeable et certainement pas sous forme d'oxyde, d'hydroxyde ou de carbonate de calcium. Les boues additionnées par doses importantes de chaux ayant amené leur pH aux environs de 12 à 13, doivent être considérées comme de simples amendements calcaires.

Le sodium : Le niveau de sodium dans les boues est relativement important. La teneur en sodium a tendance à augmenter dans un sol après un apport de boue, cependant il est entraîné par lessivage.

Le magnésium : La concentration en magnésium des boues est également assez élevée et souvent supérieure à celle que l'on observe dans les fumiers de ferme. Il s'y trouve probablement sous une forme relativement mobile puisque plusieurs auteurs signalent un accroissement de la teneur des horizons du sol en magnésium.

Les oligo-éléments : La teneur des boues en oligo-éléments est relativement élevée. Certains métaux sont absolument nécessaires aux plantes comme le zinc, le cuivre et le manganèse. Ils peuvent s'avérer extrêmement utiles et constituent donc les éléments de valorisation supplémentaire de boue.

IV.2. Les éléments indésirables

IV.2.1. Les éléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques sont des constituants indésirables des boues résiduelles. Leur présence génère une inquiétude lorsqu'il est question d'épandre ces boues sur des sols destinés à produire des aliments pour l'homme et/ou les animaux.

Les boues concentrent entre 70 et 90% des quantités d'éléments traces métalliques des eaux usées entrantes dans les stations d'épurations. L'essentiel de ces éléments vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, détergents, peinture...).

Les épandages des boues industrielles apportent des quantités non négligeables d'éléments traces métalliques aux sols. Bien que, certains sont des oligo-éléments (zinc, cuivre, fer), indispensables à faibles doses, comme le cadmium, le plomb, et le mercure sont toxiques même à faibles doses.

IV.2.2. Les composés traces organiques

Dans les boues, une multitude de polluants organiques (hydrocarbures polycycliques, polychlorobiphényles, phthalates ect.) peuvent se trouver en faible concentration (de l'ordre de $\mu\text{g}/\text{kg}$ de ms).

Ces composés traces organiques se dégradent dans le sol à des vitesses variables et n'ont pas un effet cumulatif. Néanmoins, au même titre que les éléments traces métalliques, les composés traces organiques peuvent à fortes doses, devenir toxiques pour les micro-organismes responsables de la fertilité des sols.

IV.2.3. Les micro-organismes pathogènes

Les boues résiduelles contiennent des milliards de micro-organismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans le processus d'épuration ; seule une infime partie est

pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes) et elles proviennent en majorité des excréments humains ou animaux.

Pour la majorité des pathogènes, la durée de vie est limitée dans le sol. En revanche, les éléments parasitaires présentent une résistance plus élevée dans ces milieux. Pour cela, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture.

IV.3. Le prétraitement de l'eau usée

Les boues doivent subir différents traitements avant leur rejet, ces traitements ont trois objectifs majeurs : la réduction du pouvoir fermentescible, la réduction de la masse des boues et la réduction des risques sanitaires.

La figure 2 représente une ligne de traitement des boues, la filière de traitement des boues comprend quatre étapes principales :

- L'épaississement
- La stabilisation
- Le conditionnement
- La déshydratation

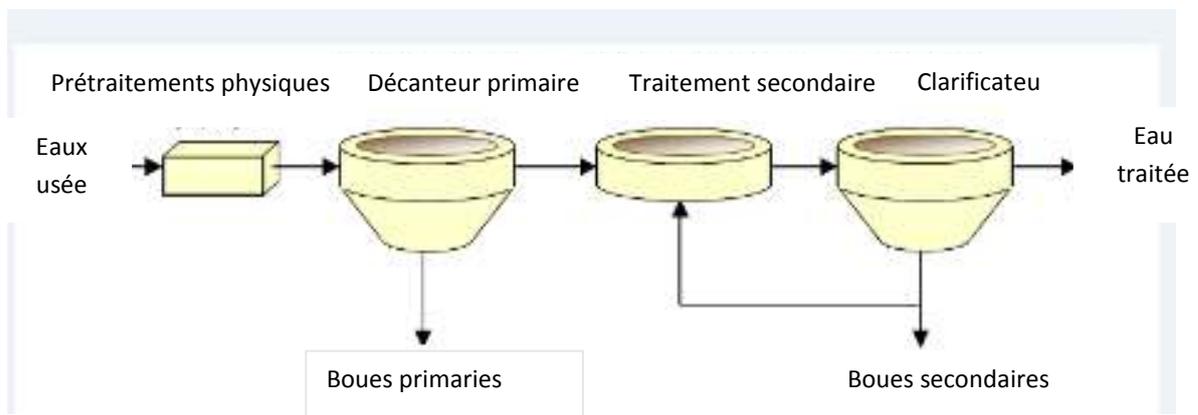


Figure 02 : Schéma du principe d'une filière de traitement des boues

V. Les différents types des boues

Selon l'origine, on pourra distinguer les types de boues suivantes :

V.1. Les boues industrielles

C'est l'ensemble de déchets liquides, pâteux ou solides sortant du site de production. (SALHI, S 2003).

V.2. Les boues primaires

Obtenues par simple décantation d'un résidu insoluble, ces boues correspondent à la pollution particulaire directement décantable, elles sont produites par ; les industries de la cellulose, les industries de traitement des métaux, des minerais, les industries agroalimentaires générant des déchets fibreux. (ADEME, 1999).

V.3. Les boues biologiques ou secondaires

Sont issues d'un bassin aéré ou d'une cuve anaérobie ; des industries chimiques et pharmaceutiques, agroalimentaires (laiteries, boissons...), textiles et plus généralement de toute industrie rejetant de la pollution organique biodégradable. Elles sont essentiellement constituées de bactéries et sont très organiques et peu concentrées. (MURILLO, M 2004).

V.4. Les boues physico-chimiques

Sont générées par l'ajout d'un réactif injecté soit en tête de traitement, soit en traitement de finition, en tertiaire, on retrouve souvent dans ces boues des hydroxydes, voire d'autres métaux dans le cas des industries de traitement de surface. Ces boues peuvent donc présenter certaines similitudes avec des boues d'eau potable. (ADEME, 2001).

V.5. Les boues mixtes

C'est le mélange des boues biologiques et des boues primaires ; elles existent au niveau des STEP (dotées d'une filière de traitement complète).

V.6. Les boues d'aération prolongée

Ces boues existent au niveau des STEP sans décantation primaire ; elles sont moins organiques et donc produisent moins de nuisances ultérieures.

VI. L'utilisation des boues

Les boues d'épuration ont des propriétés agronomiques utiles dans le domaine de l'agriculture.

VI.1. L'application des boues sur le sol

Selon le traitement appliqué aux boues, on trouve à la sortie de la station d'épuration des boues liquide, pâteuse, pelletables ou en poudre, elle présente aussi une stabilité plus ou moins grande selon qu'elles ont été stabilisées ou non. (MOREL, J.L, 1977).

VI.1.1. Le transport

Le premier problème à résoudre est de les amener sur le lieu de leur utilisation, on dispose selon les cas de plusieurs moyens :

- ❖ Camions citernes
- ❖ Camions ordinaires pour les boues solides
- ❖ Transports hydrauliques

Le choix du mode de transport dépend non seulement de la nature des boues mais aussi de la Quantité à transporter et du cout unitaire du transport. (GAMRASNI, M A, 1979).

VI.1.2. Le mode d'épandage

Les techniques agricoles classiques permettent avec un minimum de mise au point l'épandage des boues. (WHITE, R.K, HAMDY, M, 1972).

S'il s'agit de boues liquides, un canon d'arrosage rotatif ou une tonne à lisier permettent de répartir assez régulièrement la boue sur le terrain.

Dans le cas de substances pelletables ou pulvérulente, on peut utiliser un système d'épandage à fumier ou une tonne à lisier enfouisseurs, ce qui permet l'application en surface ou en profondeur (20 cm environ) des boues. (SMITH, J.L, HOUCK, C.P, 1976.).

L'irrigation par aspersion souvent utilisée, présente deux inconvénients pour l'épandage des boues: d'une part, les risques d'obstruction des orifices de petite taille par les matières solides et, d'autre part la création d'aérosols porteurs de germes pouvant être dangereux pour les agriculteurs et pour les consommateurs.(HIDLEBAUGB, A.R, 1973).

Quel que soit le mode d'application, on préconise toujours un retournement préalable du sol pour faciliter le mélange boue-terre.

VII. Impact des boues sur l'environnement

Le fait d'apporter des boues dont la qualité chimique et organique est différente de celle du milieu récepteur va entraîner des modifications de ce milieu.(Jocteur Monrozier, 2001).

VII.1. les propriétés biologiques du sol

Par l'apport de matière organique, l'application des boues peut également avoir un effet indirect sur le compartiment biologique en stimulant les populations microbiennes et d'invertébrés dont le rôle dans le fonctionnement du sol est primordial. De nombreuses études ont, en effet, montrées que l'application de boues a, en général, un effet bénéfique

sur la biomasse microbienne et sur son activité dans le sol (**Mitchell et al., 1978; Robert, 1996; Banerjee et al., 1997; Stamatiadis et al., 1999; Kunito et al., 2001**).

Mais, d'autres résultats ont montré que parallèlement à cette augmentation de biomasse, on observait des changements dans la structure de la communauté qui se traduisaient par une diminution de la diversité spécifique et fonctionnelle. (**Banerjee et al., 1997**).

Ces résultats sont d'autant plus prononcés que les boues sont contaminées avec une quantité importante de métaux lourds. (**Khan et Scullion, 2002**).

D'une manière générale, l'apport de nutriments qui accompagne l'application des boues d'épuration favorise les invertébrés et l'abondance des collemboles. (**Andrès, 1999; Bruce et al., 1999; Cole et al., 2001**), des carabidae, des vers de terre (**Stevenson et al., 1984; Tomlin et al., 1993**), des nématodes du sol et des acariens (**Koehler, 1999**).

Conclusion

Cette étude bibliographique révèle que les boues résiduaires contiennent des quantités non négligeables en certains éléments minéraux très utiles pour l'amélioration de la fertilité des sols. Il s'agit surtout de la matière organique, de l'azote total et certains cations tels que le Ca ; ces caractéristiques peuvent donner aux boues résiduaires une valeur agronomique très intéressante permettant ainsi de les recycler et les valoriser en agriculture. Cependant, pour garantir la durabilité et la bonne gestion de cette valorisation, il est nécessaire d'acquérir des connaissances scientifiques indispensables à l'évaluation des risques écotoxicologiques et sanitaires associés à la présence de contaminants potentiellement bioactifs dans ces boues tels que les métaux lourds, les polluants organiques, les agents pathogènes, etc...

Introduction

Le sol, couche superficielle de l'écorce terrestre, remplit de nombreuses fonction (de biodiversité, support de végétation, stockage de carbone, filtre, stockage d'eau) essentielles à l'Homme et à son environnement. Bien qu'étant une ressource non renouvelable du globe terrestre, le sol est soumis à de nombreux stress anthropiques qui dégradent ses propriétés et peuvent aboutir à des pertes de fonctions indispensables. La formation de nouveaux sols ou les phénomènes de résilience dans des écosystèmes dégradés dépendent du fait que oui ou non et à quelle vitesse, des sols peuvent retrouver un fonctionnement efficace. La pédogenèse est en effet très souvent décrite comme étant lente par rapport aux cinétiques de dégradation. La prévention des dégradations et la remise en état des sols dégradés sont alors porteuses d'enjeux environnementaux et socio-économiques considérables. **(Benjamin PEY, 2010)**

I. Les principales phases du sol

I.1. La phase solide

Elle est constituée par des minéraux et des matières organiques en proportions variables, cette phase forme 80–90 % du volume total du sol.

On pourrait considérer que les organismes vivants du sol font partie de la phase solide puisqu'ils ne sont ni gazeux, ni liquides. **(CALVET, 2003)**.

I.2. La phase liquide

La phase liquide du sol n'est pas de l'eau pure, mais est une solution dont la composition est complexe et très variable; qui remplit partiellement ou totalement les espaces libres compris entre les particules solides. **(DUCHAUFOR, 2001)**.

I.3. La phase gazeuse

Elle est composée par des gaz tel que O₂, CO₂, N et contient également d'autres substances tels que: NO, N₂O, NH₃, CH₄, H₂S, et parfois des composés organiques volatiles. Cette phase occupe les espaces libres laissés entre les particules solides et qui ne sont pas remplie par la phase liquide. **(GURY, 1990)**.

II. L'activité biologique du sol

Le sol est un milieu vivant dans lequel se développe une multitude d'organismes variés appartenant aux règnes animal et végétal.

II.1. La faune du sol

La macrofaune est représentée par des rongeurs, des arthropodes, des mollusques et des annélides. Les plus utiles sont les vers de terre (Lombriciens), qui améliorent la structure du sol et sa porosité. Leur poids peut atteindre 4 tonnes par hectare.

La microfaune du sol a surtout un rôle d'enfouissement et de mélange de la matière organique avec le sol



Lombriques

Collembole

Figure 03 : Faune du sol (source : UNIFA Edition 2005)

Introduction

La mésafaune du sol est composée d'invertébrés dont la taille est comprise entre 0.2 et 4mm. Les collemboles et les acariens constituent l'essentiel de cette mésafaune avec d'autres insectes aptérygotes de moindre importance : les protozoaires, les diploures et les thysanoures. On range également dans la mésafaune les enchytréides (petits vers Oligochètes), les symphyles (Myriapodes) et les plus petits insectes et leurs larves. **(Bachelier, 1978).**

Les arthropodes appartenant à la mésafaune sont nommés microarthropodes. Les acariens et les collemboles représentent habituellement 95 % des microarthropodes du sol. **(Seastedt, 1984).**

I. Description des Collemboles

Les collemboles (Collembola) sont de petits invertébrés, souvent sauteurs, anciennement classés parmi les insectes, puis dans les aptérygotes. Ils forment aujourd'hui une classe soit le sous-embanchement des hexapodes, soit dans les Pancrustacea. Connus comme étant les plus anciens des hexapodes fossilisés, ils étaient déjà présents au Dévonien, il y a environ 400 Ma, donc bien avant les insectes.

Ils ont longtemps été considérés comme des insectes primitifs mais ils sont aptères et amétaboles (c'est-à-dire dépourvus d'ailes et ne passant pas par une phase larvaire). On tend à les rapprocher aujourd'hui des crustacés : beaucoup d'espèces ressemblent à de petites crevettes et certains crustacés (talitres par exemple) sont également "sauteurs".

II. Caractéristiques morphologiques

- Couleur parfois vive, mais plus souvent gris foncé, bleuté, blanchâtre ou jaunâtre.
- Petite taille (2 à 3 mm en moyenne, exceptionnellement de 0,25 à 9 mm chez certaines espèces).
- Absence d'yeux composés (mais jusqu'à huit yeux simples ou ocelles).
- Une paire d'antennes segmentées (4 à 6 articles).
- Pièces buccales cachées dans la capsule céphalique, non visibles extérieurement (entognathes) de type broyeur, suceur ou suceur-piqueur.
- Corps protégé par une fine cuticule, allongé (arthropoléone) ou globuleux (symphypléones et neelipléones).
- Trois segments thoraciques et 6 segments abdominaux au maximum, parfois soudés entre eux

- Abdomen (segmenté ou non) toujours caractérisé par deux organes propres aux collemboles :
- Un appendice abdominal sauteur, la furcula, ou furca (fourche), repliée sous l'abdomen et tendue comme un ressort, maintenue par un organe ventral à deux branches appelé tenaculum (rétinacle), qui peut brutalement libérer le ressort en propulsant l'animal vers l'avant (réflexe de fuite).

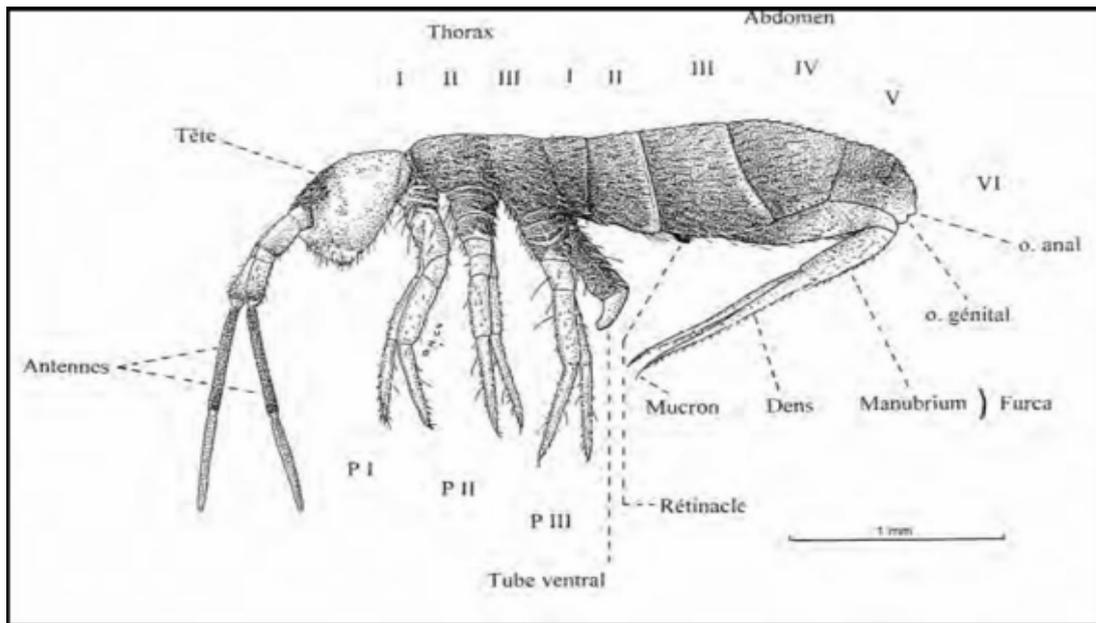


Figure 04 : Morphologie générale d'un collembole arthropoléone, (Thibaud & Mari Mutt, 1988.)

