

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou

Faculté des Science Biologiques

et des Sciences Agronomiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Magister

Spécialité : Sciences Biologiques.

Option : Ecologie et Biodiversité Animale des Ecosystèmes continentaux

Thème

***Impact de la pollution industrielle
générée par l'Électro-Industries
d'Azazga et l'Entreprise Nationale
des Industries Electro-Ménagères
d'Oued Aissi sur la faune du sol.***

Présenté par :

LEMBROUK Lillia

Devant le jury :

M^r LOUNACI A. Professeur à l'U.M.M.T.O.

M^{me} SADOUDI-ALI AHMED DJ. Maitre de conférences A à l'U.M.M.T.O.

M^{me} MEDJDOUB F. Maitre de conférences A à l'U.M.M.T.O.

M^{lle} SETBEL S. Maitre de conférences A à l'U.M.M.T.O.

M^{me} MESSOUS-ALKAMA N. Maitre de conférences B à l'U.M.M.T.O.

Président

Promotrice

Examinatrice

Examinatrice

Examinatrice

SOUTENU LE 30 / 10 /2012



Remerciements

Au terme de ce travail,

Nous tenons, en premier lieu à remercier le Bon Dieu pour le courage et la patience qu'il nous a donné afin de mener ce projet à terme, et il nous est agréable d'exprimer nos remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

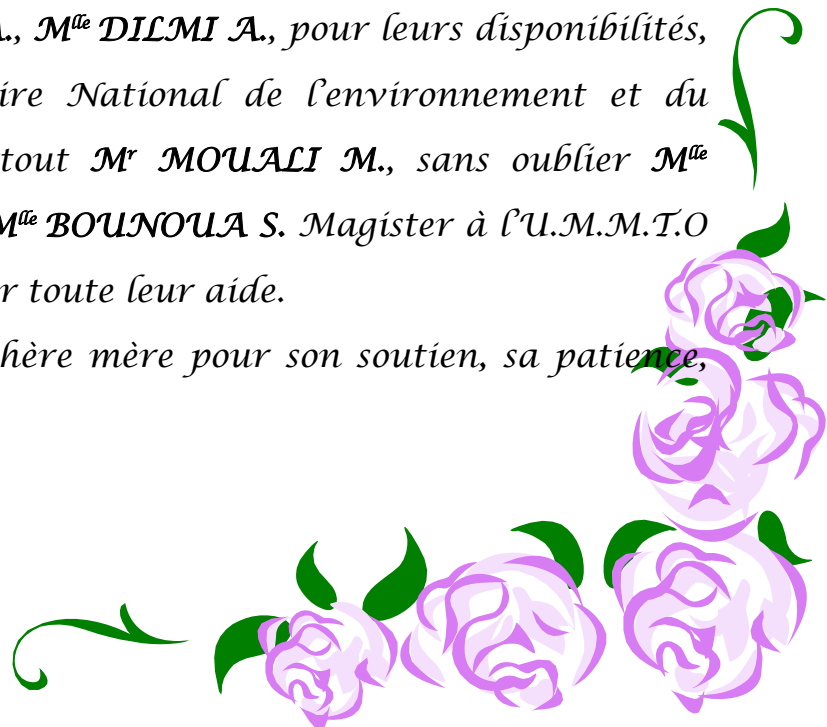
*Mes remerciements vont tout particulièrement à **M^{me} SADOUDI-ALI AHMED DJ.**, maître de conférences A à l'université Mouloud MAMMERRI de Tizi-Ouzou, qui a bien voulu assurer mon encadrement. Je lui dois une immense reconnaissance et un grand respect.*

*J'exprime mes remerciements à **M^r LOUNACI A.**, professeur à l'U.M.M.T.O pour avoir accepté de présider le jury.*

*Mes remerciements vont aussi à tous les membres de jury pour avoir accepté d'examiner mon travail à savoir **M^{me} MEDJDOUB F.**, **M^{me} MESSOUSSE-ALKAMA N.** et **M^{me} SETBEL S.** maîtres de conférences à l'UMMTO.*

*Je tiens à remercier l'ensemble du personnel de l'Institut de Recherche Forestière de Bainem (INRF) pour avoir effectué les analyses de nos échantillons, à savoir **M^r HAMOUDI A.**, **M^{me} DILMI A.**, pour leurs disponibilités, ainsi que le personnel de l'Observatoire National de l'environnement et du développement durable (ONEDD.) surtout **M^r MOUALI M.**, sans oublier **M^{me} SETBEL S.** maître de conférences A et **M^{me} BOUNOUA S.** Magister à l'U.M.M.T.O ainsi que le professeur **DOUMANJI** pour toute leur aide.*

Je voudrais aussi remercier ma chère mère pour son soutien, sa patience, surtout sa compréhension.



Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
-----------------------------	---

Partie I

CHAPITRE I

Généralités sur le sol

I.1. Définition du sol	3
I.2. La pédogenèse.....	3
I.3. Origine et constituants du sol	3
I.4. Propriétés du sol.....	5
I.5. La vie dans le sol.....	7
I.6. Les fonctions du sol.....	8

CHAPITRE II

Diversité de la faune invertébrée du sol

II.1. Classification de la faune du sol.....	9
II.2. Action de la pédofaune sur les propriétés du sol.....	22

CHAPITRE III

Pollution

III.1. Définitions.....	27
III.2. Classification de la pollution.....	28
III.3. Pollution industrielle en Algérie.....	29
III.4. Evolution des techniques de gestion de la pollution industrielle.....	29
III.5. Impacts environnementaux.....	30
III.5.1 Définition de l'impact environnemental.....	30
III.5.2. Impact sur l'environnement.....	30

Partie II

CHAPITRE I

Situation géographique et caractéristiques de la région d'étude.

I. Situation géographique de la région d'étude.....	34
II. Présentation des entreprises étudiées	34

Sommaire

II.1. L'Electro-Industries d'Azazga	35
II.2. L'ENIEM d'Oued-Aissi	39
III. Etude climatique	44
III.1. Températures	44
III.2. Précipitations	45
III.3.Vent.....	46
III.4.Synthèse climatique.....	46

CHAPITRE II

Matériel et Méthodes

I. Matériels et outils utilisé.....	49
I.1. Matériel d'échantillonnage.....	49
I.2. Matériel utilisé au laboratoire.....	50
II. Protocole d'échantillonnage.....	50
II.1.méthode de prélèvement	51
II.2.Méthode d'extraction des micro-organismes et conservation des échantillons.....	51
II.3.Identification et dénombrement de la récolte.....	53
II.4.Analyse pédologique du sol.....	55
II.5.Analyse chimique des métaux lourds.....	57
II.6. Analyse écologique.....	57
II.7.Analyses statistiques.....	59

CHAPITRE III

Résultats et Discussion

I. Caractéristiques pédologiques des sols étudiés.....	61
I.1. La station 1 (E.I).....	61
I.2. La station 2 (ENIEM).....	61
II. Caractérisation chimique des métaux lourds dosés.....	62
III. Caractérisation de la faune récoltée.....	63

Sommaire

III.1. Composition faunistique globale.....	63
III.2. Résultats d'inventaire.....	64
III.3. Variation saisonnière de la pédofaune recensée.....	72
IV. Résultats d'analyse écologique.....	73
IV.1. Qualité d'échantillonnage(Q).....	73
IV.2. Richesse spécifique.....	74
IV.3. Dominance de Berger-Parker.....	76
IV.4. Indice de Shannon-Weaver (H').....	76
IV.5. Equitabilité.....	78
V. Résultats d'analyse statistique.....	79
V.1. Résultats de l'ANOVA.....	79
V.2. Résultats de l'ACP.....	81
V.3. Résultats de l'AFC.....	88
VI. Discussion.....	92
CONCLUSION GENERALE.....	96

Références bibliographiques

Annexes

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Tailles respectives de la pédofaune (microfaune, méso-faune, macrofaune et mégafaune).....	10
Figure 2: Un Protozoaire.....	11
Figure 3: Un Nématode microscopique.....	11
Figure 4: Un ver de terre : <i>Lumbricus terrestris</i>	12
Figure 5 : Gastéropode terrestre	13
Figure 6 : Isopode ; <i>Armadillidium vulgare</i> , rouler en boule.....	12
Figure 7: Des cloportes, <i>Oniscus asellus</i>	14
Figure 8: Diplopode <i>Tachypodoiulus albipes</i>	15
Figure 9: Chilopode.....	15
Figure 10: Symphiles.....	15
Figure 11: Un symphile microscopique.....	16
Figure 12: Solifuge.....	16
Figure 13: <i>Dysdera crocata</i>	16
Figure 14: Acarien Orbitat.....	17
Figure 15: Aranéides.....	17
Figure 16: Opilion de genre <i>Trogulus sp</i> vu sous loupe binoculaire.....	18
Figure 17: Pseudo-scorpions.....	18
Figure 18: Collemboles vus sous loupe binoculaire.....	19
Figure 19: Des Termites.....	19
Figure 20: Fourmis <i>Messor structor</i> vus à l'œil nu.....	20

LISTE DES FIGURES

Figure 21 : Diptère, larve et adulte de tipulidés.....	21
Figure 22 : Coléoptère Carabidés.....	21
Figure 23: situation géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou.....	34
Figure 24: Situation géographique des stations d'étude.....	35
Figure 25 : Vue satellitaire de l'implantation de l'EI.....	36
Figure 26 : Aires de stockage des déchets à l'EI.....	38
Figure 27: Localisation de l'ENIEM.....	40
Figure 28: Aires de stockage des déchets à l'ENIEM.....	41
Figure 29: Vues du canal de sortie de l'ENIEM.....	43
Figure 30: Evolution des températures moyennes mensuelles dans la région de Tizi-Ouzou.....	45
Figure 31 : Courbe des variations mensuelles des précipitations pour la région de T.O.....	46
Figure 32: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour la station météorologique de Boukhalfa (2001-2011).....	47
Figure 33: Projection de la zone d'étude sur le climagramme d'Emberger.....	48
Figure 34: Matériel d'échantillonnage.....	49
Figure 35: Matériel utilisé au laboratoire.....	50
Figure 36: Appareil de Berlese-Tullgren simplifié.....	52
Figure 37: Le tri de la pédofaune.....	53
Figure 38: Conservation des échantillons.....	54
Figure 39 : Abondance relative des individus recensés dans le sol témoin de l'EI.....	64
Figure 40 : Abondance relative des individus recensés dans le sol pollué de l'EI.....	64
Figure 41: Espèces de pédofaune inventoriées dans le sol témoin de l'EI.....	66

LISTE DES FIGURES

Figure 42: Espèces de pédofaune inventoriées dans le sol pollué de l'EI.....	67
Figure 43: Abondance relative des individus recensés dans le sol témoin de l'ENIEM.....	69
Figure 44 : Abondance relative des individus recensés dans le sol pollué de l'ENIEM.....	69
Figure 45 : Espèces de pédofaune inventoriées dans le sol témoin de l'ENIEM.....	70
Figure 46 : Espèces de pédofaune inventoriées dans le sol pollué de l'ENIEM.....	71
Figure 47 : Variation saisonnière de la pédofaune recensée à l'EI.....	72
Figure 48: Variation saisonnière de la pédofaune recensée à l'ENIEM.....	73
Figure 49 : Richesse spécifique de l'EI.....	75
Figure 50: Richesse spécifique de l'ENIEM.....	75
Figure 51 : Indice de Shannon-Weaver pour l'EI.....	77
Figure 52: Indice de Shannon-Weaver pour l'ENIEM.....	77
Figure 53: Equitabilité de l'EI.....	78
Figure 54: Equitabilité de l'ENIEM.....	79
Figure 55: ACP représentative de la distribution des paramètres environnementaux de l'EI.....	82
Figure 56: ACP représentative de la distribution des groupes de faune récoltée dans le sol pollué de l'EI.....	83
Figure 57: Dendrogramme visualisant les relations entre les variables environnementales à l'EI.....	83
Figure 58: Dendrogramme visualisant les relations entre les groupes de faune récoltée à l'EI.....	84
Figure 59: ACP représentative de la distribution des paramètres environnementaux de l'ENIEM.....	85
Figure 60: ACP représentative de la distribution des groupes de faune récoltée de l'ENIEM.....	86