- Un organe ventral dit collophore ou tube ventral, en forme de petit tube situé sous le premier segment abdominal. Chez certaines espèces (symphypléones) ce tube peut se dévagner et avoir une longueur considérable. Il permet la régulation du milieu intérieur, notamment sa pression osmotique (l'animal boit par son tube ventral), et autorise les échanges gazeux grâce à sa paroi extrêmement fine, participant ainsi à la respiration cuticulaire. Le tube ventral est en relation avec une gouttière ventrale, qui le relie au labium, où débouchent des néphridies, permettant ainsi à l'animal de filtrer et de récupérer en partie son urine.
- De nombreuses soies et sensilles sur tout le corps, dont le rôle est encore imparfaitement connu.
- Certaines espèces (entomobryens) ont le corps couvert d'écailles ou de grandes soies plumeuses, qui assurent une protection vis-à-vis du dessèchement, les Collemboles étant

d'une manière générale particulièrement sensibles à la sécheresse en raison de leur respiration tégumentaire.

- Certaines espèces (Sminthuridae) possèdent un système de trachées rudimentaire, autorisant un épaississement de la cuticule et donc une meilleure tolérance vis-à-vis de la sécheresse. (Coleman et al., 2004).

III. Régime alimentaire

Les collemboles ont un régime alimentaire très varié. La plupart sont des décomposeurs se nourrissant de matières organiques, d'hyphes, de spores de champignons, de fragments minéraux, d'algues filamenteuses, de pollens etc... Ils peuvent être aussi saprophages (se nourrir de plantes en décomposition), coprophages (excréments), nécrophages (cadavres), ou bactériophages (bactéries). Ils favorisent ainsi la porosité du sol par un meilleur drainage et une meilleure action des microorganismes et enzymes du sol par l'accroissement de la surface d'attaque et une migration des substances organo-minérales plus active. (Hopkin, 2002).

IV. Habitat

Les collemboles peuplent les sols, mais également les rochers, troncs d'arbres et autres milieux en contact plus ou moins direct avec le sol, ainsi que les milieux humides tels que mares et tourbières. Il existe même une espèce marine vivant dans la zone intertidale, *Anurida maritima*.

Dans chaque type d'habitat on trouve un grand nombre d'espèces qui cohabitent, mais la composition spécifique varie en fonction de la profondeur (espèces épigées ou épiédaphiques, hémiedaphiques, endogées ou euédaphiques), de l'usage du sol et du type de végétation (forêts, landes, prairies, cultures), de l'humidité et de la lumière. Les Collemboles sont grégaires et sont attirés par des substances excrétées par leurs congénères (phéromones). Certaines espèces (Hypogastruridae) peuvent pulluler et se déplacer en groupes compacts à la surface du sol ou sur une couverture neigeuse, où ils s'orientent grâce à la position du soleil.

Les capacités de dispersion de ces animaux varient fortement d'une espèce à l'autre et les modifications trop rapides des paysages peuvent avoir des conséquences néfastes sur les communautés en défavorisant les espèces les plus spécialisées et les moins mobiles. Les communautés de collemboles sont sensibles au niveau d'acidité du sol (communément exprimé par le pH) et leur composition spécifique n'est pas la même selon que les sols sont acides ou non, avec un seuil à pH 5 environ. D'après les quelques études sur la phylogénie

des collemboles dont on dispose, il semble que les espèces les plus proches de l'origine des lignées évolutives soient plus tolérantes vis-à-vis de l'acidité du sol. Étant donnée l'ancienneté de ces animaux, déjà très diversifiés au Dévonien, il est possible que certaines espèces aient conservé des caractères ancestraux, hérités des conditions de vie ayant prévalu dans les milieux terrestres avant le Carbonifère. (Hopkin, 2002).

V. Rôle des collemboles

Les collemboles contribuent positivement à la qualité des sols. Ils ne peuvent pas être comparés aux animaux fouisseurs du sol, cependant certains d'entre eux (notamment Onychiuridae) contribuent à la création de microporosité dans le sol. Ils jouent également un rôle important dans la diffusion des propagules dans les différents horizons du sol et spécialement vers les lieux de décomposition de la matière organique. Ils contribuent également au mécanisme de reproduction des mousses par transport des spores.



Figure 05 : Onychiuridae (*protaphorura armata*). **Source :**WikimediaCommons/

Echelle:602x480(203KB)

Les collemboles sont de bons indicateurs de la qualité des sols, tout comme les vers de terres ou encore les acariens. En effet, leur nombre dépend du taux de matière organique, de la disponibilité en eau (sensible à la dessiccation) et de la pollution des sols. Ils sont alors utilisés pour évaluer l'écotoxicologie des sols (tests de survie et d'évitement), la nocivité des substances chimiques des sols ou encore pour analyser les effets des changements de pratiques agricoles.

Ils servent d'hôtes à de nombreux parasites tels que des bactéries, nématodes, champignons... Ainsi, le niveau de parasites par collembole traduit le niveau de pollution des sols.

a. Collemboles phytophages

Quelques rares espèces de collemboles sont ravageurs. Il est alors possible de citer *Sminthurus viridis* qui peut réduire les rendements de trèfles de 50 %.



Figure 06 : Ravageur du trèfle : *Sminthurus viridis*.

Source : bobgaia (17190)07/02/2003/**Echelle :** 861x688(188KB)

b. Collemboles utiles

Certaines espèces consomment des champignons phytopathogènes : *Sinella curviseta* (Entomobryidae) consomme *Fusarium oxysporum f.sp. radicum cucumerinum* qui lui, est un ravageur du concombre.

Des expériences ont montré que les collemboles consomment *Rhizoctonia solani*, pathogène racinaires des cotonniers. Ceci est donc bénéfique pour la culture de coton.



Figure 07 : Auxiliaire des cultures : *Sinella curviseta*. **Source:** Steve Nanz on

2008/Echelle : (193x155)

* Les phytopathogènes sont des organismes (bactéries, virus, mycètes) susceptibles d'infecter les végétaux et d'y déclencher des maladies.

VI. Rôle écologique

Ils contribuent à la dissémination et à la régulation de la microflore du sol (bactéries, champignons) et jouent un rôle majeur dans la circulation des nutriments (azote, phosphore, potassium, etc...), assurant ainsi la mise à disposition d'éléments essentiels pour la nutrition des végétaux. En l'absence de ces animaux, un grand nombre d'éléments resteraient immobilisés au sein de la biomasse microbienne. Lorsque les feuilles et aiguilles mortes tombent au sol, elles sont rapidement colonisées par des champignons microscopiques, dont les spores sont véhiculées par les collemboles vivant dans la litière. Par la suite, le mycélium de ces champignons pénètre les feuilles et contribue à leur décomposition. Les hyphes de champignons se développant à l'extérieur des feuilles sont broutés, les collemboles empêchant ainsi le développement excessif de certaines espèces, en particulier les champignons pathogènes responsables de la fonte des semis. (Hopkin, 2002).

VII. Données actuelles sur les Collemboles d'Algérie

VII.1. Liste des Collemboles nouvellement signalés en Algérie et en Afrique du nord

La connaissance de la diversité biologique des Collemboles a fait de grands progrès grâce au travail de Hamra-Kroua (2005). L'auteur offre la première étude taxonomique d'envergure au niveau de l'espèce qui révèle la présence de 113 espèces. L'inventaire du pays est enrichi par un apport de 56 espèces nouvelles, dont 49 sont signalées pour la première fois en Afrique du nord. Le caractère le plus inattendu de cette faune est la diversité spécifique des Neanuridae rencontrés au massif de l'Edough avec 19 espèce contre seulement 10 pour le reste du pays. Le même auteur trouve une étonnante diversité du genre *Friesea* avec 8 espèces dont 3 sont nouvelles pour la science: *Friesea laouina* (Deharveng et Hamra-Kroua, 2004), *Friesea major*, *Friesea algerica*, et une nouvelle espèce pour la science appartenant à la sous-famille des Neanurinae : *Deutonura zana* (Deharveng, Hamra-Kroua et Jordana 2004).

* **Ordre des Popduromorpha** : Les espèces nouvelles appartiennent à 5 familles

- *Hypogastruridae*: 7 genres et 11 espèces
- *Odontellidae*: 2 genres et 4 espèces
- *Brachystomellidae*: 1 genre et 2 espèces
- *Neanuridae* : 8 genres et 20 espèces
- *Onychiuridae*: 4 genres et 8 espèces

* **Ordre des Entomobryomorpha** : Les espèces nouvelles appartiennent à 3 familles

-*Isotomidae* : 7 genres et 14 espèces

-*Entomobryidae* : 7 genres et 14 espèces

- *Cyphoderidae*: 1 espèce

* **Ordre des Symphypleona** : les espèces nouvellement signalées appartiennent à 4 familles.

- *Arrhopalitidae*: 1 espèce

- *Dicyrtomidae*: 1 espèce

- *Katiannidae*: 1 genre et 2 espèces

- *Sminthurididae*: 1 espèce

- *Sminthuridae*: 2 genres et 2 espèces

* **Ordre des Neelipleona**: une espèce nouvelle appartient à la famille Neelidae.

Tableau 01 : Liste d'espèces nouvellement signalées en Algérie

Ordres	Familles	Espèces
I. Poduromorpha	Hypogastruridae	<i>Ceratophysella gibbosa</i>
		<i>Hypogastrura affinis</i>
		<i>Hypogastrura vernalis</i>
		<i>Mucrella acuminata</i>
		<i>Xenylla brevisimilis mediterranea</i>
		<i>Xenyllogastrura afurcata</i>
		<i>Willemia intermedia</i>
		<i>Microgastrura minutissima</i>
		<i>Axenyllodes bayeri</i>
		<i>Xenyllodes armatus</i>
		<i>Superodontella vallvidrerensis subalpina</i>
		<i>Superodontella vallvidrerensis vallvidrerensis</i>
	Brachystomellidae	<i>Brachystomella curvula</i>
	Neanuridae	<i>Friesea albida</i>
		<i>Friesea ladeiroi</i>
		<i>Friesea laouina n.sp.</i>
		<i>Bilobella braunerae</i>
		<i>Deutonura zana n.sp.</i>
		<i>Pratanurida boernerii</i>
		<i>Micranurida pygmaea</i>

	Onychiuridae	<i>Mesaphorura critica</i>
		<i>Mesaphorura italica</i>
		<i>Mesaphorura macrochaeta</i>
		<i>Mesaphorura pacifica</i>
		<i>Doutnacia xerophila</i>
II. Entomobryomorpha	Isotomidae	<i>Folsomia candida</i>
		<i>Folsomia trisetata</i>
		<i>Folsomia fimetaria</i>
		<i>Folsomides parvulus</i>
		<i>Isotomurus maculatus</i>
		<i>Parisotoma notabilis</i>
		<i>Tetracanthella pilosa</i>
	Entomobryidae	<i>Entomobrya albocincta</i>
		<i>Entomobrya lanuginosa</i>
		<i>Lepidocyrtus fimetarius</i>
<i>Pseudosinella alba</i>		
<i>Pseudosinella albida</i>		
III. Symphypleona	Dicyrtomidae	<i>Dicyrtomina saundersi</i>
	Arrhopalitidae	<i>Arrhopalites subbifidus</i>
	Katiannidae	<i>Sminthurinus aureus</i>
		<i>Sminthurinus elegans</i>
	Sminthuridae	<i>Caprainea bremondi</i>
IV. Neelipleona	Neelidae	<i>Neelus murinus</i>

(Hamra-Kroua, 2005)

II. Géologie et géomorphologie

II.1. La géologie

II.1.1. Géologie régionale

D'après **YAKOUB (1996)**, la lithologie de la région est dominée par des formations géologiques imperméables, On relève une large répartition du socle cristallophyllien essentiellement constitué de marne, de calcaire et de flysch. On distingue quatre unités géographiques :

a. Chaîne littorale

C'est un vaste synclinal parallèle à la mer, elle est constituée de terrains oligomiocènes. Les éléments constituant ces terrains sont essentiellement des flyschs et des grès numidiens rapportés au crétacé (mésozoïque).

b. Socle métamorphique

Les terrains sont cristallophylliens de nature magmatique (granite, pegmatite) et métamorphique (micaschistes, quartzites) d'âge paléozoïque.

c. Chaîne de Djurdjura

Elle représente un relief important dominant toute la Kabylie, de nature calcaire reposant sur des terrains d'âge primaire. Elle recoupe la chaîne littorale du massif de tamgout.

d. Dépôts alluvionnaire

Ce sont des formations alluvionnaires du quaternaire. Ils sont caractérisés par six niveaux de terrasses sous forme emboîtées ou étagées.

II.1.2. Géologie locale

La Kabylie se divise elle-même en 3 ensembles géologiques :

a. La chaîne côtière

Cette chaîne forme un vaste synclinal parallèle à la mer que l'on peut suivre de le Mitidja jusqu'à Akfadou. Elle est surtout constituée de terrains oligo-miocène. (**MURAOUR, 1936**), (**in Akli Mesrouk, 1984**)

-Le Priabonien (oligocène inférieur) est formé exclusivement de marnes argilo-schisteuses de teintes variées (grises, brunes ou légèrement verdâtres), mais le plus souvent de couleur sombre. Il forme de vastes affleurements sur la route allant de Tizi-Ouzou-Dellys. Ces roches donnent l'aspect mou et mamelonné des terrains de la région.

-Le Dellysien (oligocène supérieur) se présente sous deux aspects différents. Les terrains présentent un aspect de flysch et sont constitués par des marnes schisteuses qui altèrent régulièrement avec des grés. Cette intercalation de roches tendres et dures donne le relief en escalier de toute la région du parallèle passant par Tadmait. En effet, les grés forment les reliefs et affleurent en corniches et les marnes plus tendres occupent les dépressions. Localement, les bancs de grés sont beaucoup plus épais que ceux des marnes ; ils constituent alors les monticules.

-Le cartennien (Miocène inférieur) est constitué par deux assises ; à la base le conglomérat et les grés, au-dessus les marnes dures à cassure conchoïdale. Ces marnes, de couleur gris bleuâtre, forment tout le flanc de la vallée de toutes ces collines arrondies dénudées dont la physionomie tranche nettement sur celle des contreforts boisés du massif Kabyle.

b. Le massif central métamorphique

Les terrains cristallophylliens d'âge primaire, qui occupent le massif central, sont constitués d'une série métamorphique allant des phyllades, des schistes satinés et des micaschistes recouvrant des gneiss jusqu'aux pegmatites d'âge primaire. Des taches de cipolin (calcaire métamorphique) sont aussi représentées. Cette série peut se voir tout au long de la route Larbâa Nath Iraten-Ain El Hammam. Les phyllades et les schistes fossilifères occupent une faible étendue au niveau de l'oued Stita, et ont partiellement échappé au métamorphisme.

Les micaschistes supérieurs sont dominés par le faciès de schistes satinés que l'on rencontre au niveau de la région d'Ain El Hammam.

Les micaschistes inférieurs sont dominés par le faciès de schiste à deux micas qui affleurent dans la cluse du Sébaou.

Les embréschistes montrent principalement des faciès de gneiss oeuillets à muscovite dans la région d'Ain El Hammam et de gneiss oeuillets à biotite dans la région de Larbaa Nath Iraten.

Le massif de granite intrusif d'Ali Bou Nab recoupe des gneiss, celui de Tenia recoupe des schistes.

Les gneiss oeuillets passent au niveau d'Ait Frah et de Bellias aux pegmatites non schisteuses. **(Ait Ouazzou Djazira., 2014)**

C. Les dépôts alluvionnaires du Quaternaire

Les dépôts alluvionnaire du quaternaire reposent sur un substratum tertiaire de marnes éocènes. Cette dépression, qui fera aussi l'objet d'investigation pédologique, s'étend d'Est en Ouest entre Fréha et Tademaït et du Nord au Sud entre la chaîne côtière et le massif central Kabyle. Elle forme la plaine alluviale de l'Ouest Sébaou qui sera décrite plus en détail dans le chapitre « Géomorphologie ». (**Ait Ouazzou Djazira., 2014**)

II.2. La géomorphologie

Parallèlement à la géologie, les principales formes de relief sont : les massifs montagneux (Djebels), les zones de collines et enfin les plaines alluviales avec leurs terrasses.