LISTE DES FIGURES

Figure 61: Dendrogramme visualisant les relations entre les variables environnementales à l'ENIEM.....	87
Figure 62: Dendrogramme visualisant les relations entre les groupes de faune récoltée à l'ENIEM.....	88
Figure 63: Distribution et noyaux d'affinité des espèces et des niveaux dans le plan factoriel $F1 \times F2$. A l'EI.....	89
Figure 64: Distribution et noyaux d'affinité des espèces et des niveaux dans le plan factoriel $F1 \times F2$. A l'ENIEM.....	91

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Origine et principaux constituants du sol.....	4
Tableau 2 : Principaux groupes composant la pédofaune et leur rôle au sein de l'écosystème sol.....	25
Tableau 3 : Coordonnés de l'Electro-Industries.....	36
Tableau 4 : Traitement des déchets solides utilisés au niveau de l'EI.....	37
Tableau 5 : Coordonnés de l'ENIEM	40
Tableau 6 : Les déchets produits annuellement par l'ENIEM.....	42
Tableau 7 : Résultats des analyses physicochimiques des sols de l'E.I.....	61
Tableau 8 : Résultats des analyses physicochimiques des sols de l'ENIEM.....	62
Tableau 9 : Résultats des analyses chimiques des métaux lourds des sols de l'E.I et de l'ENIEM.....	62
Tableau 10 : Ensemble des groupes faunistiques identifiés dans les stations étudiées.....	63
Tableau 11 : Abondance des classes de pédofaune récoltée dans les sols témoin et pollué de l'EI.....	64
Tableau 12 : Abondance des classes de pédofaune récoltée dans les sols témoin et pollué de l'ENIEM.....	69
Tableau 13 : Résultats de la qualité d'échantillonnage de l'EI.....	74
Tableau 14 : Résultats de la qualité d'échantillonnage de l'ENIEM.....	74
Tableau 15 : Dominance de Berger-Parker de la station de l'EI.....	76
Tableau 16 : Dominance de Berger-Parker de la station de l'ENIEM.....	76
Tableau 17 : Résultats de l'analyse de la variance pour la station de l'EI.....	79

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 18:</i> Résultats du test de NEWMAN-KEULS pour les facteurs pollution et profondeur à l'EI.....	80
<i>Tableau 19:</i> Résultats du test de NEWMAN-KEULS pour l'interaction des facteurs pollution et saison à l'EI.....	80
<i>Tableau 20:</i> Résultats de l'analyse de la variance pour la station de l'ENIEM.....	81

Résumé

De nos jours, il est universellement admis qu'aucun développement économique n'est possible sans une gestion rationnelle de l'environnement, mais l'industrialisation ne permet pas cela ; car ses effets globaux se révèlent catastrophiques pour toutes les espèces : faune, flore, y compris l'Homme à court, moyen ou lent terme. C'est pour cela que la protection de l'environnement et de la diversité biologique constituent un réel défi pour notre société, tandis que se mettent en place des mesures pratiques et légales de conservation du milieu dans le cadre du développement durable. C'est le cas du projet "Sama Safia" en Algérie, ainsi que celui de "Dounia El madina", mais la pollution industrielle générée dépasse ces projets.

C'est dans ce contexte que nous avons entrepris une étude sur l'impact de la pollution industrielle du rejet final de deux grandes entreprises industrielles de la wilaya de Tizi-Ouzou sur la pédofaune ; à savoir l'Electro-Industries d'Azazga et l'Entreprise Nationale des Industries d'ElectroMénagers de Oued Aissi.

Dans cette étude nous avons opté pour la méthode du quadra (25×30 cm) avec trois niveaux de profondeur : N1 (0-10 cm), N2 (10-20 cm), N3 (20-30 cm) et trois prélèvements durant les trois saisons étudiées (hiver, printemps, été) tout en comparant un sol pollué à un autre témoin. Une fois au laboratoire, le sol échantillonné est trié à l'œil nu et l'extraction est réalisée par la technique de Berlese Tulgréne simplifiée. Les animaux recueillis sont triés, identifiés puis dénombrés. En plus de l'inventaire réalisé, d'autres analyses sont effectuées sur le sol à savoir : la granulométrie, le pH, la M.O. ainsi que le dosage des métaux lourds.

A la lumière des résultats obtenus, nous avons recensé 18 Ordres répartis en 60 familles et 102 espèces.

Par comparaison du sol pollué au sol témoin à l'EI. le deuxième montre un effectif de 767 individus appartenant à 79 espèces, qui est moins important par rapport au premier qui présente 1544 individus appartenant à 79 espèces. Cela serait dû à la grande richesse du rejet industriel de l'EI en MO. C'est aussi le cas de l'ENIEM. où le sol pollué montre une diversité et une abondance moins importantes (399 individus pour 79 espèces) par rapport au sol témoin (948 individus pour 79 espèces) avec l'apparition visible de l'action saisonnière, l'effet de la profondeur et de la pollution grâce aux Gastéropodes qui sont bio-indicateurs.

Mots clés : sol, pédofaune, rejet industriel, pollution, espèces indicatrices.

Summary

Nowadays, it is universally accepted that no economic development is not possible without a rational management of the environment, industrialization does not allow this, because its overall effects are proving disastrous for all species: fauna, flora including man short, medium or slow run. This is why the protection of the environment and biodiversity is a real challenge for our society, while being put in place practical measures and legal environment conservation in the context of sustainable development (Yaakoubi et al ., 2009). This is the case of the " Sama Safia " in Algeria, as well as that of " Dounia El madina", but industrial pollution generated exceeds these projects.

It is in this context that we undertook a study on the impact of industrial pollution in the final discharge of two large industrial enterprises in the wilaya of Tizi-Ouzou on soil fauna, namely the Electro-Industries in Azazga and National Industries Company appliances in Oued Aissi.

In this study we opted for the method of quadratic (25 × 30 cm) with three levels deep: N1 (0-10 cm), N2 (10-20 cm), N3 (20-30 cm) and three samples during studied three seasons (winter, spring, summer) while comparing polluted soil to another witness. Once in the laboratory, soil sampled is sorted to the naked eye and extraction is carried out by the technique of Berlese Tulgréne simplified. Animals collected are sorted, identified and counted. In addition to the inventory carried out, further analyzes are performed on the ground ie particle size, pH, OM and the determination of heavy metals.

In light of the results obtained, we identified 18 orders distributed in 60 families and 102 species with the appearance of visible action seasonal effect of depth and pollution with gastropods which are bio-indicators.

Keywords: soil, soil fauna, industrial waste, pollution indicator species.

Introduction

Le sol, à l'échelle de la planète, est une très mince couche de terre recouvrant les roches émergées. Malgré cela, c'est un système complexe et dynamique, responsable de nombreuses fonctions naturelles, en interaction directe avec les autres compartiments de l'écosphère. Cet écosystème est à la fois un support pour les êtres vivants, un réservoir de matières organiques et minérales, un régulateur des échanges et des flux, un lieu de transformation de la matière organique et un système épurateur de substances toxiques. Il est indispensable à la vie qu'il abrite, et c'est en retour la vie biologique qui participe activement à sa formation (pédogénèse) à partir de la roche mère (GOBAT *et al.*, 2003).

En plus des racines des plantes et de la microflore, le sol abrite de nombreux représentants de la faune : appelée pédofaune. Cette communauté rassemble les organismes présents de manière permanente ou temporaire dans le sol, à sa surface, ou dans ses annexes (bois mort, sous les pierres,...). Elle est représentée par de nombreux taxons comprenant eux même des centaines voire des milliers d'espèces (BACHELIER, 1978).

Le concept de qualité des sols est relié à celui de la durabilité afin d'assurer un fonctionnement satisfaisant pour les générations futures, mais la pollution provoquée par la présence de substances ou d'organismes générés des activités humaines (agriculture, industries,...), sur ou dans le sol sont préjudiciables directement ou indirectement à la qualité de ce sol (NICOLAS, 1997). L'évaluation de cette qualité se fait par des indicateurs chimiques, physiques et biologiques qui sont plus sensibles aux aménagements et aux perturbations.

Avec l'ampleur de la croissance démographique que connaît notre planète, les effets directs de l'activité humaine sur les systèmes écologiques et leur biodiversité constituent une préoccupation mondiale majeure (GREEN *et al.*, 2005) ; et, à l'heure où la qualité de l'environnement est devenue une préoccupation essentielle en matière de qualité de vie, on s'entend souvent poser une question simple mais à la réponse complexe « ce terrain est-il pollué ? ».

C'est pour cela que la protection de l'environnement et de la diversité biologique constituent un réel défi pour notre société, tandis que se mettent en place des mesures pratiques et légales de conservation du milieu dans le cadre du développement durable (YAAKOUBI *et al.*, 2009). C'est le cas du projet "Sama Safia" en Algérie, ainsi que celui de "Dounia Elmadina", mais la pollution industrielle générée dépasse ces projets.

Introduction

C'est dans ce contexte, que s'inscrit notre travail dont l'objectif est l'estimation de l'impact de la pollution industrielle sur la pédofaune dans le but de définir l'impact des polluants du rejet industriel sur la faune du sol.

Pour bien répondre à cette thématique, nous avons opté pour une comparaison entre un site pollué et un autre sein, situés dans les dairas d'Azazga et de Tizi Rached, dont les grandes potentialités industrielles font d'elles des centres d'intérêt majeurs, à savoir Electro-Industries d'Azazga et l'ENIEM de Oued-Aissi.

Nous avons adopté la méthode du quadrat (25×30 cm) et les prélèvements sont réalisés à trois profondeurs différentes : 0-10 cm ; 10-20 cm et 20-30 cm. Le travail a été réalisé durant les trois saisons de l'année 2012 (Hiver, Printemps et Eté) à raison de trois prélèvements par saison. L'extraction est de la faune s'est faite par la technique de Berlese Tulgren modifiée.

Nous avons organisé notre travail en deux parties avec quatre chapitres pour chaque une, répartis comme suit :

Partie I :

Chapitre I : Généralités sur le sol, et la pollution industrielle.

Chapitre II : Diversité de la faune invertébrée du sol.

Chapitre III : Polluants.

Partie II :

Chapitre I : Situation géographique et caractéristiques de la région d'étude.

Chapitre II : Matériels et méthodes.

Chapitre III: Résultats et discussion avec une conclusion générale pour clore notre travail.

INTRODUCTION

Partie I

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE SOL

En écologie, un sol est un écotone, à l'interface entre deux ou plusieurs milieux. Il est plus complexe et plus riche que la roche et les trois milieux qui l'entourent, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère (SOLTNER, 2005).

Le sol a pris naissance avec la vie, il y a très longtemps, bien avant l'Homme. Depuis que l'Homme existe, le sol l'accompagne : des civilisations se sont construites et détruites en fonction de l'évolution anthropique des sols (KOLLER, 2004).

1.1. Définition du sol

Le sol est une entité naturelle, superficielle et souvent meuble, résultant de la transformation au contact de l'atmosphère et des êtres vivants. Il est issu le plus souvent d'une roche sous-jacente, sous l'influence des processus physiques, chimiques, et biologiques (GIRARD *et al.*, 2005). C'est un milieu biologique différencié en horizons d'épaisseur variable où se développe une activité intense des plantes, des animaux et des bactéries qui, par leurs actions, agissent sur le sol pour un bon équilibre (DEPRINCE, 2003).