Les Djebels :

Les Djebels s'étendent de la côte jusqu'au Djurdjura et sont découpés par des vallées profondes. On distingue du nord au sud les unités suivantes :

- La chaîne côtière qui se rattache au massif kabyle par sa partie orientale constituée par le massif de Yakouren et d'Akfadou.

au Nord, les Djebels plongent vers la mer et sont souvent coupés par des falaises. Les matériaux constituant ces monts sont surtout grés-marneux. Par suite de l'intercalation dans l'espace de ces deux types de roches fondamentalement différentes, le paysage qui s'y dessine est en escalier. En effet, les marnes plus tendres occupent les replats de versants et les dépressions, les grés plus durs forment les reliefs et affleurent en corniches. Bien que l'on remarque une grande dénivellation entre les lignes de crêtes et les vallées d'Oueds, il n'existe cependant pas beaucoup d'escarpements. La pente est toujours rompue par cette intercalation de bandes gréseuses et marneuses. L'érosion accélérée. Le mode d'exploitation n'est plus intégré dans l'équilibre bio-pédologique naturel, ce qui a provoqué une rapide destruction des paysages verdoyants de l'Algérie du Nord. (**Ait Ouazzou Djazira., 2014**)

III. Etude climatique

La région de Tizi-Ouzou est dominée par un climat de type méditerranéen, qui se caractérise par un climat à deux saisons bien contrastée : un hiver humide et froid et un été sec et chaud. Le climat méditerranéen est un climat de transition entre la zone tempérée et la zone tropicale avec un été très chaud et très sec. Tempérée seulement en bordure de la mer, l'hiver est très frais et plus humide. Ce climat est qualifié de xérothermique (Benabadji et Bouzar, 2000), le climat de la wilaya de Tizi-Ouzou, caractérisé par des étés chauds et secs, des hivers humides et assez froid.

III.1. Les températures

Pour évaluer le facteur température, nous utiliserons les relevés des températures observées à la station météorologique de Tizi-Ouzou, sur la période de 10 ans (2003-2013). Les moyennes des températures montrent que le maximum est enregistré au mois d'aout (29°C) et le minimum au mois de janvier (10,9°C).

Tableau 02 : Températures moyennes mensuelles pour la période (2003-2013) dans la région de Tizi-Ouzou

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T moy min (°c)	6,5	6,8	8,7	11,3	14,1	18,3	21,6	21,9	18,4	15,8	11,1	7,8
T moy max (°c)	15,4	15,7	19,3	21,8	26,0	30,1	35,9	36,2	31,1	27,4	20,5	16,9
T moy (°c)	10,9	11,2	14	16,5	20,0	24,2	28,7	29,0	24,7	21,6	15,8	12,3

(Source : ONM de Tizi-Ouzou)

III.2. La pluviométrie

Selon le tableau d'analyse des précipitations, le mois le plus pluvieux est novembre avec 120 mm, et le plus sec est juillet avec 2,9mm.

Tableau 03: Pluviométrie moyenne mensuelle pour la période (2003-2013 dans la région de Tizi-Ouzou)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P (mm)	116,7	101,8	99,4	102,9	71,5	12,1	2,9	6,4	39,5	74,7	120,0	117,4

(Source : ONM de Tizi-Ouzou)

II.3. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de **BAGNOULS** et **GAUSSEN (1953)** sert particulièrement à déterminer la période de sécheresse et sa durée dans la région donnée, ainsi que la période humide à partir des données moyennes mensuelles pluviométriques et thermiques. **BAGNOULS** et **GAUSSEN (1953)**, ont défini la saison comme étant une période où les précipitations (P) en millimètre sont inférieures ou égale au double des températures moyennes (T moy) exprimée en degré Celsius ($P \leq 2T$).

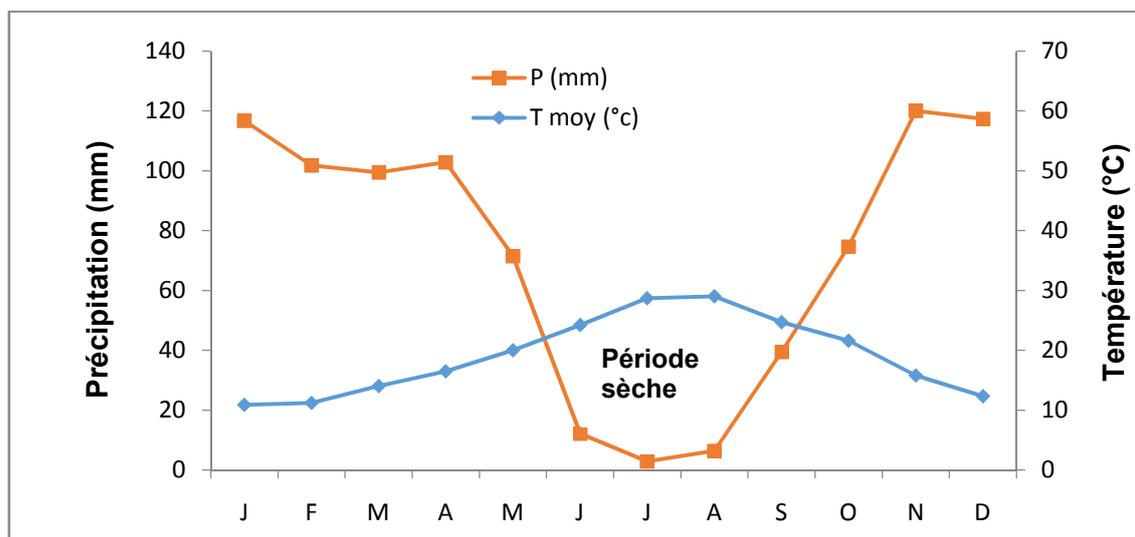


Figure 08 : Diagramme ombrothermique de **BAGNOULS** et **GAUSSEN** pour la période (2003-2013)

Le diagramme ombrothermique pour la période 2003-2013 fait ressortir une période sèche qui s'étale de mi-mai à la mi-septembre et une période humide qui s'étale de mi-septembre à mi-mai. Le climat de Tizi-Ouzou est caractérisé par une pluviométrie suffisante notamment en automne et en hiver, soit plus de 700mm et qui augmente avec l'altitude. Aussi ce climat caractérisé par une période sèche qui coïncide avec la période de récolte.

III.4. Quotient pluviométrique et climatique d'Emberger

Afin de classer le climat méditerranéen en fonction de la sécheresse globale et le froid hivernal, EMBERGER propose le quotient pluviométrique prenant en considération les paramètres ci-dessous :

P : Précipitation annuelles en mm

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en degré Kelvin

m : moyenne des minima du mois le plus froid en degré Kelvin

$$T^{\circ}K = T^{\circ}C + 273,2$$

La formule utilisée pour le calcul est la suivante :

$$Q_2 = 200 * P / M^2 - m^2$$

Pour notre région d'étude, ce quotient est calculé à base des fournes par la station météorologique de Tizi-Ouzou durant la période 2001-2013

$$Q_2 = 106$$

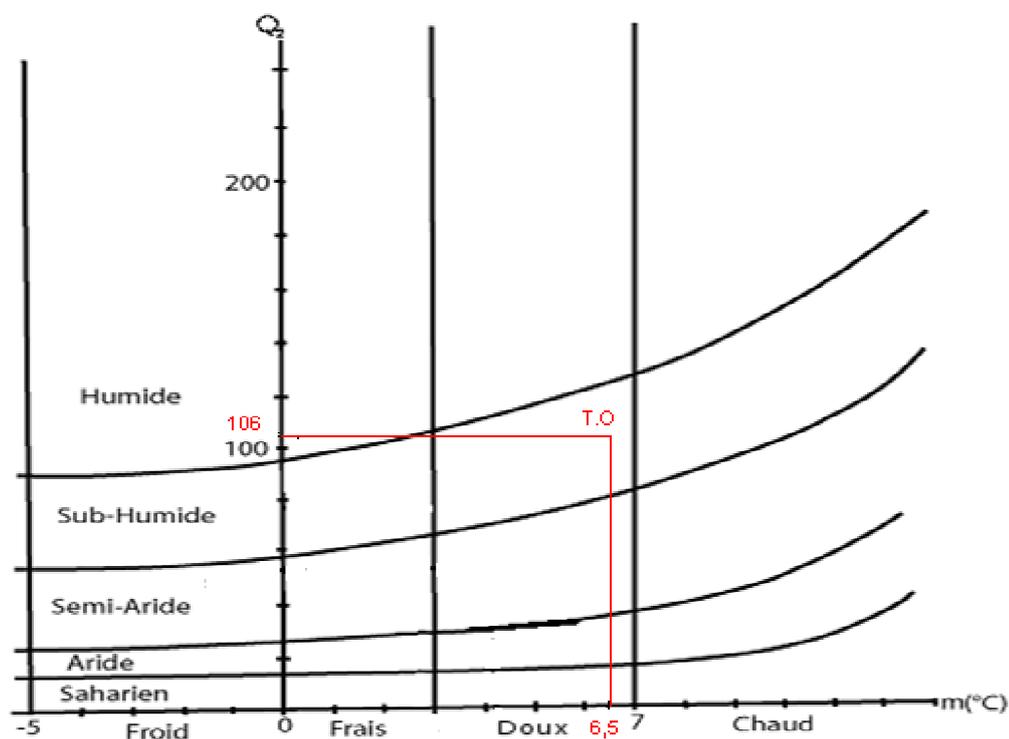


Figure 09 : Le climagramme d'EMBERGER de la wilaya de Tizi-Ouzou pour la période 2001-2013

L'intersection de ces deux paramètres Q_2 et m sur le climagramme d'EMBERGER, va nous permettre de situer l'étage bioclimatique et la rigueur de l'hiver de notre région d'étude. La projection des valeurs de ces deux paramètres sur le climagramme d'EMBERGER, montre que la zone d'étude se trouve dans l'étage bioclimatique Sub-Humide à hiver doux.

Conclusion

Les sols de la vallée du Sébaou constituent le véritable potentiel foncier agricole de la wilaya de Tizi-Ouzou. Deux classes de sols apparaissent comme étant dominantes, il s'agit des sols d'apport alluvial et des vertisols. Du point de vue textural, les trois principaux types sont représentés auxquelles s'associe une charge pierreuse assez importante. Il est à noter que du point de vue de la teneur en matière organique, les sols de la région sont faiblement pourvus d'où la nécessité de préconiser à chaque campagne un apport organique au sol.

L'étude climatique, montre que les précipitations annuelles varient en deux saisons bien distinctes, une saison sèche et chaude et une autre humide et froide. Le déficit hydrique et l'augmentation des températures apparaissent sur le long de la saison sèche et chaude, par contre la saison humide et froide, on remarque une présence des précipitations importante et une diminution remarquable des températures. Selon le climagramme d'EMBERGER nous trouvant que Tizi-Ouzou est sous l'influence d'un climat méditerranéen subhumide à variante tempéré.

Matériels et méthodes

L'étude des sols était faite par une opération successive effectuée sur le terrain et au laboratoire. Sur le terrain, se sont les prélèvements des échantillons. Au laboratoire, les échantillons ont été séchés puis soumis aux principales analyses physico-chimiques. Ces analyses ont été effectuées simultanément au laboratoire de pédologie de l'université de Blida-1.

I. Sur le terrain

I.1. Choix du site

L'échantillonnage du sol a été effectué durant le mois de mars 2016 sur une parcelle dans la commune de la vallée de Sébaou. Plus exactement au niveau de Rehahlia à Oued Aissi (la willaya de Tizi-Ouzou).



Figure 10 : Localisation de parcelle échantillonnée via Google Earth 2016

I.2. Origine et caractérisation de la boue

La boue utilisée sur les parcelles agricoles étudiées provient de la station d'épuration des eaux de l'Est de Tizi-Ouzou, le choix est basé sur la composition chimique et les concentrations en ETM qui sont en dessous des limites fixées par AFNOR (Wali KH.2014, Ait Ouazou DJ., 2015)

Tableau 04: caractéristiques des boues utilisées (Station d'épuration de Tizi-Ouzou)

Caractéristiques	Quantités
Humidité (%)	12
pH	7,51
CE	4,43
CEC (Meq/100g)	74,40
CaO	45,20
Na ₂ O	14,00
K ₂ O	6,60
MgO	21,97
Zn (ppm)	78
Mn (ppm)	6,30
Cu (ppm)	2,83

I.3. Matériels utilisés

- Une tarière.
- Des sachets en plastique pour conserver les échantillons.
- Des étiquettes.

I.4. Prélèvement des échantillons

Au cour du prélèvement, les échantillons étaient mis dans des sachets en plastique avec étiquettes, chaque échantillon doit être clairement identifié par une référence.

Pour étudier les caractéristiques des sols de Rehahlia à Oued Aissi (la willaya de Tizi-Ouzou) nous avons prélevé 12 échantillons représentatifs aux profondeurs :

H1 : 0cm à 10cm

H2 : 10cm à 25cm

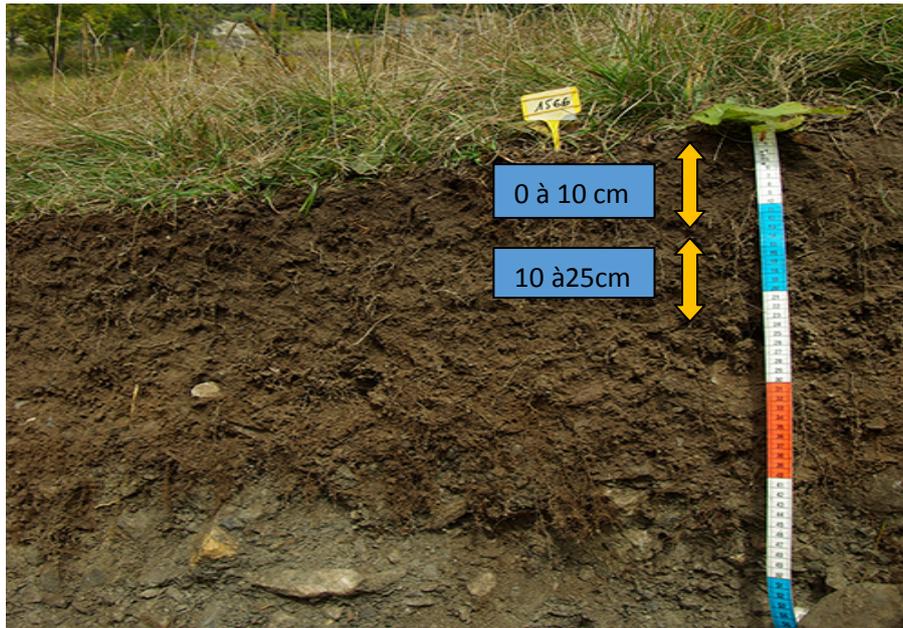


Figure 11 : Les niveaux des profondeurs des prélèvements

II. Au laboratoire

II.1. Préparation et analyse de sol

II.1.1. Préparation de sol

Les échantillons ont été prélevés et acheminés rapidement au laboratoire pour leurs effectuer 3 étapes d'analyse :

❖ Le séchage

L'opération consiste à étaler les échantillons en fragmentant les mottes à la main, sur des nt journaux et sont séchés à l'aire libre pendant cinq ou six jours

❖ Le broyage

Une fois les échantillons sont secs. Ils sont broyés



Figure 12 : Broyage des échantillons

❖ Le tamisage

Les échantillons sont passés par le tamis de 2mm, avant analyses physiques et chimique, ils sont par la suite conservés dans un endroit sec.



Figure 13 : Tamisage des échantillons

II.1.2. Analyse de sol

Les échantillons prélevés sont soumis à deux principaux groupes d'analyses : les analyses physiques et les analyses chimiques.

II.1.2.1. Les analyses physiques et chimiques

II.1.2.1.1. L'humidité

L'humidité est obtenue après séchage de l'échantillon à 105° C jusqu'à un poids constant dont il est rapporté à la masse de la boue.

II.1.2.1.2. Mesure du pH du sol

Le pH ou potentiel Hydrogène est une mesure de l'acidité du sol. C'est un paramètre qui mesure la concentration des protons H^+ , qui sont fixés sur le complexe argilo-humique.

La mesure est effectuée sur une suspension terre/solution soit dans le témoin soit dans des solutions normales de KCl par la méthode électro métrique au moyen d'un pH - mètre à lecture directe. Le pH est un mode d'expression de la concentration en ions hydrogène dans un apport terre fine/eau (1/2.5) ; il s'exprime selon une échelle de 0-14 il est de valeur faibles avec $pH < 6.5$ indiquant une acidité ; la valeur > 7.5 correspond à un pH basique, la valeur entre 6.5 et 7.5 indique un milieu neutre. Le pH peut s'exprimer avec la formule suivante : $pH = \log$



Figure 14: pH mètre

II.1.2.1.3. Mesure de la conductivité électrique CE

La salinité globale est ordinairement exprimée par la conductivité électrique ou conductance spécifique d'une solution entre deux électrodes de 1 cm^2 de surface, distance de 1cm. Il est bien connu que les solutions salines, à l'apposé des solutions pures, sont plus conductrices de courant électrique.

La conductivité électrique est mesurée par le conductimètre.