1.2. La pédogenèse

La pédogenèse est la formation et l'évolution des sols. Cette formation est un processus extrêmement lent : un centimètre par siècle en moyenne. La roche mère se fragmente peu à peu sous l'action des facteurs du milieu. Une couche d'humus se forme en surface et s'incorpore peu à peu dans le sol sous l'action de la microfaune (vers de terre, larves d'insectes, etc.) (LOZET et MATHIEU, 1997).

Selon les mêmes auteurs, le sol apparaît, s'approfondit et se différencie en strates superposées : les horizons pédologiques, qui forment le profil pédologique. Il atteint finalement un état d'équilibre avec la végétation et le climat.

1.3. Origine et constituants du sol

Au cours du temps, le sol s'épaissit et se modifie ; il acquiert des constituants (matières organiques, argiles,...) et des structures (agrégats, horizons,...) qui lui sont spécifiques. Il provient de la décomposition et de l'altération des roches par l'action de l'eau, de l'air et des êtres vivants (SOLTNER, 2005).

La fabrication du matériau qui deviendra le sol par altération des roches est un phénomène lent (l'échelle est celle du siècle et du millénaire). Cependant, les principales

propriétés des sols peuvent évoluer très vite : c'est le cas de la structure, de la porosité de l'activité biologique et des teneurs en certains éléments nutritifs (GOBAT *et al.*, 2003).

Le tableau 1 résume l'origine et les principaux constituants du sol.

Tableau 1 : Origine et principaux constituants du sol (SOLTNER, 2005).

	<i>Constituants solides</i>		<i>Constituants liquides (solution du sol)</i>	<i>Constituants gazeux (atmosphère du sol)</i>
	<i>Minéraux</i>	<i>Organiques</i>		
Origine	Désagrégation physique et altération biochimique des roches.	Décomposition des être vivants.	Précipitations, nappes, ruissellement.	Air hors sol, matières en décomposition, respiration.
Critères de classement	Taille (granulométrie) Qualité (minéralogie)	Etat (vivant, mort) Qualité chimique (originelle, transformée).	Origine (météorique, phréatique) Etat physique (potentiel hydrique) qualité chimique.	Origine (air, organismes) Qualité chimique
Catégories	<ul style="list-style-type: none"> • Selon la granulométrie · Le squelette (>2mm) Terre fine (<2mm) • Selon la minéralogie · Quartz · Minéraux silicatés · Min. · Carbonatés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Organismes vivants • Organismes morts • Matières organiques héritées : Cellulose, lignine, résine • Matières organiques humifiées : acides fluviqes et humiques, humines. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eau • Substances dissoutes : <ul style="list-style-type: none"> · Glucides, · Alcools, · Acides · Organiques · Minéraux · Cations · Anions. 	Gaz de l'air : N ₂ , O ₂ , CO ₂ Gaz issu de la respiration et de la décomposition des organismes : CO ₂ , H ₂ , CH ₂ , NH ₃ .

1.4. Propriétés du sol

Le sol est l'épiderme vivant et vital des continents de la terre. Il se forme lentement, mais ses propriétés évoluent rapidement. Ces dernières sont conférées par les constituants du

sol qui interagissent. Leurs proportions, leur variabilité spatio-temporelle, la vitesse des flux qui les relie influencent le fonctionnement du système (GOBAT *et al.*, 2010).

1.4.1. Propriétés physiques

1.4.1.1. La texture

D'après DUCHAUFOR (1994), la texture correspond à la répartition des minéraux par catégories de grosseur. Elle varie à court terme et dépend directement de la matière organique et du taux d'humidité. Elle se décrit à deux niveaux ; à l'échelle macroscopique observable à l'œil nu et à l'échelle microscopique dite micro-culture ou micromorphologie (GOBAT *et al.*, 2003).

La texture du sol s'établit selon les proportions des particules de sable, de limon et d'argile dont il est constitué. Ces particules sont classées en fonction de leur diamètre. Ces particules de sable sont les plus grosses et les particules d'argile sont les plus fines (PONGE et ROBERT, 1996).

1.4.1.2. La structure

La structure du sol désigne la texture et la disposition des particules qui le composent (DEPRINCE, 2003). Elle traduit la façon dont les particules terreuses sont disposées les unes par rapport aux autres. Elle résulte de la force de cohésion de l'argile et de l'humus qui tendent à agglomérer entre elle les particules (CALVET, 2003).

Selon KOLLER (2004), il existe divers types de structures: structure élémentaire ou particulaire, structure fragmentaire et structure massive ou compacte.

1.4.1.3. La porosité

La porosité d'une couche du sol en place est la partie d'un volume unitaire qui n'est pas occupé par la phase solide. Elle se détermine à partir de la mesure de la densité apparente (d_a) (poids de terre sèche par unité de volume apparent) et de la densité ou du poids spécifique réel (d_r) de la phase solide (KOLLER, 2004). C'est le réseau dans lequel circulent l'eau et les gaz.

Selon la taille des pores la porosité se divise en macroporosité, mesoporosité et microporosité (GOBAT *et al.*, 2010).

L'aération a d'importantes conséquences sur la plupart des phénomènes biologiques du sol, qu'il s'agisse de conséquences sur l'implantation et le fonctionnement du système racinaire ou de l'activité des micro-organismes (KOLLER, 2004). Un sol très compact, à

faible porosité, peut s'opposer aux migrations verticales d'animaux sensibles aux variations de température ou d'humidité et peut limiter ou interdire leur existence (PESSON, 1971).

1.4.1. 4. La perméabilité

La perméabilité est l'aptitude du sol à passer l'eau vers les couches inférieures. Elle dépend de la texture et de la structure. Sa détermination est nécessaire au calcul de réseaux de drainage, mais elle est délicate, quelque soit la méthode utilisée, car elle ne peut intervenir que sur un matériau non remanié (KOLLER, 2004).

1.4.1.5. L'humidité du sol

L'humidité du sol a une influence sur la conductivité et la capacité thermique, donc sur les variations de température en fonction de la profondeur et du temps. Pour la pédofaune, l'eau est un facteur primordial, l'excès comme l'insuffisance lui est néfaste (GOBAT *et al.*, 2003).

La capacité de rétention de l'eau dans les sols varie en fonction de leur porosité. Elle se mesure généralement en pourcentage de l'eau contenue dans un sol par rapport au volume total de terre (RAMADE, 2003). Cette capacité agit sur les vers de terre ; quand le sol se dessèche, ces derniers ne meurent pas, mais ils s'enfoncent dans le sol, se roulent en boule et se déshydratent en perdant jusqu'à la moitié de leur eau (PESSON, 1971).

1.4.1.6. La température du sol

La température influence la vitesse et l'intensité de nombreux processus biologiques et physiques (KOLLER, 2004). Elle varie très peu en profondeur, comme elle reste, pour les animaux du sol, un facteur limitant très important. Chaque espèce possède une température préférentielle pour son activité et les variations de celle-ci déterminent une migration verticale de la faune (BACHELIER, 1963). Ainsi selon PESSON, 1971. Le froid ralentit les activités vitales des animaux et le gel contribue à la mort de nombreuses espèces : les acariens peuvent résister 3 à 4 jours à -12°C, et les collemboles meurent par un froid de quelques degrés en dessous de zéro. Les fortes températures quant à elles influencent la respiration cutanée de la plupart des animaux.

I.4.2. Propriétés chimiques

I.4.2.1.pH

Le pH est indice, traduisant le degré d'acidité et de basicité du milieu, est exprimé par le logarithme de l'inverse de la concentration en ions H_3O^+ (KOLLER, 2004). Il est calculé selon la formule suivante :

$$\text{pH} = \log (1/H^+)$$

Le pH varie selon les saisons et le pouvoir tampon (GOBAT *et al.*, 2003). De nombreux animaux ne peuvent vivre qu'entre certaines limites de pH bien précises, d'autres, au contraire, sont très tolérants aux variations d'acidité du milieu (BACHELIER, 1978).

I.4.2.2. le pouvoir tampon

C'est la capacité du sol à réduire ses variations de pH en cas d'apport d'acides ou de bases. La connaissance du pouvoir tampon permet d'évaluer le degré d'évolution d'un sol ainsi que sa résistance potentielle aux polluants atmosphériques. Ce pouvoir est d'autant plus élevé quand la capacité d'échange cationique du sol est importante (GOBAT *et al.*, 2003).

I.4.2.3. La capacité d'échange cationique(CEC)

C'est la quantité maximale de charges cationiques qu'une masse de sol peut fixer et échanger ; autrement dit elle exprime l'aptitude d'un sol à retenir des cations sous forme échangeable. Elle permet de caractériser les sols du point de vue régulation de la composition ionique de la solution du sol (GOBAT *et al.*, 2003). La CEC est intéressante puisqu'elle est reliée à des processus très importants comme la nutrition minérale des végétaux et la rétention des polluants métalliques (CALVET, 2003).

I.4.3. Propriétés biologiques

Les caractéristiques biologiques des sols dépendent de la matière organique où l'humus désigne le mélange complexe de matière organique dans le sol.

Le terme humus peut s'appliquer suivant les auteurs aux horizons organiques du sol incluant la litière ou bien aux horizons se situant sous la litière qui sont composés de matières organiques transformées par les décomposeurs vivants des sols (PONGE *et* ROBERT, 1996).

I.5. La vie dans le sol

GOBAT *et al.*,(2010) soulignent que les sols sains abritent d'innombrables formes de vie depuis les champignons microscopiques, les bactéries, les algues, les protozoaires et les nématodes, jusqu'aux organismes plus grands comme les collemboles, les fourmis, les

lombrics et les taupes). Ces organismes contribuent directement dans l'aération du sol et le transport de l'humus de la surface vers les couches inférieures.

Ces sols, au cours de leur évolution, renferment une faune de plus en plus variée et généralement les espèces apparues, à un moment donné, tendent à demeurer dans la communauté vivante où l'évolution du milieu maintient pour elles des conditions de vie possibles (BACHELIER, 1978 ; DEPRINCE, 2003).

1.6. Les fonctions du sol

La notion de sol vivant n'apparaît pas discutable, si l'on considère que le nombre d'organismes présents dans une cuillère à café (10g) de sol fertile peut excéder 9 milliards, et est supérieur au nombre d'êtres humains présents sur la planète (DORAN *et al.*, 1999).

Selon BACHELIER, 1978, le sol présente des utilités diverses pour les sociétés humaines et pour tous les organismes vivants :

- Il nourrit le monde, il produit, contient et accumule tous les éléments nécessaires à la vie (azote, phosphore, calcium, potassium, fer, oligoéléments,...), y compris l'air et l'eau. Le sol joue un rôle de garde-mangé, plus ou moins grand et plus ou moins rempli.
- C'est un composant fondamental du cycle des eaux continentales : après une pluie, les sols poreux évitent le ruissellement et contribuent à l'alimentation des nappes phréatiques. La porosité des sols détermine la proportion de l'eau qui ruisselle et de l'eau qui s'infiltre dans les sols.
- Le sol filtre et épure les eaux qui le traversent en influençant leur composition chimique et biologique suite à la pollution (activités industrielles ou agricoles).
- Le sol influence la composition de l'atmosphère, il stocke et relâche des gaz à effet de serre comme il est un puits pour le carbone (matière organique);
- C'est le lieu de vie dont le passage est obligé pour de nombreuses espèces animales et végétales ainsi que de nombreux cycles ;
- Il représente une vaste réserve génétique qui abrite et influence une grande partie de la biodiversité terrestre où l'activité biologique est essentielle à sa construction, à son fonctionnement ainsi qu'à sa fertilité ;
- L'ensemble des interactions entre le milieu et les organismes vivants induisent un certain nombre de fonctions écologiques et environnementales qui se regroupent dans la notion de fonctionnement biologique des sols.