Figure 15: conductivimètre

II.1.2.1.4. Dosage de calcaire total

Le calcaire total est dosé par la méthode gazométrique. Cette méthode utilise le calcimètre de Bernard. L'échantillon est attaqué à l' HCl. On mesure le volume de CO₂ dégagé ; une Mole de CO₂ correspondant à une mole de CaCO₃.



Le calcaire total sera calculé par la formule suivante :

$$\text{Calcaire total(\%)} = \left(\frac{V_e \cdot 0.3}{V_t \cdot P} \right) \cdot 100$$

V_t : Volume de CO₂ produit par 0.3g de Ca CO₃ pur.

V_e : Volume de CO₂ produit par g de CaCO₃ contenu dans un poids P de sol.

P : poids de la prise de terre en gramme.



Figure 16: Le calcimètre de Bernard

II.2. Extraction de la faune

Dans la présente étude nous avons utilisé l'extraction par la méthode de Berlese-Tullgren. C'est une méthode sélective ou dynamique, par laquelle les Collemboles et autres sont récoltés sans l'intervention d'un opérateur. La technique consiste à modifier les conditions de vie par l'utilisation d'agents thermodynamiques : l'éclairage, l'élévation de la température et le dessèchement. Les animaux grâce à leur tactisme quittent l'échantillon pour être récoltés intacts dans l'alcool éthylique à 75°. Chaque échantillon est étalé sur un tamis et laisse sécher durant 8 à 10 jours, selon le degré d'humidité. Sous l'effet de la dessiccation lente de l'échantillon, les Collemboles fuient la surface et tombent dans un tube collecteur contenant de l'éthanol à 75°. (**Ben khelil**)

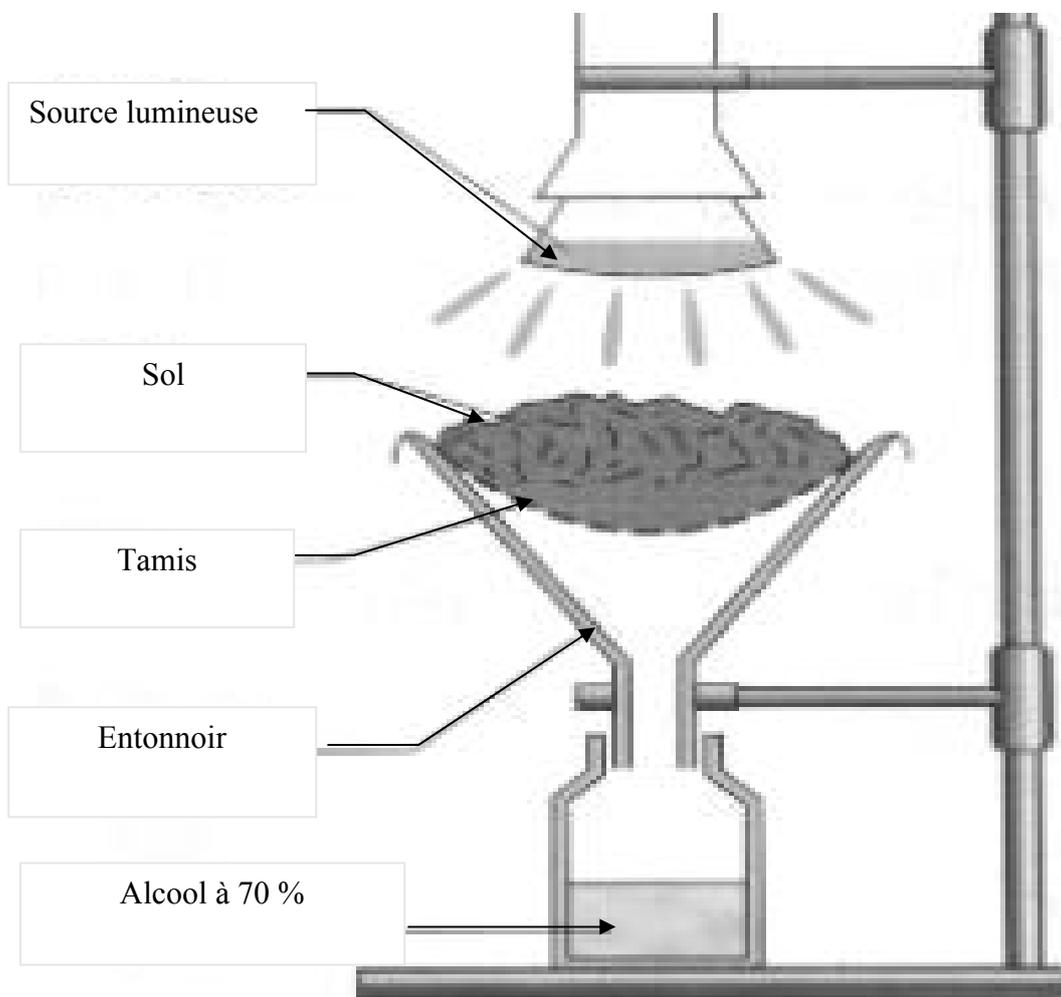


Figure 17 : Appareil de Berlese- Tullgren (**Ben khelil**)

II.3. Tri et dénombrement

Les Collemboles extraits d'un échantillon sont placés dans une boîte de Pétri pour entamer le tri. Le tri s'effectue sous la loupe binoculaire à grossissement suffisant pour pouvoir séparer les Collemboles des autres groupes tels que les Acariens, les Araignées, les Pseudoscorpions, les larves et adultes de petits insectes. Une fois tous les Collemboles sont séparés des autres Microarthropodes, on procède à un premier comptage sous loupe binoculaire. Le premier comptage permet de déterminer le nombre total d'individus de Collemboles présents dans un échantillon. Le deuxième comptage ne survient qu'après l'identification des Collemboles au niveau du genre ou de la famille. On manipule les Collemboles, pour le tri ou le dénombrement avec la brosse de Cassagnau: une tige en matière plastique très fine (1,5mm) montée sur un mandrin métallique.

II.4. Conservation et identification

Les Collemboles récupérés sont mis dans des tubes en plastique, ces tubes contiennent des étiquettes dans lesquelles sont mentionnées les informations requises : date d'échantillonnage, lieu d'échantillonnage, biotope, famille, et de l'alcool dont la concentration est de 70%. L'identification est orientée par des clés d'identification (**Jordana et Arbea, 1989**) des familles et des genres. L'identification au niveau de l'espèce a été réalisée par des spécialistes : **J.C. Simon d'Espagne, et J.M. Betsch** de France.

II.5. Identification et comptage

Les individus ainsi récoltés à partir des échantillons de sol, on été comptés.ils ont ensuite été identifiés (**Gisin, 1960 ; Christiansen et Bellinger,1980 c,b,a ; Christiansen et Bellinger, 1981**), et au niveau des sous-ordres (Gamasida,Actinedida,Acaridida).Cette est réalisée, avec l'aide de **M.D.GHEZALI (ENSA)**.

III. Méthode d'analyse de la structure des peuplements

Les différents indices de diversité utilisés permettent d'étudier la structure du peuplement d'évaluer sa biodiversité. La première étape consiste à évaluer la structure générale des peuplements à partir de l'abondance de la richesse spécifique.

III.1. Abondance et densité d'espèces

L'abondance est un paramètre important pour la description d'un peuplement. Elle représente le nombre d'individus d'un taxon (i) par rapport au nombre total d'individus dans l'échantillon. Elle est variable dans l'espace et dans le temps.

$$P_i = n_i / N$$

n_i = nombre d'individus de l'espèce i.

N = nombre total d'individus.

III.2. Indice de diversité de Shannon H'

De tous les indices, l'indice de diversité de Shannon est le plus utilisé dans l'étude comparative des peuplements (Shannon & Weaver, 1963). Il est relativement indépendant de la taille de l'échantillon et prend en compte à la fois la richesse spécifique et l'abondance relative de chaque espèce, permettant ainsi de caractériser l'équitabilité écologique des peuplements d'un écosystème.

Son équation est la suivante :

$$H' = -\sum (n_i / N) \log_2 (n_i / N)$$

n_i = nombre d'individus de l'espèce de rang i.

N = nombre total d'individus.

H' est d'autant plus petit (proche de zéro) que le nombre d'espèces est faible ; il est d'autant plus grand que le nombre d'espèces est élevé et réparti équitablement.

III.3. L'équitabilité

Sachant que plus un peuplement est équilibré (pas de taxon largement dominant), plus il est stable et proche du climat et qu'à l'inverse, toute pullulation est le signe d'un déséquilibre dû à une cause naturelle ou anthropique.

L'indice d'équitabilité a été mis au point pour rendre compte de l'abondance relative de chaque taxon. Cet indice est dérivé de celui de Shannon-Weaver.

On peut calculer au cas où toutes les espèces seraient représentées par le même nombre d'individu. Dans ce cas :

$$H'_{\max} = \log_2 S$$

I. Les analyses physico-chimiques du sol

I.1. Le pH

Le pH est situé dans un intervalle de valeurs entre 6 et 8. Pour les échantillons étudiés, la moyenne est de 7,71 pour la parcelle témoin, et de 6,79 pour les parcelles épandues donc le sol est neutre (**Figure.18**).

Selon (**Mohammad and Mazahreh, 2003**), indique que le sol traité avec les boues est riche en plus importante accumulation de la matière organique, donc on trouve une diminution du pH dans le sol.

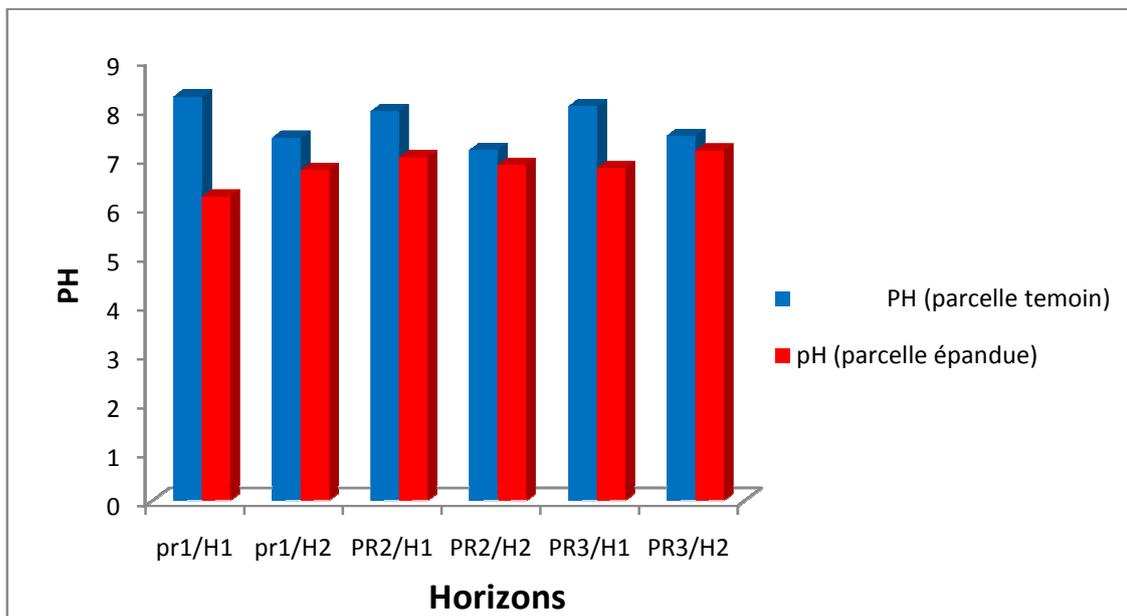


Figure 18 : variation du pH pour l'ensemble des horizons

I.2. La conductivité électrique

Cette mesure physico-chimique nous donne une idée sur la concentration des électrolytes dans la solution du sol d'une part et du degré de salinisation des sols d'autres part.

Les résultats d'analyse de la détermination de la conductivité électrique, illustrés par la (**Figure.19**), montrent que la CE des parcelles témoins (Pr2/H2), (Pr3/H2) est inférieure à 0,6 ds/m, donc le sol est non salé, cependant les autres valeurs varient entre 0,6 ds/m à 1,2 ds/m ce qui indique légère salinité, par contre les parcelles épandues ont des valeurs de CE qui varient de 0,81ds/m à 2,14ds/m, ce qui indique la salinité du sol .

L'étude des moyennes, montre une très légère augmentation de la conductivité électrique sous l'effet de la boue résiduaire.

Il est admis que l'épandage de boue résiduaire peut induire un effet de salinité dans les sols agricoles (Marisot, 1986).

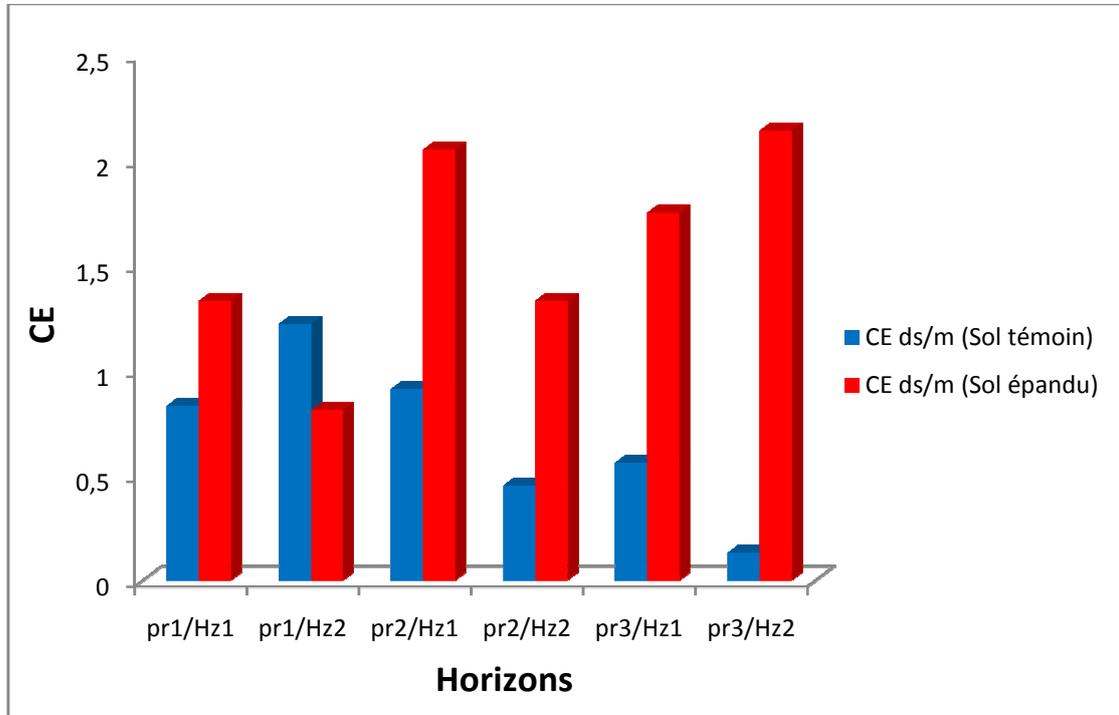


Figure 19: variation de la conductivité électrique des horizons

I.3. Le calcaire

Les valeurs du calcaire total sont relativement faibles pour les horizons Pr1/ H1, et Pr3/H2 du sol témoin, ce qui fait apparaitre une variation de 2,5% et 7,5%, par contre elles sont moyennement calcaire pour le reste des horizons avec des valeurs qui varient entre 10% à 13,75%. Et d'autre part les parcelles épandues sont fortement calcaire au niveau des horizons Pr2/H1, etPr2/ H2 avec des valeurs de 23,75% et 28,75% (Figure.20).

Selon Schipper et al., (1996), l'épandage des boues fait augmenter la composition chimique du sol en cations tels que Na, Ca et Mg.

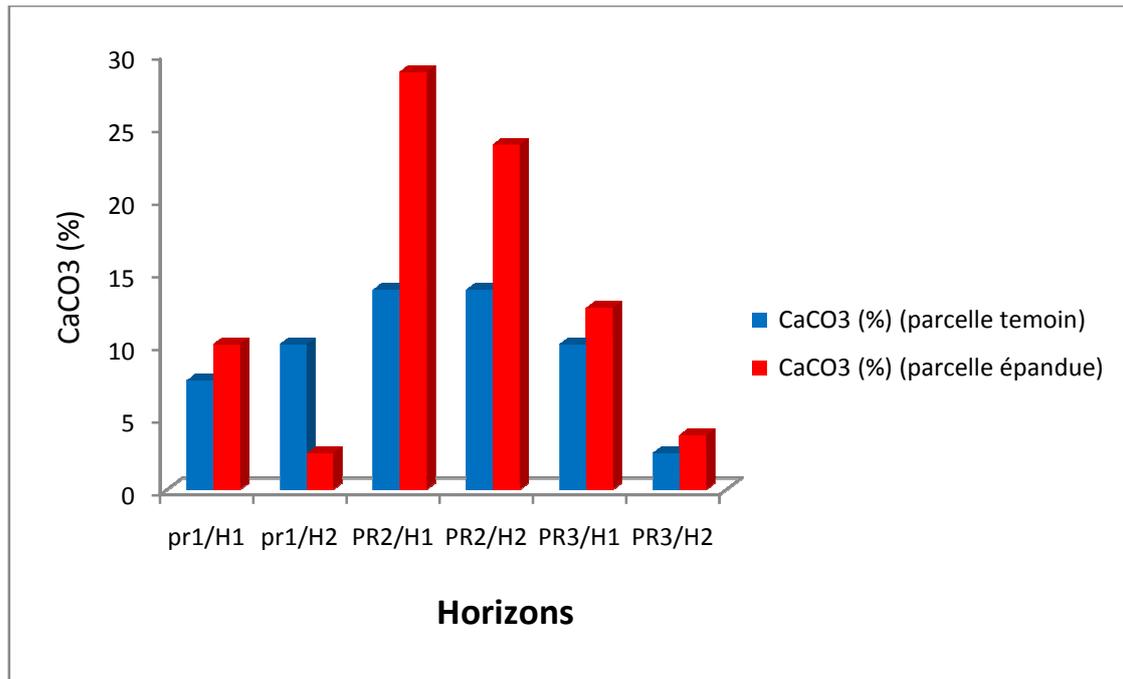


Figure 20 : La variation du calcaire totale des horizons

I.4. L'humidité relative des sols

L'humidité relative des échantillons de sol a été déterminée par une seule pesée des échantillons avant l'extraction des collemboles.

Selon la (Figure 21), le taux d'humidité relative a augmenté après le traitement du sol avec les boues exprimée par des valeurs qui passent de 15,13 % pour le sol témoin à 28,18 % pour le sol traité. Ce qui explique l'effet bénéfique des boues sur l'état hygroscopique des sols.

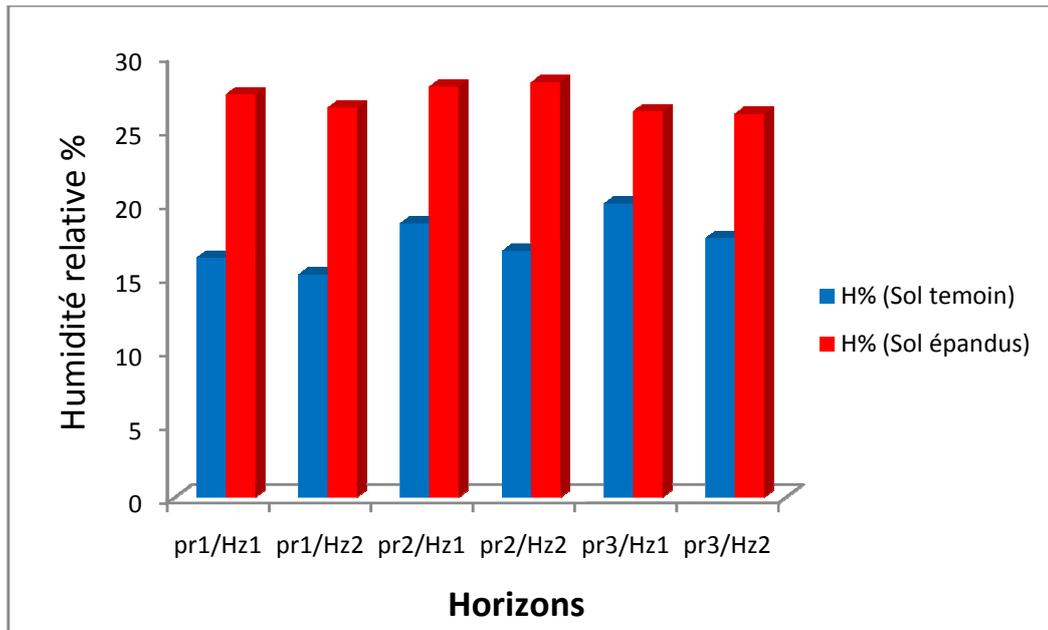


Figure 21: Pourcentage de l'humidité relative des échantillons de sol pour l'ensemble des horizons

I.5. L'humidité relative et les Collemboles

Les résultats obtenus montrent l'existence d'une étroite liaison entre l'augmentation des valeurs d'humidité et celui de nombre des individus de collemboles.

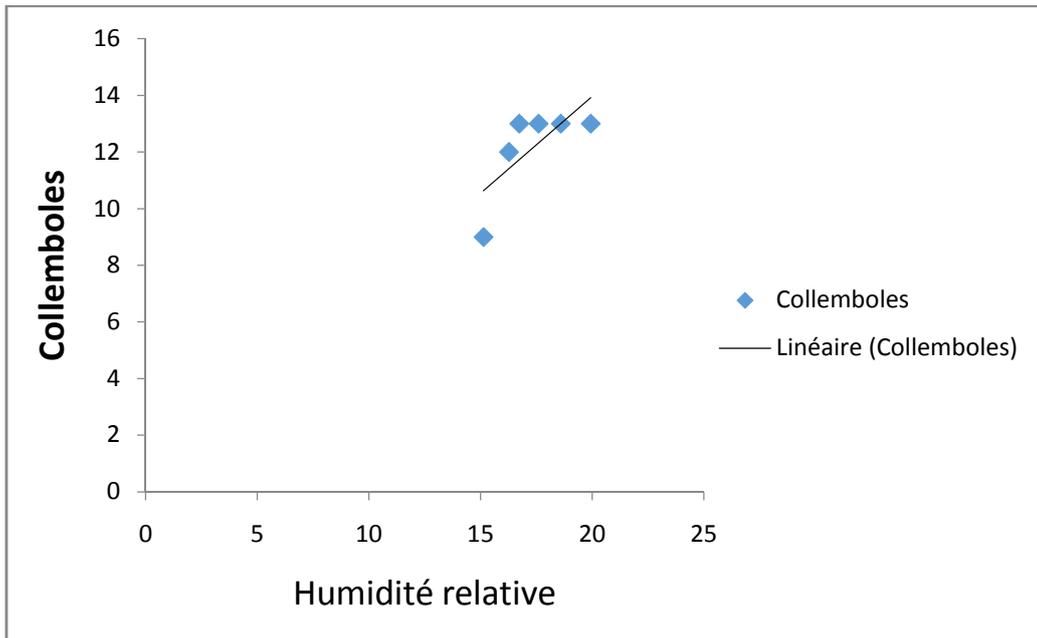
Au niveau des horizons de la parcelle témoin on a enregistré des valeurs moyennes de 17,37 %, par contre elle est plus élevée pour les horizons de la parcelle épandue, avec une valeur moyenne de 27,01 %.

L'augmentation d'humidité détermine l'augmentation du nombre de microorganismes du sol (Collemboles, acariens, nématodes...ect.) par apport d'éléments nutritifs solubles.

Le coefficient de corrélation entre l'humidité relative de chaque échantillon de sol et l'abondance des collemboles a été calculé sur chaque parcelle (témoin et épandus).

a) Parcelle témoin

Corrélation : $r = 0,19$



b) Parcelle épandue

Corrélation: $r = 0,73$

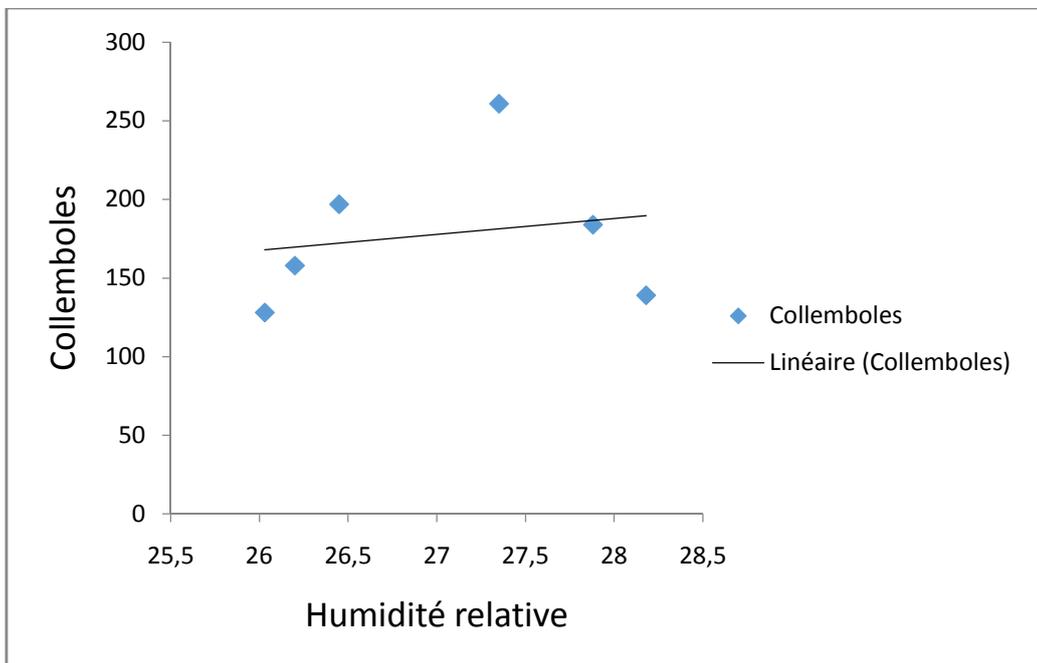


Figure 22: Corrélation entre le pourcentage d'humidité relative et l'abondance des collemboles sur les parcelles témoin (a) et épandue (b)

Les résultats obtenus montrent une corrélation faible sur la parcelle témoin ($r=0,19$). Elle est non significative pour les collemboles, et elle est significative sur la parcelle épandue qui ce fait apparaitre une valeur de ($r =0,73$) (**Figure.22**).

Si l'on trace la droite de régression entre l'abondance des Collemboles et l'humidité relative, on observe que la valeur du coefficient de détermination $R^2= 0,03$, on en conclut que 03% des effectifs des Collemboles sont liés à l'Humidité relative du sol pour la parcelle témoin, et d'autre part sur la parcelle épandue, on observe que la valeur du coefficient de détermination $R^2= 0,53$, on conclut que plus de 50 % des effectifs de Collemboles sont liés à l'Humidité relative du sol.

I.6. Le pH et l'abondance des Collemboles du sol

Le coefficient de corrélation entre le pH de chaque horizon et l'abondance de collemboles a été calculé sur chaque parcelle (témoin et épandue). Les résultats montrent que les corrélations sont plus élevés sur les parcelles épandues ($r =0,87$) elles sont significatives, par contre pour la parcelle témoin, la corrélation était faible ($r =0,19$). Elle est non significative (**Figure.23**).

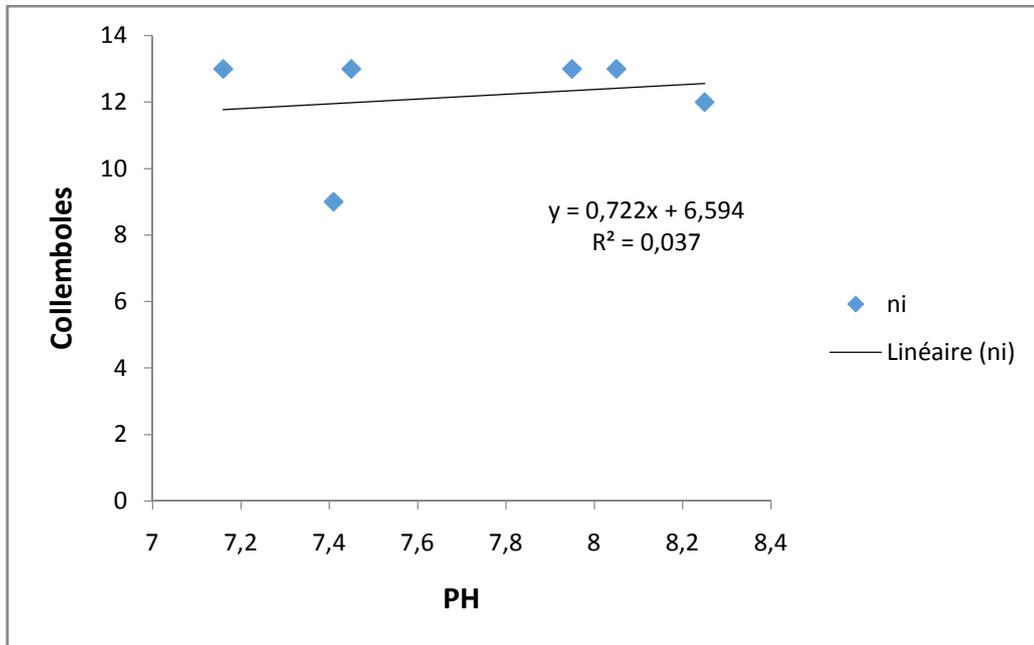
La différence entre les deux coefficients de corrélation est expliquée par l'attraction des collemboles vers les milieux neutres présentés par les sols épandus, contrairement au sol témoin ayant un pH légèrement alcalin.

Il existe un pH optimal pour chaque taxon ; car certaines espèces montrent une préférence pour des valeurs à pH faible, d'autres prouvent une tendance vers des valeurs élevées.

Jocteur (2001), indique que le pH des parcelles amendées avec de composte de boues peut atteindre 5,7.

a) Parcelle témoin

Corrélation : $r = 0,19$



b) Parcelle épandue

Corrélation: $r = 0,87$

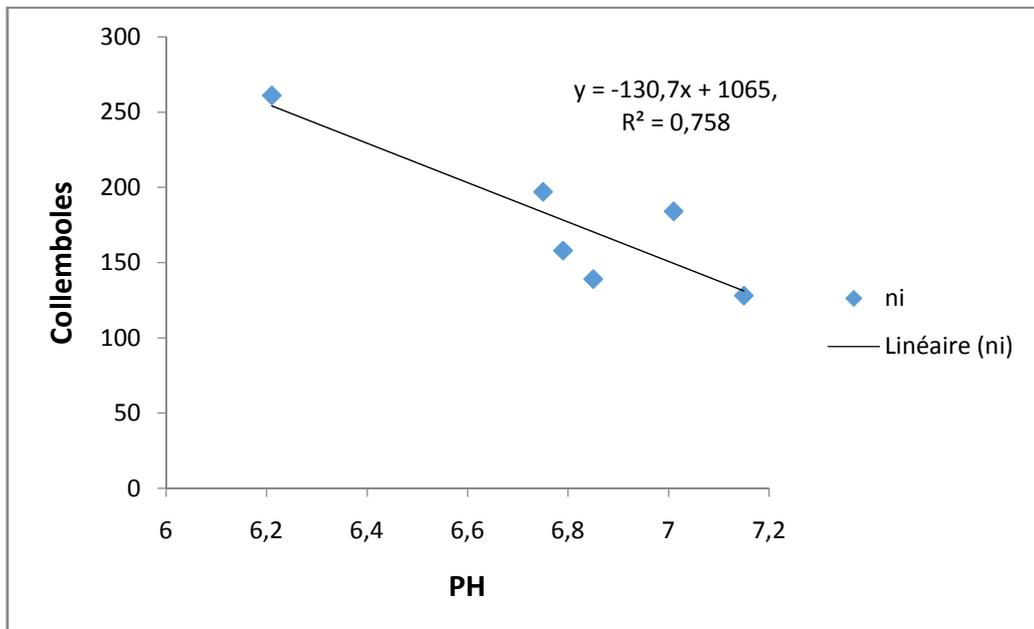


Figure 23 : Corrélation entre le PH et l'abondance de collemboles sur les parcelles témoin (a) et épandue(b)

II. Communautés des collemboles échantillonnées dans le sol

La composition de la faune varie d'un site à l'autre elle est de 73 individus dans la parcelle témoin.

Tableau 05 : Liste faunistique et nombre d'espèces de la parcelle témoin

Ordre	Famille	Espèces	pr1/Hz1	Pr1/Hz2	Pr2/Hz1	Pr2/Hz2	Pr3/Hz1	Pr3/Hz2
entomobryomorphes	Isotomidae	<i>Isotoma nivalis</i>	0	0	0	0	0	0
		<i>Proisotoma minima</i>	5	0	7	3	0	0
		<i>Isotoma vaillanti</i>	0	0	0	1	0	0
	Entomobryidae	<i>Entomobrya multifasciata</i>	0	0	2	1	0	2
		<i>Seira domestica</i>	0	1	0	0	1	0
		<i>Heteromurus nitidus</i>	0	2	1	3	0	1
		<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>	0	0	0	1	1	0
		<i>Orchesella cincta</i>	3	2	1	1	1	0
		<i>Entomobrya quinquelineata</i>	0	0	0	0	0	0
	Symphypléone	Sminthuridae	<i>Sminthurides malmgreni</i>	1	0	0	1	1
<i>Sphaeridia pumilis</i>			0	1	1	0	0	0
Collembola	Cyphodidae	<i>Cyphoderus albinus</i>	0	1	0	2	4	7
		<i>Cyphoderus bidenticulatus</i>	3	2	1	0	5	2

Ordre 1 : Entomobryomorphes

Les Entomobryomorphes, avec, 09 espèces réparties sur 02 familles, les individus de ce groupe se répartissent de façon hétérogène sur les différentes relevées.

- **Famille d'Isotomidae**

Elle présente 16 individus, En effet la dominance de 03 espèces.