CHAPITRE II

DIVERSITE DE LA FAUNE
INVERTEBREE DU SOL

Pour la faune du sol, la couverture pédologique représente une diversité d'habitats par sa composition physique et chimique très variables. Cette dernière exerce des contraintes sur les stratégies adaptatives des différents taxons et offre ainsi des niches trophiques multiples (GIRARD, 2005).

Actuellement, la faune du sol représente plus de 80 % de la biodiversité animale dont les plus importants représentants, les vers de terre, constituent la première biomasse animale terrestre. Tous ces animaux, souterrains interagissent avec leur milieu, tout en ayant un impact sur sa structure et sa composition (GOBAT *et al.*, 2003).

II.1.Classification de la faune du sol

L'histoire de la biologie du sol montre qu'il faut identifier les animaux avec un maximum d'exactitude. C'est pourquoi la systématique, qui fût la première discipline des sciences naturelles, garde son actualité (GOBAT *et al.*, 2003).

Une classification plus fonctionnelle peut être utilisée en liant les organismes à leur milieu et notamment aux ressources qu'ils proposent (alimentation et habitat). La taille, le régime alimentaire, la position dans le sol, les adaptations morphologiques, les modes de progression, la durée de présence dans le sol constituent d'autres paramètres de classification de la pédofaune (FREYSSINEL, 2007) (Voir annexe 2).

II.1.1.Classement en fonction de la taille

La pédofaune est subdivisée en quatre catégories selon sa taille (figure 1) :

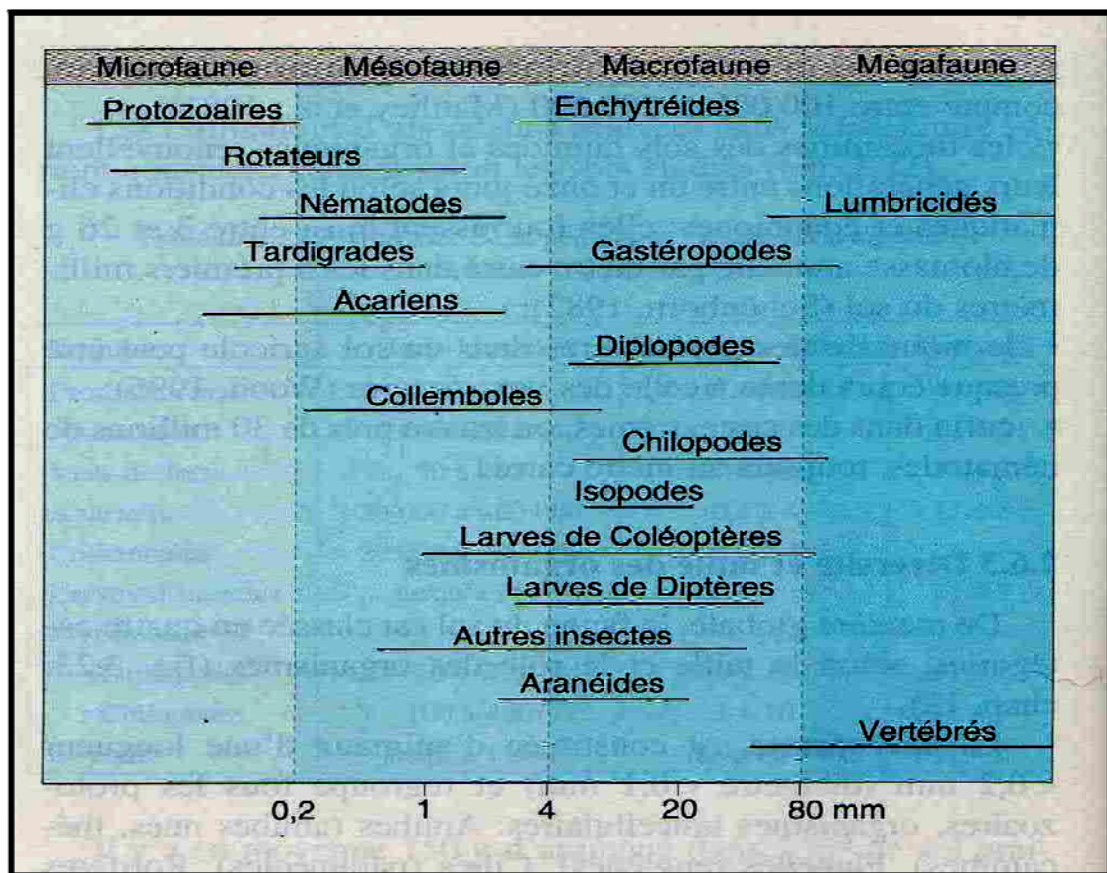


Figure 1: Tailles respectives de la pédofaune (microfaune, méso-faune, macrofaune et mégafaune) (GOBAT *et al.*, 2010).

II.1.2. Classement en fonction des groupes taxinomiques

En biologie, les niveaux systématiques constituent la classification couramment utilisée ; ils divisent les êtres vivants selon le règne, l'embranchement, la classe, l'ordre, la famille, le genre et l'espèce. Ce classement est basé sur les caractères génétiques et phénotypiques (FREYSSINEL, 2007).

II.1.2.1. Protozoaires (Protistes)

Protozoaires est le nom donné aux organismes unicellulaires apparentés au règne animal, certains vivant en colonies. Ils appartiennent au règne des protistes de même que d'autres organismes unicellulaires dont le noyau est entouré d'une membrane (CLARHOLM, 1985 ; BENCKISER, 1997 ; GOBAT *et al.*, 2003).

Dans le sol existe trois grands groupes de protozoaires: les Ciliés, les Flagellés et les Rhizopodes. Ils comprennent des Amibes nues et des Thécamoebiens (COINEAU, 1974) (Figure 2).

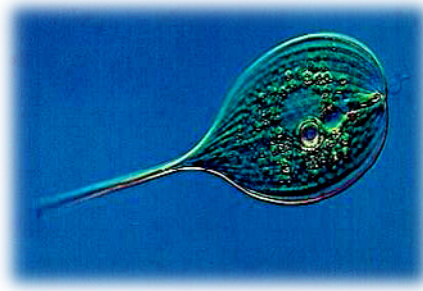


Figure 2 : Un Protozoaire (DEPRINCE ,2003)

II.1.2.2. Nématodes (Némathelminthes)

Nématodes est le nom courant des membres d'un embranchement de vers ronds terrestres, d'eau douce ou marins. De tous les organismes pluricellulaires, les nématodes sont certainement les animaux les plus abondants et les plus répandus sur le globe, notamment dans les sols riches en matières organiques et à régime assez humide. Ils se rencontrent principalement dans les 10 ou 20 premiers centimètres des sols, où l'on peut en trouver, selon les circonstances, de 1 à 30 millions au mètre carré (BACHELIER, 1963) (Figure 3).

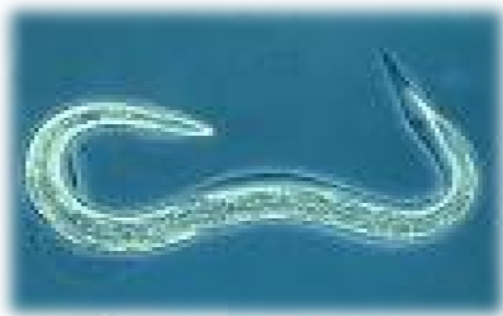


Figure 3: Un Nématode microscopique (DEPRINCE ,2003)

II.1.2.3. Annélides

C'est un embranchement groupant les vers annelés et renfermant environ 9 000 espèces avec trois classes principales:

- les polychètes (environ 5 300 espèces) dont la plupart sont marins et souvent luminescents ;
- les oligochètes (environ 3 000 espèces), avec une majorité d'espèces vivant dans les eaux douces ou dans le sol comme le lombric ;
- les achètes (environ 300 espèces), majoritairement dulcicoles comme les sangsues, mais dont certaines formes sont marines ou terrestres.

Les vers de terre sont des invertébrés appartenant à l'embranchement des annélides avec un corps segmenté et une série d'anneaux caractéristique de leur principale évolution. Ils appartiennent à l'ordre des Oligochètes avec la famille des Lumbricidés comme la plus importante et probablement la plus récente en terme évolutif (EDWARDS *et* BOLHEN, 1996 ; GERALD, 2000 *in* MORIN, 2002).

La plupart des vers de terre ont une période de diapause en été. Ils demeurent enroulés sur eux-mêmes dans une cavité sphérique consolidée par une sécrétion, mais leurs cellules d'estivation peuvent ultérieurement se trouver fossilisées par un remplissage de terre humifère entraînée en profondeur, ou un dépôt de CaCO_3 , dans les sols calcaires. En hiver, les vers ralentissent leur activité et meurent s'ils ne peuvent s'enfoncer, mais ils n'hibernent pas et restent toujours plus ou moins actifs ; sans oublier que le printemps et l'automne sont les deux périodes d'intense activité pour eux (BACHELIER, 1963). Ces vers de terre ont une part significative de la macrofaune dans tous types de sols à l'exception des milieux arides et des régions glaciaires (EDWARDS *et* BOHLEN, 1996 *in* GOBAT *et al.*, 2003).

Les vers décomposent la matière organique, aident les bactéries et les champignons en conduisant à la libération d'éléments simples (NPK) directement assimilables par les plantes (LAVELLE, 2003) (Figure 4).



Figure 4: Un ver de terre : *Lumbricus terrestris* (ORIGINELLE, 2012).

II.1.2.4. Gastéropodes (escargots, limaces)

Ce sont des animaux à corps mou appartenant à l'embranchement des Mollusques qui sont bien représentés dans les sols par les escargots (du grec *gastêr*, « estomac » ; *pous*, « pied ») et les limaces qui, pour la plupart, se nourrissent en surface, quand l'humidité du milieu est satisfaisante. Certains petits escargots sont typiquement édaphiques et peuvent se rencontrer dans les sols poreux et de préférence calcaires (BACHELIER, 1963).

Les escargots sont des invertébrés sans segmentation qui ont un corps protégé par une coquille de calcaire. En revanche, les limaces et les escargots sont particulièrement actifs dans les dix premiers centimètres du sol par temps chaud et humide. Ils se nourrissent de divers tissus végétaux dont certaines espèces sont considérées comme d'importants ravageurs (DAVIDE, 2002 ; VERON, 2002) (Figure 5).



Figure 5: Gastéropode terrestre *Rumina decollata* (ORIGINELLE, 2012).

II.1.2.5. Isopodes :

Les isopodes sont des crustacés supérieurs appartenant à l'embranchement des Arthropodes et à la sous classe des Malacostracés. Ils appartiennent à la macrofaune, d'une taille de 5 à 20 mm, avec une forme ovale, un corps aplati et une couleur souvent grise marbrée, parfois blanche. Ils se nourrissent essentiellement de matières organiques d'origine végétale et favorisent les processus naturels d'humification (BACHELIER, 1978). La plupart peut se rouler (GOBAT *et al*, 2003). Ces organismes s'adaptent aux milieux humides et secs ; ils sont actifs durant la belle saison et subissent une diapause hivernale (BACHELIER, 1963) (Figure 6, 7).



Figure 6: Isopode ; *Armadillidium vulgare* (ANONYME, 2001).



Figure 7: Des cloportes, *Oniscus asellus* (ANONYME, 2001).

II.1.2.6. Myriapodes

Les Myriapodes, groupe d'environ mille espèces d'Arthropodes, au corps cylindrique porteur de nombreuses paires de pattes sont communément appelés, pour cette raison, mille-pattes. De répartition mondiale, les myriapodes ont un corps segmenté comprenant neuf à cent segments abdominaux en fonction de l'espèce et quatre segments thoraciques. En raison de leurs nombreuses pattes, ces animaux se déplacent lentement, avec un mouvement d'ondulation le long du corps. Leur longueur va de 0,5 à 23 cm (GOBAT *et al.*, 2003).