- **Famille d'Entomobryidae**

Elle représentent le plus grand nombre d'individus 24, répartis sur 06 espèces, l'espèces les plus recensées sont *Orchesella cincta* (08 individus), et *Heteromurus nitidus* (07 individus)

Cette famille est mieux représentée au sol, ce qui laisse entendre qu'elle ne supporte pas les taux d'humidité élevés. Selon **Deharveng (1979)**, presque toutes les espèces de ce groupe ne tolèrent pas trop d'humidité notamment *Heteromurus nitidus*.

Ordre 2 : Symphypleone

Présente 02 espèces de l'ensemble de la faune récoltée, et sont répartis à une famille.

- **Famille de sminthurididae**

Cette famille présente 06 individus, sont répartis à 02 espèces, de l'effectif total des Symphypléones parmi lesquelles *Sphraeridia pumilis* et *Sminthurides malmgreni*.

Ordre 3 : Collembola

Présente 02 espèces et une famille, représentent plus de la moitié de la faune recensée.

- **Famille de cyphoderidae**

Cette famille présente 27 individus, de l'effectif total de cet ordre

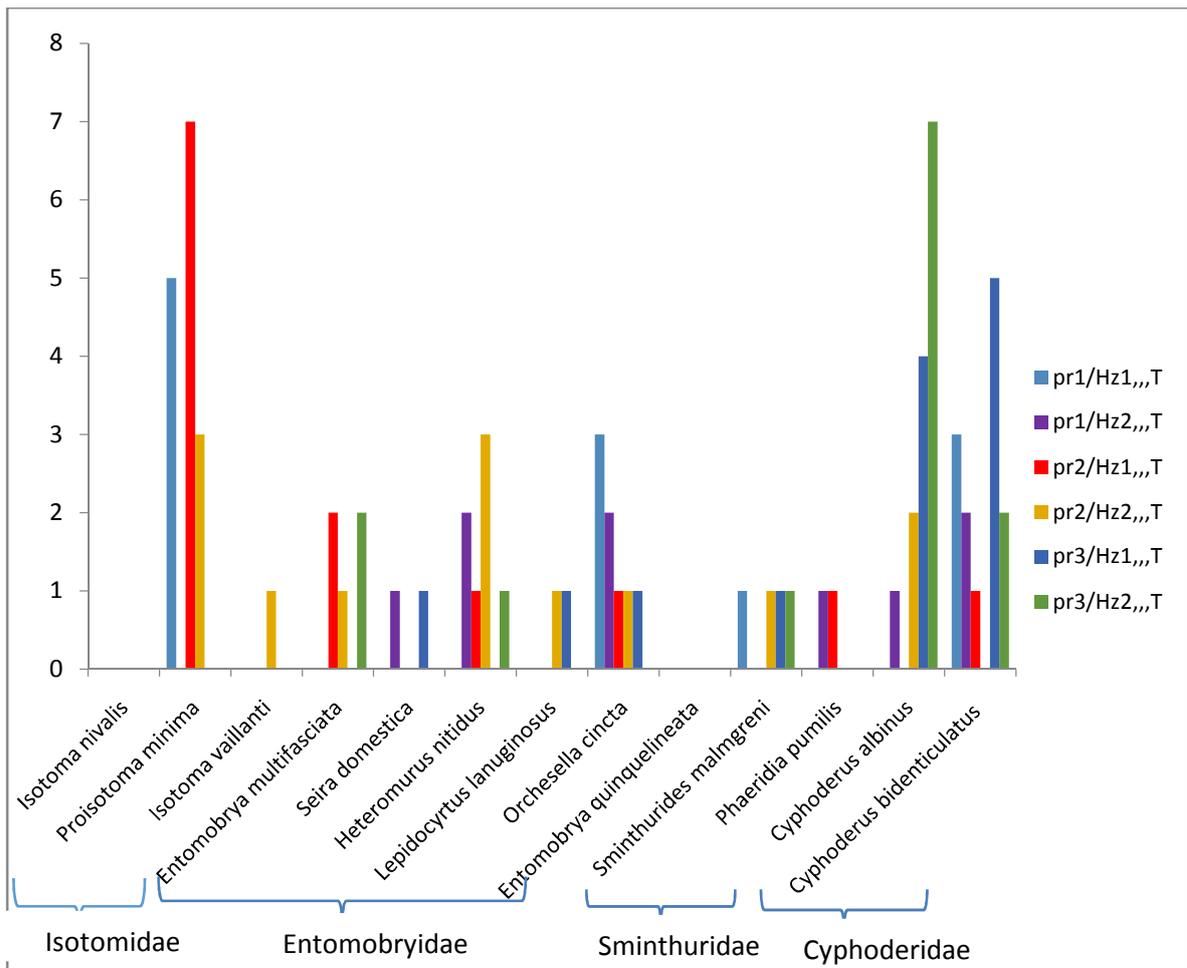


Figure 24 : Répartition des espèces par les familles dans la parcelle témoin

Par contre elle est de 1067 individus pour la parcelle épandue.

Tableau 06 : Liste faunistique et nombre d'espèces de la parcelle épandue

Ordre	Famille	Espèces	pr1/Hz1	Pr1/Hz2	Pr2/Hz1	Pr2/Hz2	Pr3/Hz1	Pr3/Hz2
entomobryomorphes	Isotomidae	<i>Isotoma nivalis</i>	1	0	0	1	1	1
		<i>Proisotoma minima</i>	12	1	8	5	2	1
		<i>Isotoma vaillanti</i>	24	19	8	6	4	1
	Entomobryidae	<i>Entomobrya multifasciata</i>	0	0	3	1	1	0
		<i>Seira domestica</i>	24	11	19	5	11	9
		<i>Heteromurus nitidus</i>	25	21	17	6	14	8
		<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>	23	18	18	6	5	10
		<i>Orchesella cincta</i>	26	19	22	20	21	14
		<i>Entomobrya quinquelineata</i>	24	15	10	12	9	5
	Symphypléone	Sminthuridae	<i>Sminthurides malmgreni</i>	24	16	21	12	17
<i>Sphaeridia pumilis</i>			17	11	19	14	19	12
Collembola	Cyphodidae	<i>Cyphoderus albinus</i>	19	34	22	18	24	33
		<i>Cyphoderus bidenticulatus</i>	42	32	17	33	20	24

Ordre 1 : Entomobryomorphes

Les Entomobryomorphes, avec 09 espèces réparties sur 02 familles, les individus de ce groupe se répartissent de façon hétérogène sur les différentes relevées.

- **famille d'Isotomidae**

Elle présente 92 individus, on assiste cependant à un fort déséquilibre dans la répartition d'espèces, et nous trouvons bien sur 03 espèces.

- **famille d'Entomobryidae**

Elle représente le plus grand nombre d'individus 452, est réparties en 06 espèces, le plus recensée *Orchesella cincta* (122 individus), et *Heteromurus nitidus* (91 individus).

Ordre 2 : Symphypleone

Présente 02 espèces de l'ensemble de la faune récoltée et qui sont réparties à une familles.

- **famille de sminthurididae**

Cette famille présente 192 individus, sont divisés entre deux espèces, 100 individus pour *Sminthurides malmgreni*, et 92 individus pour *Sphaeridia pumilis*.

Ordre 3 : Collembola

Présente 02 espèces et une famille représentent plus de la moitié de la faune recensée.

- **famille de cyphoderidae**

Cette famille présente 318 individus, l'espèce le plus recensée est *Cyphoderus bidenticulatus* (168 individus).

D'après **Andrés (1999)**, les épandages de boues ont un impact positif sur la communauté mésofaunique du sol. Le nombre d'individus échantillonnés est, en effet, significativement plus élevé sur la parcelle épandue, quels que soient la saison et le taxon considéré.

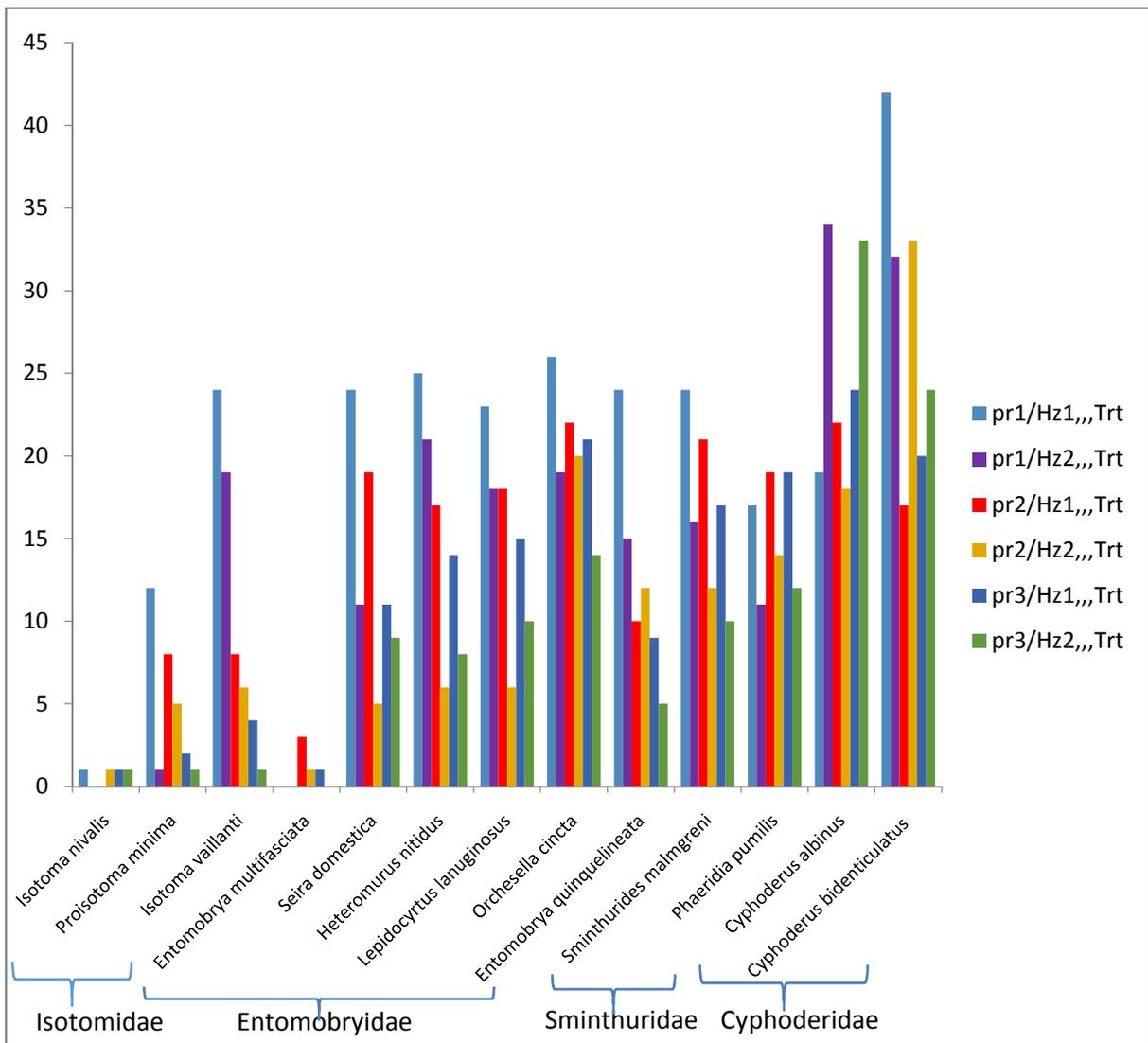


Figure 25 : Répartition des espèces par les familles dans la parcelle épandue

Selon la (Figure.26), le peuplement des Collemboles récoltés présente un taux de 94% dans la parcelle épandue, par rapport à la parcelle témoin qui présente un pourcentage très faible (6%).

Selon (Andrés, 1999; Bruce et al., 1999; Cole et al., 2001), l'apport de nutriments qui accompagne l'application des boues d'épuration favorise les invertébrés et l'abondance des collemboles ,des carabidés, des vers de terre (Stevenson et al., 1984; Tomlin et al., 1993), des nématodes du sol et des acariens (Koehler, 1999).

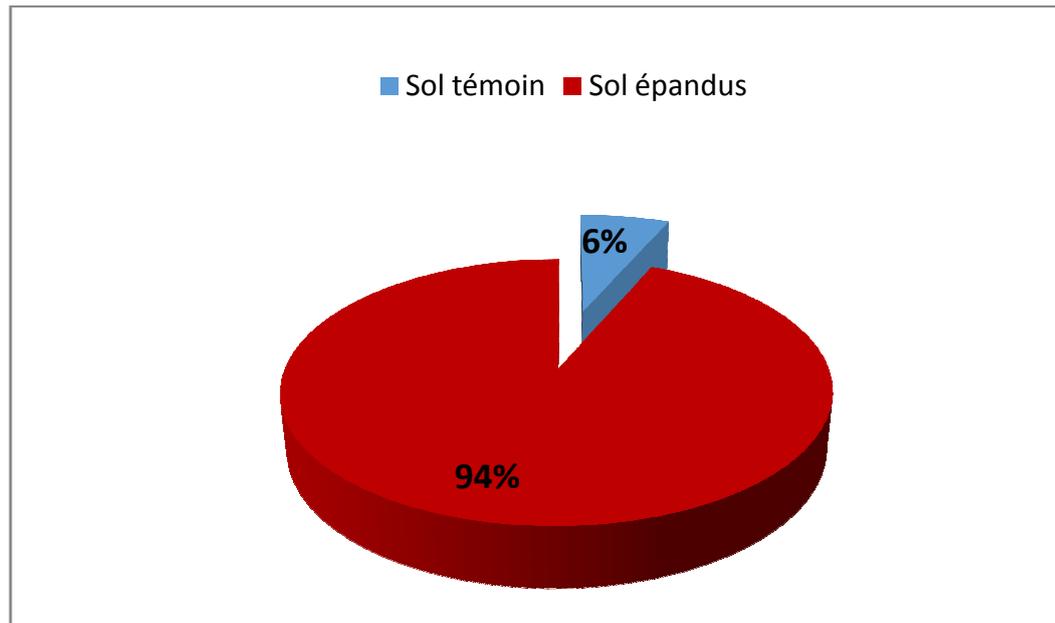


Figure 26 : Pourcentage des collemboles récoltés dans les deux parcelles témoin et épandue

III. Analyse de la structure du peuplement des Collemboles

Pour avoir une meilleure approche de la structure du peuplement des Collemboles sur le sol, les paramètres de description suivants ont été étudiés

- 1- L'abondance relative des espèces (AR%) = $(n_i * 100) / N$
- 2- La diversité de Shannon $H' = -\sum (1 \sim s) p_i * \log_2 p_i$
- 3- L'équitabilité

III.1. L'abondance relative des espèces

Tableau 07: Résultats de l'abondance relative

Espèces	AR% (parcelle témoin)	AR % (parcelle épandue)
<i>Isotoma nivalis</i>	0	0,37
<i>Proisotoma minima</i>	20,54	26,74
<i>Isotoma vaillanti</i>	1,36	5,86
<i>Entomobrya multifasciata</i>	6,84	0,47
<i>Seira domestica</i>	2,73	7,47
<i>Heteromurus nitidus</i>	9,58	12,6
<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>	2,73	8,51
<i>Orchesella cincta</i>	10,95	14,54
<i>Entomobrya quinquelineata</i>	0	7,09
<i>Sminthurides malmgreni</i>	5,47	9,37
<i>Phaeridia pumilis</i>	2,73	8,7
<i>Cyphoderus albinus</i>	19,17	24,19
<i>Cyphoderus bidenticulatus</i>	17,8	19,89
La moyenne	7,68	11 ,21

On constate une variation de présence des espèces et des familles de collemboles récoltés sur les deux parcelles épandue et témoin.

En effet, certaines espèces sont totalement absentes dans le sol témoin cas de l'*Isotoma nivalis* ainsi que *Entomobrya quinquelineata*. Ainsi certaines espèces appariaient seulement dans les horizons de surfaces ce qui est due aux changements des conditions dans les profondeurs.

Cependant les valeurs obtenues de l'abondance relative moyenne ; indique une importante présence des peuplements de collemboles dans les sols épandus contrairement à ceux témoins, qui présentent des valeurs plus faibles d'AR%.

Ces résultats sont en accord avec ceux de **Van Der Maarel (1976)** qui signale que le nombre d'espèces de collemboles, acariens et Oribates est très faible dans les parcelles qui ne sont pas traités aux boues résiduelles par rapport aux parcelles épandues.