Les mille-pattes ont une couche protectrice dure de chitine et riche en calcium (sauf les plus petites espèces) c'est pour cela qu'elles résistent à la saturation du sol en eau et peuvent vivre en milieux sombres et humides. Ces animaux se nourrissent de petits arthropodes et de végétaux en décomposition (BACHELIER, 1978).

II.1.2.6.1. Diplopodes

Ce sont des myriapodes progonéates à corps allongé ou globuleux, de 11 à 100 anneaux et portant deux paires de pattes et des téguments durs. Leur squelette contient des inclusions minérales, leur tête porte une paire d'antennes courtes latérales. Ils disposent de glandes répugnatoires dont les produits excrétés sont toxiques et souvent destinés à la défense. Les Diplopodes vivent dans les milieux humides (litière, sous les pierres) et mélangent les débris végétaux avec le sol au cours de leur nutrition (GRASSE et DOUMENC, 2000) (Figure 8).

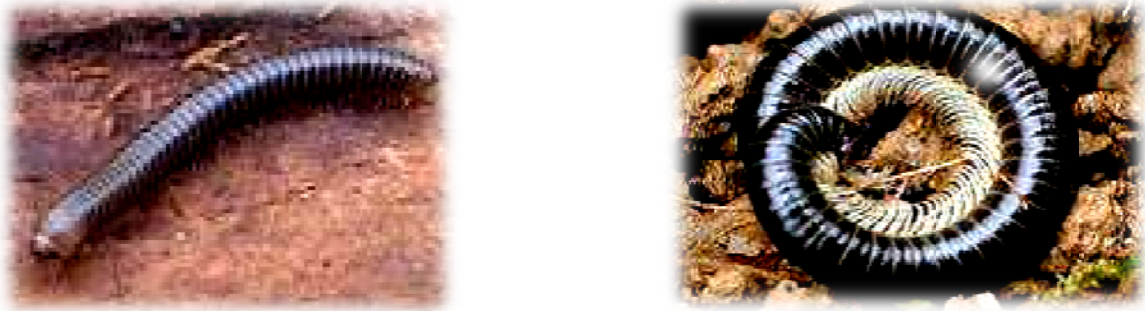


Figure 8 : Diplopode *Tachypodoiulus albipes* (FREYSSINEL, 2007).

II.1.2.6.2. Chilopodes

Ce sont des Myriapodes opisthgonéates à tégument mou, sans inclusions minérales, à corps aplatie dorso-ventralement, long ou très long. Leur segmentation est simple avec tergite et, au moins, quinze paires de pattes par segment. Leur tête est lenticulaire avec une paire de mandibules, une paire de mâchoires et une paire d'antennes longues et mobiles dans le prolongement du corps. Certains groupes sont aveugles et ont un système trachéen souvent simple (GRASSE *et* DOUMENC, 2000) (Figure 9).



Figure 9 : Chilopode (ORIGINELLE, 2012)

II.1.2.6.3. Symphiles

Ce sont des Myriapodes progonéates, dépigmentés avec de petites ailes qui dépassent rarement 10 mm et un tronc segmenté et complexe sans concordances entre les segments ventraux et les plaques dorsales qui sont plus nombreuses (12 segments). Ils possèdent des appendices avec des vésicules coxales et un stylé à partir de la deuxième paire de segments. Leur tête porte une paire de mandibules, une paire de maxilles et une paire d'antennes en avant. Ils habitent la terre humide et le terreau. Ils s'abritent sous les pierres et se nourrissent

d'algues vertes unicellulaires, de champignons et de tissus végétaux (GRASSE *et* DOUMENC, 2000) (Figure 10 et 11)



Figure 10: Symphyle (DEPRINCE ,2003)



Figure 11: Un Symphyle microscopique (DEPRINCE ,2003)

II.1.2.7.Arachnides (Arthropodes, Chélicérates)

Ils appartiennent à l'embranchement des Arthropodes et au sous-embranchement des chélicérates. La classe des Arachnides comporte 11 ordres dont 5 seulement sont présents en zone tempérée : acariens, aranéides, opilions, pseudo-scorpions et scorpions. Les acariens ont un rôle important dans le fonctionnement du sol. Les aranéides et les opilions évoluent en surface du sol, ce sont des prédateurs généralistes (GOBAT *et al.*, 2003).

Le groupe le plus représentatif de cette classe est celui des acariens suite à son rôle important dans le système sol (BACHELIER, 1978) (Figure 12 et 13).



Figure 12 : Solifuge (DEPRINCE ,2003).



Figure 13: *Dysdera crocata* (DEPRINCE ,2003)

II.1.2.7.1.Acariens (Gamasides, Actinédides, Oribates)

Les acariens se distinguent facilement des autres arachnides. Ils ont une morphologie très diversifiée avec un corps divisé en deux parties distinctes : le céphalothorax et l'opisthodome, nettement segmenté (LOISELLE, 2002). Ils pullulent dans les poussières domestiques et sont responsables de réactions allergiques pouvant évoluer en asthme (GOBAT *et al.*, 2003) (Figure 14).



Figure 14 : Acarien Oribat (FREYSSINEL, 2007).

Les Acariens du sol sont des consommateurs très actifs de débris végétaux, dont certains sont des phytosaprophages comme les Oribates qui consomment une quantité de litières qui peut atteindre environ le cinquième de leur propre poids. D'autres sont prédateurs et consomment des Nématodes, des Collemboles et des larves d'insectes (DAVET, 1996 et COINEAU, 1974).

II.1.2.7.2. Aranéides

Les araignées ou aranéides sont des arthropodes de la classe des Arachnides. Ils ont huit pattes et des yeux simples, sans ailes ni antennes. Ce sont des prédateurs qui se nourrissent exclusivement de proies vivantes qu'elles chassent soit à l'aide des pièges, soit à l'affut. Comme tous les arachnides, ils n'absorbent que des liquides, c'est pour cela qu'ils liquéfient leurs proies avant de pouvoir s'en nourrir (GOBAT et *al.*, 2003).

La grande sensibilité des araignées aux changements de structure du milieu ont fait d'elles des espèces indicatrices fines de l'évolution des milieux (ALVAREZ et *al.*, 2002) (Figure 15).



Figure 15 : Aranéides (FREYSSINEL, 2007).

II.1.2.7.3. Opilions

Les opilions sont représentés par les faucheux ; leur corps n'offre pas de nette séparation entre le céphalothorax et l'abdomen avec une taille d'environ 6 mm. Ils sont prédateurs d'insectes et de leurs larves et eux même sont des proies des Araignées et des Myriapodes (GOBAT et *al*, 2003) (Figure 16).

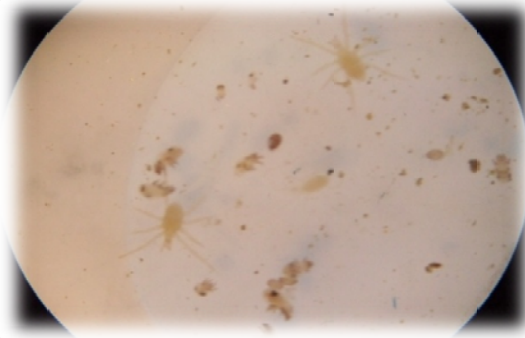


Figure 16 : Opilion vu sous loupe binoculaire à G×30 (ORIGINELLE, 2012).

II.1.2.7.4. Pseudo-scorpions

Les pseudo-scorpions sont de petits arachnides cosmopolites, à allure de scorpions qui ont des pédipalpes transformés en deux grandes pinces à l'avant du corps. Ils se rencontrent dans les régions chaudes où certains peuvent infliger à l'Homme des morsures mortelles (GOBAT et *al.* , 2003) (Figure 17).



Figure 17 : Pseudo-scorpions (ANONYME, 2001).

II.1.2.8. Insectes

C'est un groupe d'arthropodes dotés de trois paires de pattes. On en connaît à l'heure actuelle plus d'un million d'espèces, ce qui équivaut aux trois quarts du monde animal recensé. Ils appartiennent à l'embranchement des Arthropodes, sous embranchement des Antennates ou Mandibulates classé en 42 ordres dont les 4 ordres, présentés ci-dessous, intervenant plus spécialement dans le sol : les Collemboles, les Diptères, les Coléoptères et les Hyménoptères (FREYSSINEL, 2007).

II.1.2.8.1.collemboles

Ce sont des microarthropodes de petite taille (moins de 1 mm), à peine visible à l'œil nu et les mieux représentés dans le sol. Ils existent partout et vivent sous les écorces, les feuilles mortes, les pierres et même sur la neige des régions polaires, mais principalement en terrains humides (BEAUMONT et CASSIER, 2000). Ils sont de couleur variable: bleu, bruns, blanc et violet. Ils se nourrissent de champignons et de matières organiques en décomposition. Les collemboles jouent un rôle important dans la dégradation des litières par action mécanique en morcelant les aliments et par action chimique lors du passage de ces derniers dans l'intestin (PIHAN, 1986) (Figure 18).

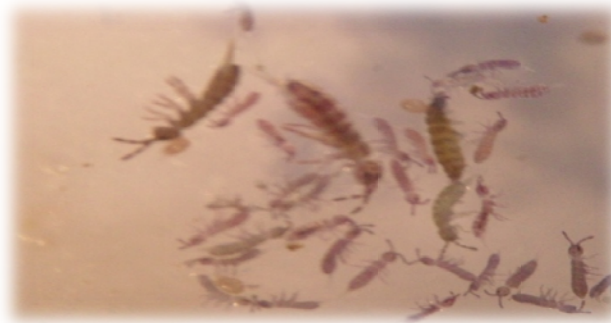


Figure 18: Collemboles vus sous loupe binoculaire (G×30) (ORIGINELLE, 2012).

II.1.2.8.2. Termites

Les termites sont des insectes à métamorphose incomplète de taille allant de 2 à 20 mm et qui constituent l'ordre des Isoptères dont le nom rappelle leurs quatre ailes à peu près identiques (BACHELIER, 1978). Elles vivent en société à l'intérieur d'un nid qu'elles construisent dans le sol, à sa surface ou dans le bois mort (FREYSSINEL, 2007). Elles ne sont pas actives à une température inférieure à 10°C et meurent à une chaleur d'environ 35°C. Elles ont des besoins en eau importants (GOBAT *et al.*, 2003) (Figure 19).



Figure 19 : Des termites (ANNONYME, 2012).

II.1.2.8.3. Fourmis

Ce sont des Insectes qui appartiennent à l'ordre des Hyménoptères et qui vivent en société dans un nid appelé fourmilière, elles sont certainement les organismes les plus abondants sur Terre (GOBAT *et al.*, 2003).

Les sociétés de fourmis comportent trois types d'individus : les mâles, les femelles fertiles (reines) et les femelles stériles (ouvrières) (NOIROT, 1999 ; LANDRIN, 2001 ; VERON, 2002 ; GOBAT *et al.*, 2003 ; LANDRIN, 2005 et LANDRIN, 2007). Elles sont distribuées dans l'ensemble des continents à l'exception des régions les plus froides où les trois quarts des espèces vivent dans les zones tropicales (GOBAT *et al.*, 2003) (Figure 20).



Figure 20: Fourmis *Messor structor* vues à l'œil nu (ORIGINELLE, 2012).

II.1.2.8.4. Diptères

Cet ordre d'insectes ptérygotes se caractérise par la présence d'une seule paire d'ailes et est représenté par l'ensemble des mouches et des moustiques.

Les formes larvaires sont dominantes et actives dans le sol. Elles montrent une grande diversité morphologique, écologique et comportementale comme elles peuvent utiliser les différentes ressources offertes par le sol et par ses annexes (FREYSSINEL, 2007). Les diptères jouent un rôle important dans l'environnement malgré leur nuisibilité, ils jouent le rôle de nettoyeurs, dans le maintien de l'équilibre écologique et surtout la transformation de la M.O et l'élimination des déchets indésirables (cadavres, et matière fécale) (Figure 21).



Figure 21: Diptère (larve de *Tipulidés*) (FREYSSINEL, 2007).

II.1.2.8.5. Coléoptères

Les Coléoptères est l'ordre le plus grand du règne animal, avec des dimensions de 0,25 mm à 10 cm. Dans le sol, les larves sont rhizophages, saprophages et coprophages et contiennent une abondante microflore intestinale. Ils jouent un rôle en tant que décomposeurs (PIHAN, 1986).

Une vingtaine de familles de Coléoptères est représentée dans le sol, avec des adaptations très variables aux conditions de ce dernier, tant au niveau de la morphologie, que par rapport au régime alimentaire (Figure 22) (FREYSSINEL, 2007).



Figure 22: Coléoptère *Carabidés* (FREYSSINEL, 2007).

II.1.3. Classement selon le mode d'alimentation

La faune du sol est aussi classée selon son mode d'alimentation, par sa place dans la chaîne alimentaire ; constituant ainsi la base trophique des écosystèmes terrestres. Les classifications trophiques classent les invertébrés du sol selon leurs préférences trophiques (herbivores, prédateurs, parasites, saprophages, polyphages, mycophages, rhizophages, nécrophages, xylophages, etc.) (GOBAT et *al.*, 2003).

Cette division des régimes alimentaires est assez artificielle car ceux-ci sont mixtes et peuvent changer au cours de la vie des animaux en allant du stade larvaire jusqu'au stade imago. Aussi, de nombreux animaux peuvent changer leur régime alimentaire en fonction des

nécessités contrairement à d'autres qui ont une étroite spécialisation alimentaire ; c'est pour cela que les chaînes trophiques présentent non seulement des variations mais aussi une certaine souplesse adaptative (BACHELIER, 1978).

II.2. Action de la pédofaune sur les propriétés du sol

L'action de la faune sur les sols est de nature différente et d'importance très variable selon les sols et les groupes fauniques considérés (BACHELIER, 1978).

II.2.1. Action sur les propriétés physiques du sol

Le rôle mécanique de la faune du sol dépend de la taille, du régime alimentaire et du comportement des organismes impliqués (GOBAT *et al.*, 2003). Cette action physique de la faune intervient sur les propriétés du sol telles que la porosité ou la structure en agissant indirectement sur l'évolution des gaz et des liquides dans le milieu tout en l'améliorant. Elle permet également la création d'habitat et de réseaux de migration (FREYSSINEL, 2007).

II.2.1.1. Le macro brassage

Il permet la circulation d'importants volumes de terre entre les horizons du sol et la remontée en surface des horizons riches en matières minérales ainsi que l'enfouissement des horizons organiques superficiels et des litières. C'est grâce aux vers de terre, aux fourmis, aux scarabées et à certains mammifères (taupes, campagnols,...) que s'assure le transport vertical dans le sol en creusant leurs gabarries et en construisant des grands nids (GOBAT *et al.*, 2003).

II.2.1.2. Le micro brassage

Cette activité se limite aux horizons superficiels malgré la faible remontée des matières minérales, mais ses effets s'observent jusqu'à 60 cm de profondeur par lessivage et accumulation des crottes ainsi que l'incorporation des matières organiques par l'intermédiaire des déjections (GOBAT *et al.*, 2003).

II.2.1.3. La formation de galeries

Ces structures jouent un rôle important pour l'aération du sol et son régime hydrique. Elles sont le fait des vers de terre et des termites, auquel s'ajoutent les nids et les déblais de fourmi. Chacun agit à son échelle et crée des galeries de diamètres variés qui offrent des voies de pénétration préférentielle pour les racines, les éléments fins lessivés, les excréments, ou encore les invertébrés épigés. En revanche, la mésofaune (acariens, collemboles,...) ne paraît pas modifier directement la porosité du sol mais tend à agrandir et aménager les cavités naturelles (GOBAT *et al.*, 2003).

II.2.1.4. La fragmentation

Il s'agit d'une réduction mécanique de la matière organique qui permet la multiplication des surfaces attaquables (de l'ordre de 50 à 200 fois selon BACHELIER, 1978). Elle est due à l'activité successive des phyto-saprophages qui ingèrent et transforment leurs aliments ainsi que les fragmenteurs qui influencent fortement l'évolution de la matière organique dans le sol et permettent l'intervention successive et organisée de chaque maillon (GOBAT et *al.*, 2003).

II.2.1.5. La formation d'agrégats

Les vers de terre et les macro-arthropodes qui ingèrent des particules de terre, avec leur nourriture, contribuent à la formation d'agrégats, en mélangeant des matières organiques et minérales dans leur tube digestif.

Pour leur stabilisation, le chevelu racinaire a une action mécanique par les sécrétions de la microflore ainsi que le réseau d'hyphes de champignons et de fibres végétales qui consolident la structure des sols ; sans oublier la pédofaune associée à la microflore qui participe à l'amélioration et la stabilisation de l'organisation structurale du sol (FREYSSINEL, 2007).

II.2.2. Action sur les propriétés chimiques du sol

La faune influence les caractéristiques chimiques des sols par des voies très variées dont l'effet le plus marquant est la modification de la nourriture durant son passage à travers la chaîne alimentaire. En comparaison à la micro et mésofaune, les cadavres de la macrofaune fournissent des apports beaucoup plus élevés. Il est de même pour les vertébrés de la mégafaune qui produisent des excréta qui modifient directement la composition chimique du sol (GOBAT et *al.*, 2003).

La faune constitue en elle-même une réserve importante d'éléments augmentant le potentiel chimique des sols. Elle est mobilisable à sa mort avec plusieurs effets indirects sur la composition chimique de ces derniers. Ces effets sont observés par l'action des protozoaires capables de minéraliser l'azote, le phosphore et le soufre à partir de leur nourriture et la remontée de matériaux profonds (GOBAT et *al.*, 2003).

II.2.3. Action sur les propriétés biologiques du sol

BACHELIER (1978) a montré que la faune a une action marquée sur le sol et ses diverses caractéristiques biologiques. Les effets de la prédation sur les populations proies sont

importants puisqu'elle met ces dernières en équilibre avec les ressources disponibles comme la nourriture et les abris.

La pédofaune contribue fortement à la dissémination des bactéries et des spores, du fait qu'elle ingère de la terre en un point, se déplace et la rejette en un autre point. Aussi les vers contribuent à la dispersion des bactéries, des kystes de protozoaires ou de nématodes, et des spores des champignons qui résistent au passage dans leur tube digestif (GOBAT et *al.*, 2003).

Le tableau 2 regroupe les principaux groupes de pédofaune ainsi que leur rôle au sein de l'écosystème.

Tableau 2 : Principaux groupes composant la pédofaune et leur rôle au sein de l'écosystème sol (BACHELIER, 1979 ; ROBERT, 1996 ; LAVELLE, 2001 ; GIRARD et *al.*, 2005).

Tableau 2 : Principaux groupes composant la pédofaune et leur rôle au sein de l'écosystème sol (BACHELIER, 1979 ; ROBERT, 1996 ; LAVELLE, 2001 ; GIRARD *et al.*, 2005).

	<i>Qui sont-ils ?</i>	<i>Combien sont-ils' ? (par m², de sol)</i>	<i>Que mangent-ils ?</i>	<i>Que produisent-ils' ?</i>	<i>Classification fonctionnelle</i>
<i>Microfaune</i>	Protozoaires	de 100 à 1 000 millions	des bactéries et des champignons		Micro prédateurs
	Nématodes	de 1 à 20 millions	Beaucoup d'espèces sont phytoparasites ; certaines sont prédatrices d'autres Nématodes et d'Acariens ; les autres sont saprophages	des pelotes fécales avec des fragments de 5 µm ³	Microprédateurs ou transformateurs de litière
<i>Méso-faune</i>	Acariens	de 20 000 à 500 000	la plupart ingèrent des Bactéries, des pollens, des débris végétaux et animaux divers .ce sont des saprophages dont certains sont prédateurs	des pelotes fécales avec des fragments de 20 µm ³	Transformateurs de litière
	Collemboles	de 20 000 à 500 000	la plupart sont saprophages quelques espèces sont prédatrices	des pelotes fécales avec des fragments de 20 µm ³	Transformateurs de litière
	Enchytréides	de 10 000 à 50 000	Des débris végétaux en décomposition, les déjections des microarthropodes	Des agrégats et des petites galeries	Fouisseurs et transformateurs de litière
<i>Macrofaune</i>	Lombrics	de 50 à 400	des débris végétaux, qu'ils ingèrent avec de 50 à 400 de la terre	des agrégats organo-minéraux, des galeries, des turricules	ingénieurs de l'écosystème

Tableau 2 : Principaux groupes composant la pédofaune et leur rôle au sein de l'écosystème sol (BACHELIER, 1979 ; ROBERT, 1996 ; LAVELLE, 2001 ; GIRARD *et al.*, 2005) (Suite).

Larves de Diptères, de Coléoptères, de Lépidoptères...	larves de Diptères : 400 larves de Coléoptères : 100	les régimes varient selon les espèces: on trouve des saprophages, coprophages, nécrophages, prédatrices, phytophages	les saprophages produisent des pelotes fécales, les phytophages, beaucoup de dégâts dans les cultures	transformateurs de litière, consommateurs primaires ou prédateurs, selon les espèces
Coléoptères adultes	quelques-unes	la plupart sont saprophages certaines ; espèces sont parasites des fourmilières	des pelotes fécales avec des fragments d'1 mm ³	transformateurs de litière
Fourmis, Termites	Très variable selon les lieux	les fourmis sont saprophages et/ou prédatrices selon les espèces .	Des galeries ; les termites produisent des boulettes fécales organo-minérales	Ingénieurs de l'écosystème
Myriapodes	250 (très variable)	les Diplopodes sont saprophages, les Chilipodes sont tous prédateurs chasseurs	les saprophages produisent des pelotes fécales.	transformateurs de litière ou macroprédateurs
Cloportes	100	Saprophages	des pelotes fécales avec des fragments d'1 mm ³	transformateurs de litière
Araignées	quelques-unes	prédatrices d'autres Arthropodes		Macroprédateurs
Limaces et Escargots	50	ils se nourrissent de végétaux		consommateurs primaires

CHAPITRE III

POLLUTION

La pollution recouvre des réalités multiformes dont l'histoire reflète fidèlement, d'une part, les progrès de la civilisation technologique corrélée à ceux de la production industrielle, et d'autre part, la croissance démographique et la biomasse humaine à laquelle est lié un accroissement corrélatif du rejet de déchets (RAMADE, 2007).

La pollution est reconnue comme un problème majeur, dans le monde, qui menace la santé et la vie humaine (BUGGE, 1976). Elle est causée essentiellement par l'Homme et ses différentes activités qui dégradent l'environnement de plus en plus (LEGUAY, 2007).

III.1.Définitions

III.1.1. la pollution

RAMADE (1992) définit la pollution comme étant : « une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous produit de l'action humaine, à travers des effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes ». Ces modifications peuvent affecter l'Homme directement ou indirectement à travers les ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques.

III.1.2. La pollution industrielle

Le développement considérable des activités industrielles est la cause d'un accroissement important des pollutions et des nuisances suite aux sous produits organiques et inorganiques des activités humaines. Ces derniers existent depuis des siècles, mais leur nocivité s'est exercée à cause de leur excès qui dépasse les capacités de destruction et de recyclage des organismes décomposeurs présents dans tout écosystème (KOLLER, 2004).

La métallurgie et l'industrie chimique rejettent dans l'environnement des quantités importantes de polluants ainsi que des gaz toxiques et des substances minérales et organiques à effets nocifs. L'électronique recourt de plus en plus à des oligoéléments telles que l'arsenic, le nickel, le sélénium, le plomb, les cyanure, etc. (RAMADE, 2007).

III.2. Classification de la pollution

RAMADE (2007) a distingué deux catégories de pollution selon la qualité du polluant et la nature du milieu contaminé. Il s'agit :

III.2.1. Selon la nature des agents polluants

- ***Pollution physique:*** due aux rayonnements ionisants et au réchauffement par une source de chaleur technologique.
- ***Pollution chimique:*** par des substances minérales et organiques.
- ***Pollution biologique:*** par introduction d'espèces exotiques par l'Homme, des microorganismes pathogènes et aussi par des OGM (Organismes Génétiquement Modifiés).

III.2.2. Du point de vue écologique

- ***Pollution de l'air:*** la dégradation de la qualité de l'air, peut résulter soit d'une modification quantitative par hausse de la concentration dans l'air de certains de ses constituants normaux (gaz carbonique, peroxyde d'azote, ozone...), soit d'une modification qualitative due à l'introduction de composés étranges à ce milieu (radioéléments, substances organiques de synthèse), soit encore et c'est le cas général, de la conjugaison de ces deux phénomènes (RAMADE, 1982).
- ***Pollution du sol:*** Diverses sources peuvent être à l'origine de la pollution des sols notamment l'agriculture moderne où l'utilisation abusive des engrais et pesticides, ainsi que les activités industrielles d'extraction, de transformation, de stockage ou de transport qui sont principalement les causes des contaminations (RAMADE, 1982). Il existe également une pollution due aux retombées des métaux lourds rejetés dans l'atmosphère sous forme d'aérosols (plomb, mercure, cadmium...), et diverses substances dégagées par les activités industrielles (SO₂, CFC, NO_x, CO), ainsi que des radionucléides ramenés au sol par les précipitations (VIALA *et al.*, 2005).
- ***Pollution de l'eau:*** un cours d'eau est considéré pollué lorsque sa composition est directement ou indirectement modifiée du fait de l'activité de l'Homme (KOLLER, 2004).

III.3.Pollution industrielle en Algérie

En Algérie, le terme pollution fait penser surtout à la pollution industrielle telle que l'industrie électronique, par exemple, qui utilise de nombreux produits chimiques dangereux tout en rejetant une quantité considérable de solvants, de produits chimiques de nettoyage et d'autres mélanges dont les risques et la toxicité sur l'environnement et la santé des populations sont très élevés (REBAH, 2005).

Nos installations industrielles des années 70 n'ont pas fait l'objet d'une étude d'impact, d'une étude de danger ni d'une simple enquête publique. Aussi, le concept de développement durable était encore inconnu comme on ignorait le concept HSE, ce qui a engendré un niveau élevé de pollution et une consommation excessive des ressources naturelles (REBAH, 2005).

De nombreuses unités industrielles n'étaient pas dotées d'équipement anti-pollution, sauf de rares stations d'épuration acquises à ce moment, avérées au fil du temps inopérantes. A cette époque les technologies polluantes ont été installées sur les terres agricoles les plus fertiles et les nappes d'eau (REBAH, 2005).

Actuellement, malgré l'évolution de l'industrie chez nous, il y a une prise de conscience importante par rapport aux années précédentes, cela se concrétise à l'ENIEM. en devenant certifiée ISO 14001 depuis 2008, et à la Sonatrash qui a très bien améliorée ses techniques de travail, etc. (AUDIT ENVIRONNEMENTAL, 2008).

III.4.Evolution des techniques de gestion de la pollution industrielle

Selon KOLLER (2004), l'entreprise industrielle a grandement évolué au regard de sa performance environnementale au cours des dernières décennies, c'est pour cela que trois phases majeures de développement sont reconnues:

- La phase du tout-à-l'égout.
- La phase de prévention de la pollution par le traitement des polluants à la sortie de l'usine.
- La phase d'optimisation des procédés.

Au départ, la pratique courante consistait à utiliser les matières premières pour fabriquer un produit écoulé sur le marché sans préoccupation environnementale de la suite, qu'il s'agisse d'un déchet, d'un résidu de matière première, d'eau pollué, de gaz, de poussières

ou de chaleur. Mais l'incidence de ces pratiques s'est vite fait sentir: accumulation d'ordures, cours d'eau contaminées, problèmes de santé des travailleurs et des citoyens vivants à proximité des usines, dégradation des milieux naturels et de l'habitat humain, déversement illégaux surtout en mer... (RAMADE, 1992).

VI. Impacts environnementaux

Les problèmes de l'environnement ne datent pas d'aujourd'hui mais sont devenus une grande préoccupation du monde contemporain. Avec l'essor de l'industrie et la croissance démographique, l'impact de l'Homme sur l'environnement s'est accru et est devenu préoccupant.

VI.1. Définition de l'impact environnemental

Le mot « impact » vient du latin « impactus » du participe passé de « impiger », signifiant heurser (ANDRE *et al.*, 1999).

D'un point de vue strictement écologique, les impacts sont décrits comme des déviations des dynamiques naturelles d'évolution aboutissant à des modifications de l'état théorique de l'écosystème (BLANDIN, 1986).

L'impact environnemental désigne l'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement (négatives ou positives) engendrées par un projet, un processus, un procédé, un ou des organismes et un ou des produits de sa conception à « sa fin de vie » suite à l'activité humaine. En effet l'étude d'impact, est l'étude prévisible des modifications ou perturbations sur l'environnement avant l'installation d'un projet, elle est utilisée comme outil par la norme ISO 14001 (WATHERN, 1988).

VI.2. Impact sur l'environnement

La pollution des sols est la moins visible des pollutions. Elle frappe avec retard mais touche l'ensemble des constituants de l'écosystème. Cette pollution est causée par les métaux lourds présents dans les sols qui proviennent généralement de l'altération du matériau parental et éventuellement de nombreuses sources de contamination externe qui ont une influence et un impact considérable (BUR, 2008).

VI.2.1.Impacts sur l'organisme et la chaîne alimentaire

Selon BUR (2008), un sol pollué contenant des substances dangereuses pour l'alimentation humaine peut devenir inapte à la culture de végétaux consommables qui auraient eux même absorbés ces substances dangereuses. Ce risque de migration de produits toxiques jusqu'à l'Homme, par le canal de la chaîne alimentaire, existe aussi pour les denrées animales provenant de l'élevage ou de la pêche ; cette contamination varie en fonction de la disponibilité de l'élément dans le milieu qui conditionne son absorption et sa toxicité.

La pénétration de métaux lourds dans les organismes de la pédofaune peut être causée par la nourriture et l'eau ingérées. Ces métaux représentent la principale voie d'exposition des détritivores à la pollution (les organismes fongivores sont particulièrement exposés car ils accumulent ces éléments à des concentrations au moins 10 fois supérieures à celles du sol). Par contre les prédateurs sont mis en danger lorsqu'ils consomment des organismes ayant déjà accumulés des métaux lourds. Ces derniers étant non dégradables ou lentement excrétables, leur passage le long de la chaîne trophique peut conduire à une bioamplification. Cette atteinte risque de provoquer une rupture de l'équilibre biologique au sein de l'écosystème affecté et des risques sur les organismes non affectés (VIALA *et al.*, 2005).

Ces polluants peuvent aussi atteindre l'Homme par passage à travers la peau, ingestion et diffusion par gradient de concentration jusqu'à la circulation sanguine (le plomb et le cadmium peuvent prendre la place du calcium et de la vitamine D en cas de carence) ou par inhalation (les vapeurs peuvent se dissoudre dans les muqueuses du système respiratoire ou arriver dans la circulation sanguine par l'intermédiaire des alvéoles pulmonaires ; c'est le cas du mercure et du plomb tétraéthyl qui peuvent être à l'état vapeur à température ambiante). Quant aux particules, elles peuvent atteindre les bronchioles et la circulation sanguine (RAMADE, 2007).

De manière générale, les concentrations en métaux lourds dans les organismes augmentent avec l'élévation du niveau trophique dont les plus fortes teneurs sont enregistrées chez les prédateurs (le sommet de la pyramide alimentaire) qui sont les plus exposés aux risques de la bioaccumulation. C'est le cas des vers de terre qui présentent une capacité élevée d'accumulation des métaux lourds, ce qui fait d'eux de bons bio-indicateurs de pollution (RAMADE, 2007).

VI.2.2. Impact à l'échelle des populations

L'exposition d'une population à une substance polluante peut provoquer chez ses individus des réponses comportementales et physiologiques diverses traduites par la diminution de l'étendue de l'espace d'habitat occupé en évitant ce milieu pollué (RAMADE, 1992). Cette contamination par les métaux lourds agit directement sur le nombre d'individus vivants appartenant à une espèce. Deux types d'évolution peuvent être envisagés en fonction de la nature de la contamination :

- Une population exposée à une contamination aiguë connaîtra le déclin de ses effectifs, parfois jusqu'à l'extinction totale de la population. Mais si la source de pollution disparaît, et que le milieu redevient viable après un temps variable, des processus de recolonisation peuvent se dérouler où la recolonisation peut également avoir lieu si une espèce plus résistante vient occuper la niche écologique laissée libre par la population disparue.
- Si l'intensité de la contamination engendre une diminution de l'effectif de la population touchée, sans engendrer sa disparition comme c'est le cas d'une contamination chronique, une résistance peut se développer au sein de la population jusqu'à l'adaptation et l'augmentation de son effectif à nouveau même si la source de pollution ne tarit pas (BUR, 2008).

Certains invertébrés terrestres présentent une nette tolérance vis-à-vis des métaux lourds, comme les annélides, dont certaines populations vivent sur des sédiments riches en cuivre ou contaminés par ce dernier (RAMADE, 2007).

VI.2.3. Impact sur les communautés et le fonctionnement des écosystèmes

Les communautés du sol sont des associations complexes entre une variété de micro et macro organismes, de minéraux et de matières organiques mortes qui forment un réseau complexe d'interactions dans l'écosystème, ce qui influence la distribution des composés chimiques polluants et toxiques au sein du biotope considéré (RAMADE, 1992 ; BUR, 2008).

La présence de polluants dans la couverture pédologique à la suite d'activités anthropiques, domestiques ou industrielles entraîne des risques de contamination des eaux et les transfert vers les êtres vivants, comme elle conduit à des modifications du fonctionnement des écosystèmes (GIRARD *et al.*, 2005). C'est pour cette raison que l'introduction d'une substance toxique dans l'écosystème terrestre, se traduit par une diminution de la densité,

l'abondance et la richesse spécifique des espèces, ce qui agit sur la diversité des biocénoses dans les milieux contaminés (RAMADE, 1992).

Selon le même auteur, la pollution peut présenter des effets drastiques sur le flux d'énergie et les cycles des nutriments en modifiant la productivité primaire par inhibition de la photosynthèse.

Partie II

CHAPITRE I

SITUATION GEOGRAPHIQUE ET
CARACCTERISTIQUES DE LA REGION
D'ETUDE

I. Situation géographique de la région d'étude

Notre région d'étude se situe au Nord de l'Algérie, plus précisément au niveau de la wilaya de Tizi-Ouzou, qui s'étend dans ses limites actuelles sur une superficie de 2958 Km², soit 0,13% du territoire national et à une hauteur de 270 Km. Elle est limitée au Sud par la wilaya de Bouira, à l'Est par la wilaya de Bejaia et à l'Ouest par la wilaya de Boumerdes. La wilaya de Tizi-Ouzou est ouverte du côté Nord sur la mer Méditerranée avec 70 Km de côtes et est aussi traversée d'Est à l'Ouest par l'oued Sébaou (Figure 23).



Figure 23 : Situation géographique de la Wilaya de Tizi-Ouzou (Google Earth, 2012).