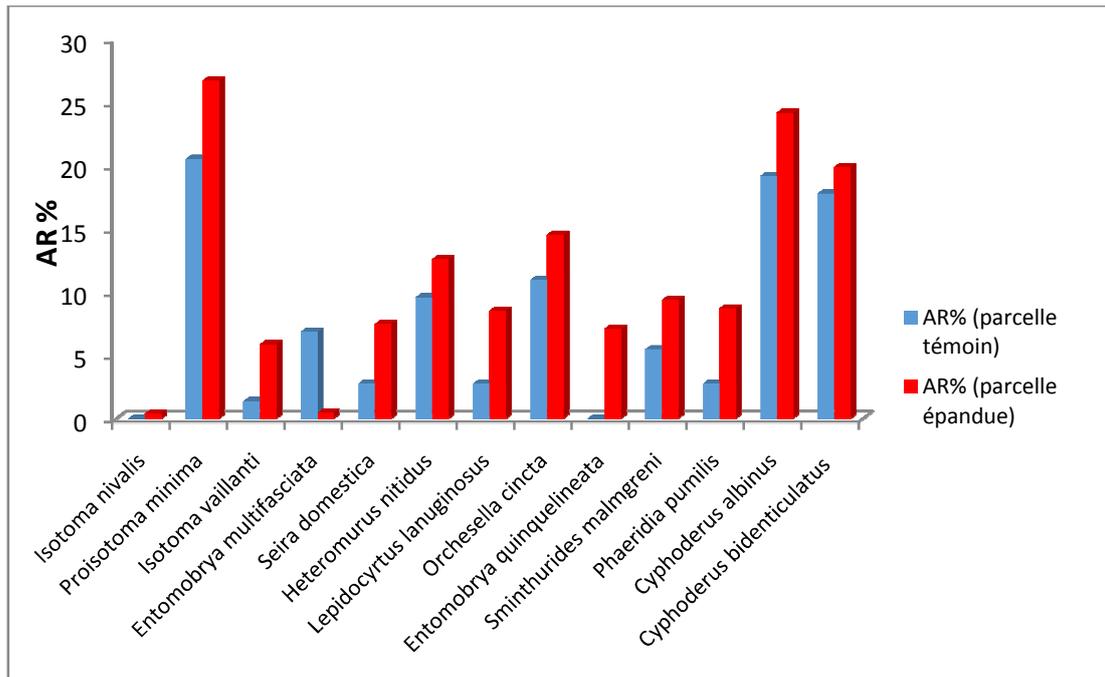


Figure 27 : Abondance relative des collemboles sur les parcelles témoins et épandues de chaque espèce

III.2. La diversité de Shannon

Tableau 08 : Les valeurs de l'indice de Shannon (H')

Horizons	Shannon H'(parcelle témoin)	Shannon H'(parcelle épandue)
pr1/Hz1	1,26	2,37
pr1/Hz2	1,73	2,25
pr2/Hz1	1,41	2,39
pr2/Hz2	1,95	2,25
pr3/Hz1	1,51	2,31
pr3/Hz2	1,30	2,12
La moyenne	1,52	2,28

La moyenne de diversité de Shannon est plus élevée sur la parcelle épandue de façon significative, ce qui fait apparaitre une valeur de 2,28 et 1,52 pour la parcelle témoin (Tableau. 08).

D'après BOURNAUD et KECK (1980), qui indiquent que l'indice de Shannon augmente d'une part avec le nombre d'espèces et, d'autre part, avec la régularité de leur distribution d'abondance, autrement dit, un indice faible est une conséquence d'un faible nombre de taxons et/ou de la dominance de quelques espèces.

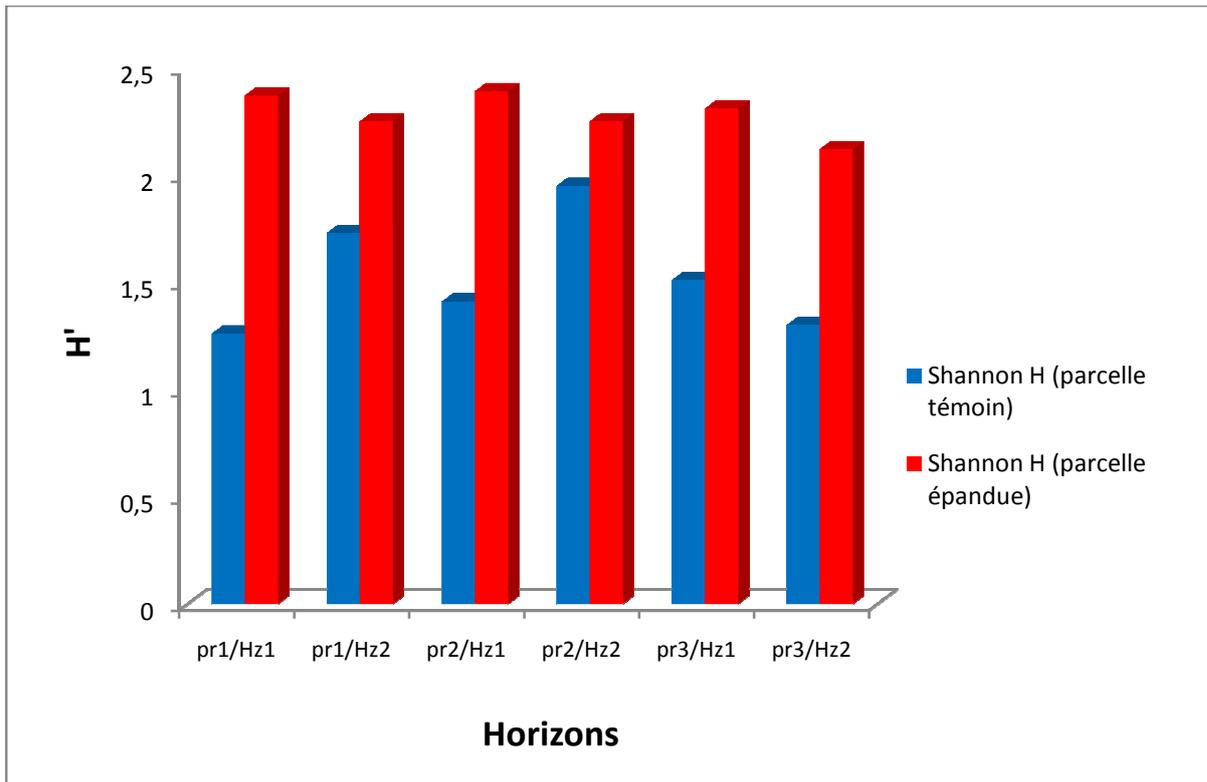


Figure 28 : Diversité de Shannon des Collemboles pour l'ensemble des horizons

III.3. L'équitabilité

Tableau 09 : Résultats de l'équitabilité des parcelles témoin et épandue

Horizons	Equitabilité J (parcelle témoin)	Equitabilité J (parcelle épandue)
pr1/Hz1	0,91	0,95
pr1/Hz2	0,96	0,94
pr2/Hz1	0,78	0,96
pr2/Hz2	0,93	0,87
pr3/Hz1	0,84	0,90
pr3/Hz2	0,81	0,85
La moyenne	0,87	0,91

L'équitabilité a été calculé pour le sol épandu ainsi que le témoin, les résultats font apparaitre une légère différence expliquée par l'effet stimulant des boues sur la biodiversité des collemboles (Tableau.09).

L'équitabilité varie entre 0 et 1 (Weesie et al. 1997), il se rapproche de 0 lorsque la quasi-totalité des effectifs appartient à une seule espèce, par contre elle se rapproche de 1 lorsque chaque espèce est représentée par le même nombre d'individus (Ramade, 1984).

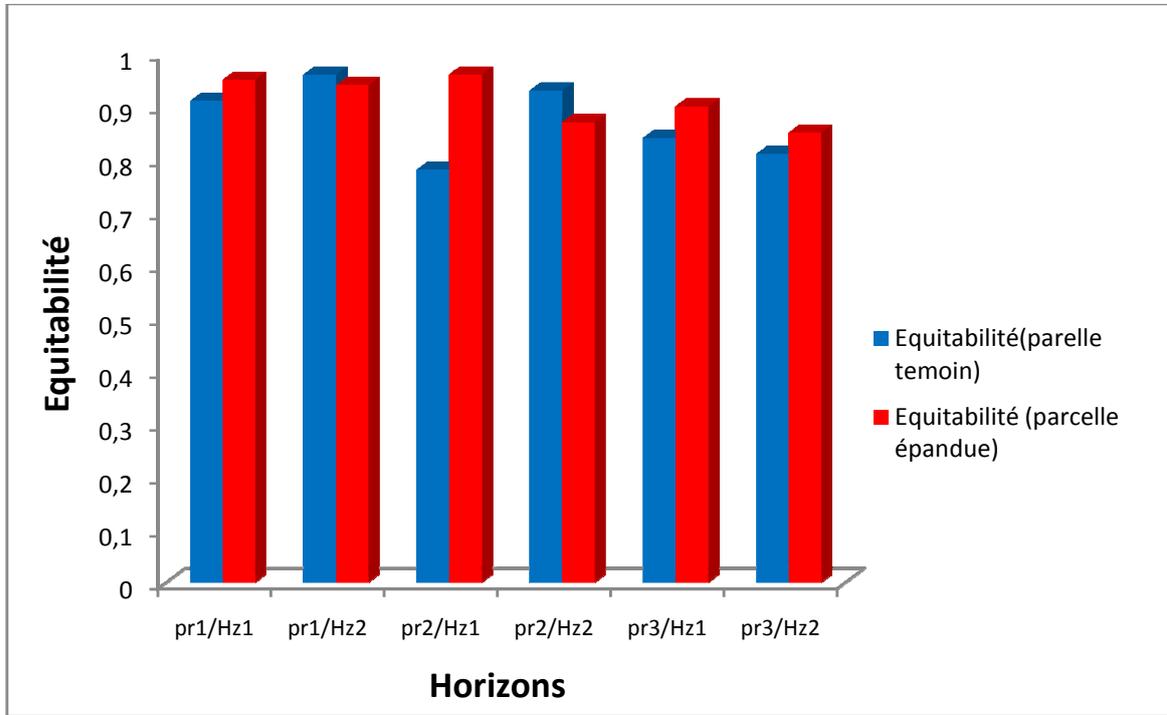


Figure 29 : Equitabilité des collemboles pour l'ensemble des horizons

Conclusion générale

Notre travail avait pour but de mettre en évidence l'effet des boues d'épurations sur la biodiversité des sols notamment en collemboles. Pour ce faire nous avons échantillonné le sol dans deux parcelles, sur des sols qui ont reçu un apport en boues et sur un sol qui n'a pas reçu de boues.

Les analyses physico chimiques du sol nous ont permis d'en tirer que :

- ✓ La moyenne des taux de calcaire total fait apparaître une valeur de indiquant que l'ensemble des sols étudiés sont calcaire
- ✓ Le pH des sols est neutre qui présente une valeur de 6,79 notamment pour les sols traités.
- ✓ La moyenne de la conductivité électrique sur les sols épandus fait apparaître une valeur de 1,56 dm/m, ce qui montre l'augmentation de la salinité des sols.

En se référant aux valeurs des différents paramètres de la structure du peuplement on peut dire que :

- ✓ Dans la région de Tizi-Ouzou nous n'avons récolté 13 espèces de collemboles. La moyenne de l'indice de Shannon calculé se situe à 2,28, ce qui montre que le peuplement des Collemboles est peu diversifié après le traitement des sols.
- ✓ Les résultats de l'équitabilité font apparaître une légère différence expliquée par l'effet stimulant des boues sur la biodiversité des collemboles. Elle se rapproche de 1 lorsque chaque espèce est représentée par le même nombre d'individus (**Ramade, 1984**).
- ✓ Un total de 1067 individus de collemboles sur la parcelle traitée aux boues d'épurations.
- ✓ L'application du test de corrélation de rang de Spearman a mis en évidence la forte corrélation entre l'abondance des collemboles et quelques paramètres édaphiques tels que l'humidité relative, et le pH dans la parcelle épandue, ce qui indique qu'elle est significative pour les Collemboles.

Pour cette raison nous pouvons conclure l'effet bénéfique des boues résiduelles sur le comportement biologique des sols ; ce qui leur revêt un grand intérêt agricole.

Références bibliographiques:

ADEME, 2001 a : - Les boues chaulées des stations d'épuration municipales: production, qualité et valeur agronomique, Ademe édition, Paris, pp. 224.

ADEME, 1999 : - Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde, Ademe édition, Paris, pp. 159.

ADEME, 2001 b ; Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture, Ademe édition, Paris, pp. 59.

AGGELIDES, S.M., LONDRA, P.A, 2000: - Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and clay soil. *Bioresource Technology*, 71, p 253-259.

ANDRÈS, P. (1999). Ecological risks of the use of sewage sludge as fertilizer in soil restoration: Effects on the soil microarthropod populations. *Land Degradation and Development*, 10, p 67-77.

ANDRÈS, P., MATEOS, E., ASCASO, C. (1999). Ecology of Mediterranean evergreen oak forests. In *Ecological studies* 137 (ed. Rodà F., R. J., Gracia CA., Bellot J.).

BACHELIER, G. (1978). La faune des sols, son écologie et son action, Orstom édition, Paris, pp. 391.

BAGNOULS ; GAUSSEN., (1953) : Saison et indice xérothermique. *Doc. Cart. Prob. Vég. Serv. Gén.* 2, 1, art. 8, Toulouse.

BAIZE D ., (2000) – Guide des analyses en pédologie, 2^{ème} Edition I.N.R.A, Paris 375 p.

BANERJEE, M.R., BURTON, D.L., DEPOE, S. (1997). Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 66, p 241-249.

BENMOUFFOK at al., 2005. Caractérisation et valeur agronomique des boues issues d'épuration des eaux usées (cas de la station d'épuration de Tizi-Ouzou Est, Algérie), *Watmed2* (Marrakech), 4 p.

BETSCH J-M., 1980. Eléments pour une monographie des Collembolles Symphypléones (Héxapodes, Aptérygotes). *Mem.Mus.Nat.Hist.Nat.*,A,116,3-227.

BOURNAUD M & KECK G., 1980.Diversité spécifique et structure des peuplements macroinvertébrés benthiques au cours d'eau : le Furans (Ain). *ActaOecologica, Qeocol. Gener*, vol.1,n°2,131-150.

- BRUCE, L.J., MCCRACKEN, D.I., FOSTER, G.N., AITKEN, M.N. (1999).** The effects of sewage sludge on grassland euedaphic and hemiedaphic collembolan populations. *Pedobiologia*, 43, p 209-220.
- CALVET, 2003 :** - Le Sol propriétés et fonction: Tom I et II. Ed Dunod.
- CHRISTIANSEN, K., BELLINGER, P. (1980a).** The collembola of North America. Part 1. Poduridae et Hypogastruridae. Grinnell College, Grinnell, Iowa, pp. 386.
- CHRISTIANSEN, K., BELLINGER, P. (1981).** The collembola of North America. Part 4. Neelidae et Sminthuridae. Grinnell College, Grinnell, Iowa, pp. 279.
- COLE, L.J., MCCRACKEN, D.I., FOSTER, G.N., AITKEN, M.N. (2001).** Using collembola to assess the risks of applying metal-rich sewage sludge to agricultural land in western Scotland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83, p 177-189.
- DEHARVENG L., HAMRA-KOUA., JORDANA R., 2004.** A new *Friesea* of the *mirabilis*-group from Algeria (Collembola: Neanuridae, Frieseinae). *Zootaxa* 2074: 65-68.
- DEHARVENG L. et HAMRA-Kroua S., 2004-** Une nouvelle espèce de *Friesea* Dalla Torre, 1895, du massif de l'Edough, nord-Constantinois, Algérie (Collembola, Neanuridae). *Bull.Soc.Ent. France*, 109 (2) : 141-143.
- DUCHAUFOUR, 2001 :** - Introduction à la science du sol - 6ème Ed de l'abrégé de pédologie Dunod, 331p.
- ECHAB, A1998 :** - Réutilisation des boues de stations d'épuration des eaux usées en agriculture : Impact des métaux lourds. Thèse 3e Cycle, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, Maroc, p. 80-83 (141 p.).
- EDWARDS, C.A., BOHLEN, P.J. (1995).** The effects of contaminants on the structure and function of soil communities. *Acta Zoologica Fennica*, 196, p 284 - 289.
- GAMRASNI, M.A, 1979 :** - Utilisation agricole des boues résiduelles d'origine urbaine. P 73-92.
- GISIN, H. (1960).** Collembolenfauna Europas. Museum d'Histoire Naturelle, Genève, pp. 312.
- GOMEZ et al., 1984.** Etude de l'incidence des apports de boues résiduelles à des sols sableux, sur l'évolution quantitative et qualitative de la matière organique. *CR. Acad. Sc. Fr* 516-524.
- GURY, M, 1990 :** - Genèse et fonctionnement actuel des pseudogleys podzoliques sur terrasses alluviales dans l'Est de la France. Thèse Doc. Etat. Nancy I. 218 p+ annexe.