II. Présentation des entreprises étudiées

La wilaya de Tizi-Ouzou est située dans la région de la grande Kabylie, en plein cœur du massif de Djurdjura, à une centaine de kilomètres à l'Est de la capitale. Elle est divisée administrativement en 67 communes et 21 daïra dont les daïra d'AZAZGA et de TIZI RACHED où se situent nos stations d'étude (Figure24).

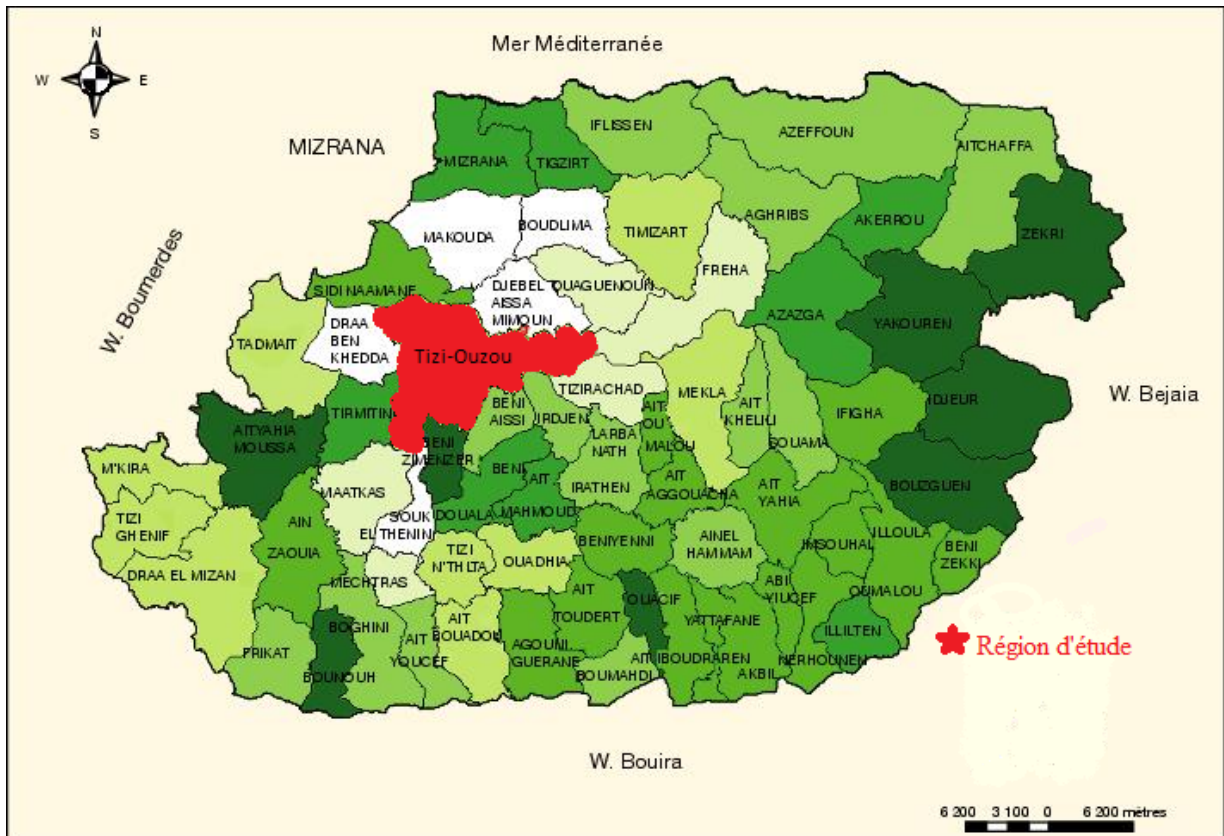


Figure 24: Situation géographique des stations d'étude (Google Earth, 2012).

II.1.L'Electro-Industries d'Azazga (EI.)

II.1.1.Historique

L'entreprise Électro- Industries (EI) d'AZAZGA est une société dont l'activité principale est la fabrication et la commercialisation de moteurs électriques, alternateurs, transformateurs de distribution et groupes électrogènes. Elle est issue de la réorganisation du secteur industriel opéré en Algérie depuis 1980 à 2000 qui a conduit en 1999 à la restructuration de l'ancienne ENEL (Entreprise Nationale des Industries Electrotechniques) en un certain nombre d'EPE / SPA (Société Par Action), parmi les quelles figure l'EI.

L'usine a été réalisée dans le cadre d'un contrat produit en mains avec des partenaires allemands, en l'occurrence SIEMENS pour le produit et FRITZ WERNER pour l'engineering et la construction. L'infrastructure est réalisée par les entreprises algériennes ECOTEC, COSIDER et BATIMETAL (AUDIT ENVIRONNEMENTAL, 2007).

II.1.2. Localisation

L’E.I. est située dans la zone industrielle de la commune d’AZAZGA, à 5 Km de la ville d’AZAZGA et à plus de 30 Km du chef- lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou; sur les bordures de la route nationale n° 12 reliant les villes de TIZI- OUZOU et AZAZGA. Elle occupe une superficie totale de 35 hectares dont l’accès unique est la route nationale n° 12. Le tableau 3 regroupe ses coordonnées.

Tableau 3: Coordonnées de l’Electro-Industries (CARTE DE TIZI-OUZOU).

<i>Station</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Altitude</i>
<i>E.I.</i>	36°44’21,57’’	4°19’16,80’’	151m

Ce complexe industriel a été implanté dans une zone d’activités à vocation agricole et d’urbanisation. Il se trouve dans une zone industrielle accueillant plusieurs installations (Figure 25):



Figure 25: Vue satellitaire de l’implantation de l’EI (AUDIT ENVIRONNEMENTAL, 2007).

- A l’Ouest, sur la route nationale n° 12, à environ 2 Km : une station d’essence- Une Minoterie- une centrale à béton.
- A l’Est, sur la route nationale n°12, à environ 1 Km : une station d’essence – une huilerie, ainsi que l’Agence Nationale des Barrages et de Transports.
- Au Nord, à environ 1 Km : un poste électrique 30 KV type extérieur sur terrains agricoles.
- Au Sud, à environ 1Km : de récentes constructions d’habitations individuelles.

II.1.3. Sources de pollution de l'EI

En plus de ses productions, l'activité de l'EI d'AZAZGA génère des déchets de toutes sortes (solides, liquides, et gazeux). Afin de pouvoir gérer toutes ces variétés, elle est décomposée en plusieurs entités élémentaires (unité moteurs, unité transformateurs, la cantine, le service médical et le bloc administratif).

II.1.3.1. Déchets solides et leur mode de gestion

De grandes quantités de déchets solides sont générées par le processus de fabrication des unités de production à savoir l'UMP : Unité Moteurs et Prestations et l'UTR : Unité Transformateurs et Réparation. Ces derniers ainsi que leur mode de traitement sont résumés dans le tableau 4 et la figure 26.

Tableau 4: Traitement des déchets solides utilisés au niveau de l'EI (AUDIT ENVIRONNEMENTALE, 2007)

Type de déchets	Gestion du déchet
Déchets métalliques.	Récupérés par l'ERC*
Déchets de bois	Récupérés par destriers.
Papier	Brûlé
Déchets de peinture et de vernis	Brûlé
Chiffons d'essuyage	Brûlé
Boues contenant des solvants halogènes	Stockage dans un fût
Boues de la station de neutralisation	Stockage dans des fûts et sacs mis dans un conteneur.
Accumulateurs et batteries usagées	Remis à l'ENPEC** pour recyclage
Résine échangeuse d'ions	Stockés dans un conteneur
Charbon actif usé.	Stocké dans un conteneur

*Entreprise de Récupération du centre **Entreprise Nationale des Produits Electro -Chimiques



Figure 26: Aires de stockage des déchets à l'EI. (ORIGINELLE, 2010).

II.1.3.2. Effluents liquides et leur mode de gestion

L'examen du processus de production a mis en évidence des effluents liquides de nature variée (les eaux usées industrielles, les eaux usées domestiques et les huiles).

II.1.3.2.1. Eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles qui proviennent essentiellement des stations de traitement de surface (station de phosphatation, cabines de peinture, et station de dégraissage avec des produits alcalins) sont estimées à environ 5 m³/j. Ces dernières sont traitées grâce à la station de neutralisation des rejets qui a une capacité maximale de 4,5 m³/j et vers laquelle sont acheminés par canalisation les effluents liquides pour y être traités.

II.1.3.2.2. Eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques du complexe sont générées au niveau de la cantine, de l'administration et des différents ateliers (douches et sanitaires). Il faut souligner que cela concerne environ 800 personnes et que la consommation en eau a été de l'ordre de 300 m³ en 2006. Ce complexe est doté d'une station d'épuration des eaux où sont traités tous les rejets domestiques et industriels (après traitement chimique).

II.1.3.2.3. Huiles

Ce sont principalement les lubrifiants usagés des machines, des outils et matériels roulants ainsi que les émulsions d'huile de coupe. Elles proviennent de la vidange des cartes

des machines et des outils des ateliers, et de la récupération des émulsions usagées des huiles de lubrification et de coupe des outils de machines.

Les huiles usagées ne sont pas recyclées, mais stockées dans des fûts dans la zone de récupération jusqu'à ce qu'elles soient récupérées. NAFTAL a récupéré une partie de ces huiles mais, actuellement, elle ne le fait plus ; c'est l'EURL SEBAA (produits d'entretien) qui les récupère.

II.1.3.3. Effluents gazeux

Les émanations dans l'air peuvent provenir des installations de combustion de gaz naturel : les chaudières, les fours de fusion, les fours de maintien d'aluminium et le four LOI. Les polluants qui constituent ces émanations sont : CO, CO₂, NO_x, SO₂.

Au cours du processus de production de transformateurs et/ ou de moteurs, il n'ya pas de poussières générées. Les poussières dans les menuiseries sont aspirées puis récupérées par des installations appropriées, équipées de filtres et d'aspirateurs de poussières. Le personnel est également doté de moyens de protection (masques anti-poussières et lunettes).

II.2.L'Entreprise Nationale des Industries Electro-Ménagères d'Oued-Aissi (ENIEM.)

II.2.1.Historique

L'ENIEM a été créée en 1974 sous la tutelle de l'entreprise SONELEC, édifiée en 1977. Elle est fonctionnelle depuis le 02 janvier 1983 et est transformée juridiquement en société par actions le 10 octobre 1989. Elle a été construite avec le concours de différents partenaires (Allemagne, Japon, Italie et France). Des transformations ont été apportées aux installations dès sa création. Ces modifications ont porté sur la ligne de fabrication de réfrigérateurs (en 1986) et les installations de galvanisation pour la fabrication de pièces de cuisinières (en 1992).

Cette entreprise possède des capacités de production et une expérience de 30 ans dans la fabrication et le développement des différentes branches de l'électroménager ; principalement les appareils ménagers domestiques, les appareils de collectivités et les petits appareils ménagers. L'ENIEM fabrique et assemble des appareils électroménagers : réfrigérateurs, cuisinières à gaz, radiateurs, chauffe-bain, congélateurs, climatiseurs (Type fenêtre et Type split), comptoirs et armoires frigorifiques.

II.2.2. Localisation

L'ENIEM est implantée dans la zone industrielle d'Oued Aïssi et constitue le maillon majeur du tissu industriel de la wilaya de Tizi-Ouzou. Elle a été, pendant longtemps, l'unique et le plus important fournisseur d'équipements électroménagers en Algérie. Les coordonnées de l'installation sont regroupées dans le Tableau 5.

Tableau 5: Coordonnées de l'ENIEM (CARTE DE TIZI-OUZOU).

<i>Station</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Altitude</i>
ENIEM	36°42'10,40''	4°08'35,35''	100m

La zone industrielle d'Oued Aïssi est située dans la plaine alluviale du Sébaou entre les oueds Sébaou au Nord et Aïssi à l'Ouest, où se trouve l'ENIEM. Elle est localisée à 100 km d'Alger à l'Ouest (Figure 27).