- HAMRA-Kroua S., 2005 :** - Les Collemboles (Hexapoda, Arthropoda) du Nord-est algérien : taxonomie, biogéographie et écologie. Thèse de doctorat d'état es sciences naturelles, université Mentouri, Constantine. 266 p.
- HIDLEBAUGB, A.R, 1973:** - Soil limitations in Applyind Treated W aste Water Effluent and.
- HOODA, P.S., ALLAWAY, B.J (1993).** Plant vailability of heavy metals in soil, previously amended with heavy application of sewage sludge. J. Sci. Food Agri. 73:446-454.
- J.C.SIMON.,**
1997.FaunaIberica,Collembola*Poduromorphora*MuseoNacìonaldeCiensasNaturales,Consejo Superior de Invesigaciones Cientificas,Madrid.Vol.8,807 p .
- JARDE, E 2002 :** - composition organique de boues résiduares de stations d'épuration lorraines : caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation.
- JOCTEUR MONROZIER, L. (2001).** Conséquences de l'anthropisation des sols. Les boues: quels risques? Colloque Marseille. 5 avril 2001. Mouvement National de Lutte pour l'Environnement éd.
- JORDANA R. & ARBEA J.I., 1989.** Claved'identificaciòndelosgénerosdeColémbolos de España(Insecta.Collembola). Publicaciones de Biología de la Universidadde Navarra, Serie Zooloogica,19:1;16.
- KHAN, M., SCULLION, J. (2002).** Effects of metal (Cd, Cu, Ni, Pb or Zn) enrichment of sewage-sludge on soil micro-organisms and their activities. Applied Soil Ecology, 20, p 145-155.
- KOEHLER, H. (1999).** Predatory mites. Agriculture, Ecosystems and Environment, 74, p 395-410.
- KORMANIK, R.A, 1972:** - Estimating solids production for sludge handling Water & Sewage Works, P 72-74.
- KUNITO, T., SAEKI, K., GOTO, S., HAYASHI, H., OYAIZU, H., MATSUMOTO, S. (2001).** Copper and zinc fractions affecting microorganisms in long-term sludge-amended soils. BioresourceTechnology, 79, p 135-146.
- l'environnement, Edisciences édition, Paris, pp. 822.
- MARISOT, A ; GRAS , R.1986 .**Répercussions agronomiques des épandages d'effluents des industries agricoles et alimentaire . Ann. Agro. 25. 243. 66.
- MEDKOUR, (2002).** Réutilisation des eaux usées épurées. Forum de la gestion de la demande en eau : réutilisation des eaux usées. Rabat, 26 et 27 mars 2002. 11 p.

- MITCHELL,(1978).** Effects of different sewage sludges on some chemical and biological characteristics of soil. *Journal of Environmental Quality*, 7, p 5591-5598.
- MOHAMMAD et al., (2004).** Changes in Soil Fertility and Plant Uptake of Nutrients and Heavy Metals in Response to Sewage Sludge Application to Calcareous Soils. *J. of Agronomy* 3(3):229-236.
- MOREL, J. L, 1977 :** - Contribution à l'étude de l'évolution des boues résiduaires dans le sol. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy 1, France, p 117.
- MURILLO, M, 2004 ;** Caractérisation de l'Effet d'un Traitement au Peroxyde d'Hydrogène sur une Boue - Application la Réduction de la Production de Boue', Thèse de doctorat, INSA Toulouse.
- ONM (Office national de la Météorologie) de Tizi-Ouzou :** Température et précipitation pour la période (2003-2013).
- RAMADE, F. (1984).** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de
- ROBERT, M. (1996).** Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Masson, Paris, pp. 244.
- SALHI, S, 2003 :** - Procèdes Couplés aux Boues Activées-Ozonisation pour la Réduction dans la Production de Boues: Etude Modélisation et Intégration dans la Filière de Traitement des Eaux'. Thèse de Doctorat, INSA Toulouse.
- Schipper, L.A., Williamson, J.C., Kettles, H.A. and Speir, T.W. (1996).** Impact of land-applied tertiary treated effluent on soil biochemical properties. *J. Environ. Quality*, 25(5):1073-1077.
- SEASTEDT, T.R. (1984).** The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual Review of Entomology*, 29, p 25 - 46.
- SEDKI, A, 1995 ;** Étude écotoxicologique de la contamination de deux chaînes alimentaires terrestres dans la palmeraie périurbaine de la zone d'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech. Thèse Doct. État, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, Maroc. 140p.
- SHANNON C.E. & WEAVER W., 1963.** The mathematical theory of communication.
- SMITH, J.L, HOUK, C.P, 1976:** - Land application of sewage sludge has been troubled by objections but tests at the University of Colorado show that Subsurface Injections solves sludge problems *Water & Wastes Eng.*, 13, n°9, P. 46-48, 1977, n°1, P. 35-42.
- STAMATIADIS, S., DORAN, J.W., KETTLER, T. (1999).** Field and laboratory evaluation of soil quality changes resulting from injection of liquid sewage sludge. *Applied Soil Ecology*, 12, p 263-272.

- STEVENSON, PARKINSON, MITCHELL, M.J. (1984).** Effect of the sewage sludge on decomposition processes in soils. *Pedobiologia*, 26, p 95-105.
- SUH, Y.J. AND. ROUSSAUX, P, 2002:** - An LCA of Alternative Waste Water Sludge Treatment Scenarios', *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 35, pp. 191 – 200.
- TASDILAS, 1997.** Impact of waste water reuse on some soil properties. In: Inter. Conference on water management, salinity, and pollution control towards sustainable irrigation in the Mediterranean region: Options méditerranéennes série B- CIHEAM. 213-226.
- TAUZIN, C, JUSTE, C, 1986 :** - Effet de l'application à long terme de diverses matières fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles. Rapport du contrat 4084/93. Ministère de l'environnement, France.
- TOMLIN, A.D., PROTZ, R., MARTIN, R.R., MCCABE, D.C., LAGACE, R.J. (1993).** Relationships amongst organic matter content, heavy metal concentrations, earthworm activity, and soil microfabric on a sewage sludge disposal site. In *Soil structure/soil biota interrelationships*, 57 (ed. Kooistra, L. B. a. M. J.), Elsevier. pp. 89-103. Urbane: University of Illinois press: 117p.
- Van Der Maarel E., 1976.** On the establishment of plant community de boundaries, *Bericht des DeutschenbotanischenGesellschaft* 5 (89) : 473-498.
- WEESIE P. et BELEMSOBGO V., 1997** -Les rapaces diurnes du ranch de gibier de Nazinga. Liste commentée, analyse du peuplement et cadre biogéographique. *Alouda*, 65 (3) : 263-278.
- WHITE, R.K. HAMDY, M.Y, 1972:** Sludg Disposal on Agricultural Soil Eng. Bull of Purdue Univ. N° 141, Part. 1, P. 191-201.4.
- YAKOUB B., 1996.** Le problem de l'eau en grand Kabylie. Le bassin verseau de Sébaou et la wilaya de Tizi-Ouzou. Edition UniversitéMouloudMammeri, Tizi-Ouzou : 210 p.

Annexe 01 : Mesure de Ph

Mode opératoire

- On pèse 20g de sol tamisé à 2mm et on les introduit dans le flacon d'agitation.
- On ajoute 100ml d'eau distillée.
- On agite pendant 30mn environ.
- Après l'écoulement de 30mn, on agite la suspension à la main.
- On passe PH-mètre après calibrage.
- On lit la valeur quand la lecture se stabilise (environ 30 à 60 secondes).

Résultats de pH

Echantillons	Pr1/H1	Pr1/H2	Pr2/H1	Pr2/H2	Pr3/H1	Pr3/H2
Sol témoin	8,25	7,41	7,95	7,16	8,05	7,45
Sol épandus	6,21	6,75	7,01	6,85	6,79	7,15

Annexe 02 : Mesure de la conductivité électrique

Mode opératoire

- on pèse 20g de sol tamisée et les introduire dans le flacon d'agitation,
- on ajoute 50ml d'eau distillée.
- on agite pendant 30mn environ.
- on laisse le filtrat clair reposer 2 heures, faire les mesures de conductivité électriques.

Résultats de la conductivité électrique

Echantillons	Pr1/H1	Pr1/H2	Pr2/H1	Pr2/H2	Pr3/H1	Pr3/H2
Sol témoin	0,83	1,22	0,91	0,45	0,56	0,13
Sol épandus	1,33	0,81	2,05	1,33	1,75	2,14

Annexe 03 : Dosage du calcaire total CaCO₃ (%) (Calcimètre de Bernared)

Mode opératoire

- Remplir l'ampoule d'eau de manière à ce que le niveau soit légèrement en dessous du zéro de la burette (pour on décroche l'ampoule et l'on fait correspondre les niveaux d'eau dans l'ampoule et burette).
- peser 0,3g de CaCO₃ pur et sec et le déposer dans l'érlenmeyer (témoin).
- Remplir un petit tube à essai au 10ml d'HCL dilué que l'on place délicatement au moyen de pinces dans l'érlenmeyer en le mettant ainsi en relation avec la burette.
- Décrocher l'ampoule et faire correspondre les niveaux.
- Faire la lecture du niveau de la burette : soit V₀ le niveau lu.
- Renverser l'acide sur le Ca CO₃ en ayant soin de mélanger doucement.
- Attendre la stabilisation du niveau d'eau la burette, marquant la fin du dégagement gazeux.
- Décrocher l'ampoule et lire le volume v_t.
- Renouveler l'opération en remplaçant la CaCO₃ par le sol tamisé.
- peser 0,5g de sol tamisé et faire les étapes et lire le volume v_e.

Résultats du calcaire total CaCO₃ (%)

Echantillons	Pr1/H1	Pr1/H2	Pr2/H1	Pr2/H2	Pr3/H1	Pr3/H2
Sol témoin	7,5 %	10 %	13,75 %	13,75 %	10 %	2,5 %
Sol épandus	10 %	2,5 %	28,75 %	23,75 %	12,5 %	3,75 %

Annexe 04 : L'humidité relative des sols

Horizons	H% (Sol témoin)	H% (Sol épandu)
pr1/Hz1	16,27	27,35
pr1/Hz2	15,13	26,45
pr2/Hz1	18,6	27,88
pr2/Hz2	16,73	28,18
pr3/Hz1	19,94	26,2
pr3/Hz2	17,6	26,03
La moyenne	17,35	27,01

Annexe 05 : L'humidité relative et les Collemboles du sol pour la parcelle témoin

Horizons	H%	Collemboles
Pr1/Hz1	16,27	12
Pr1/Hz2	15,13	9
Pr2/Hz1	18,6	13
Pr2/Hz2	16,73	13
Pr3/Hz1	19,94	13
Pr3/Hz2	17,6	13

Annexe 06 : L'humidité relative et les Collemboles du sol pour la parcelle épandue

Horizons	H%	Collemboles
Pr1/Hz1	27,35	261
Pr1/Hz2	26,45	197
Pr2/Hz1	27,88	184
Pr2/Hz2	28,18	139
Pr3/Hz1	26,2	158
Pr3/Hz2	26,03	128

Annexe 07 : Le pH et l'abondance des Collemboles du sol pour la parcelle témoin

Horizons	pH	Collemboles
Pr1/Hz1	8,25	12
Pr1/Hz2	7,41	9
Pr2/Hz1	7,95	13
Pr2/Hz2	7,16	13
Pr3/Hz1	8,05	13
Pr3/Hz2	7,45	13

Annexe 08 : Le pH et l'abondance des Collemboles du sol pour la parcelle épandue

Horizons	pH	Collemboles
Pr1/Hz1	6,21	261
Pr1/Hz1	6,75	197
Pr1/Hz1	7,01	184
Pr1/Hz1	6,85	139
Pr1/Hz1	6,79	158
Pr1/Hz1	7,15	128

Annexe 09 : Normes d'interprétation de la réaction du sol (pH)

4 à 5	Très fortement acide
5,1 à 5,5	Fortement acide
5,6 à 6,75	Faiblement acide
6,75 à 7,3	Neutre
7,4 à 7,8	Légèrement alcalin
7,9 à 8,4	Moyennement alcalin
8,5 à 9	Fortement alcalin
> 9	Très fortement alcalin

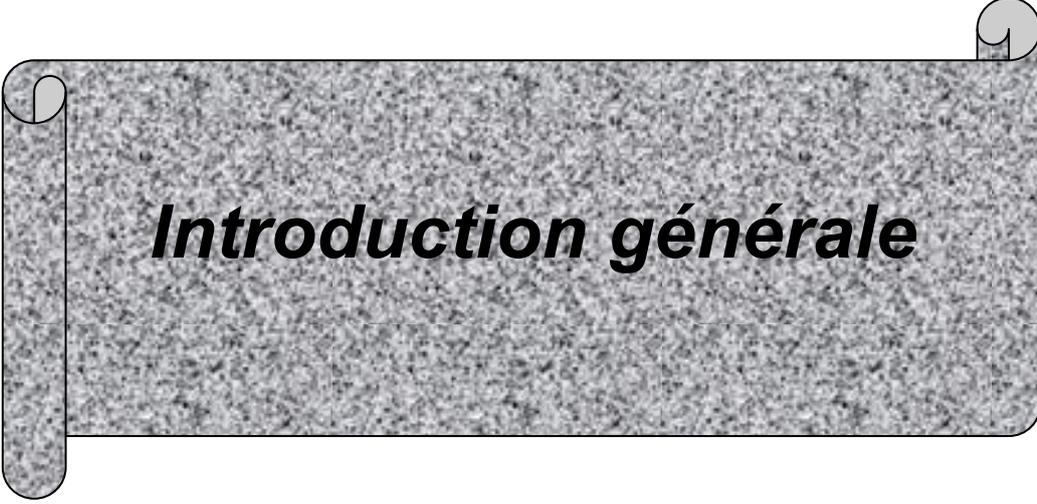
Annexe 10 : normes d'interprétation pour la CE

CE (ms/cm)	Le sol
< 0,6	Non salé
0,6 à 1,2	Peu salé
1,2 à 2,4	Salé
2,4 à 6,0	Très salé
> 6	Extrêmement salé

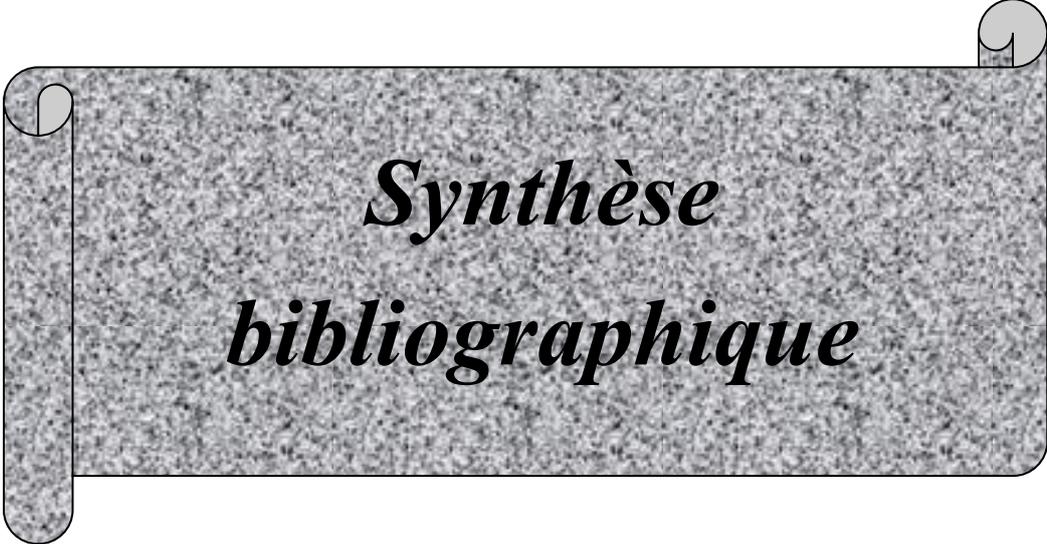
(Baize ,2000)

Annexe 11: normes d'interprétation du calcaire total

Calcaire total en (%)	Le sol
< 5	Non calcaire
5 à 6	Très faible en calcaire
6 à 10	Faible en calcaire
10 à 25	Calcaire
25 à 50	Fortement calcaire
> 50	Très fortement calcaire



Introduction générale

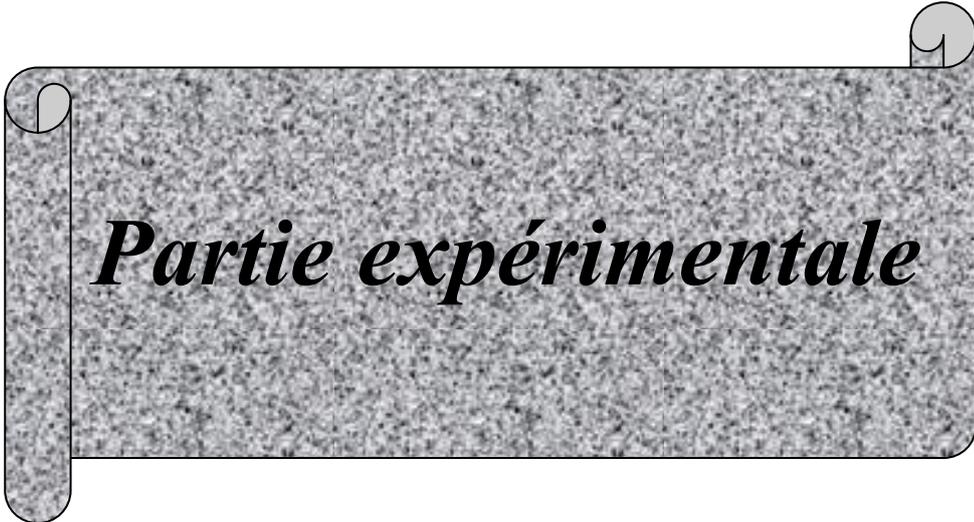


Synthèse
bibliographique

Chapitre I : Les boues d'épurations

Chapitre II : Le sol

***Chapitre III: Mésofaune du sol
(collemboles)***



Partie expérimentale

Chapitre I: Etude du milieu

Chapitre II : Matériels et méthodes

Chapitre III : Résultats et discussions

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes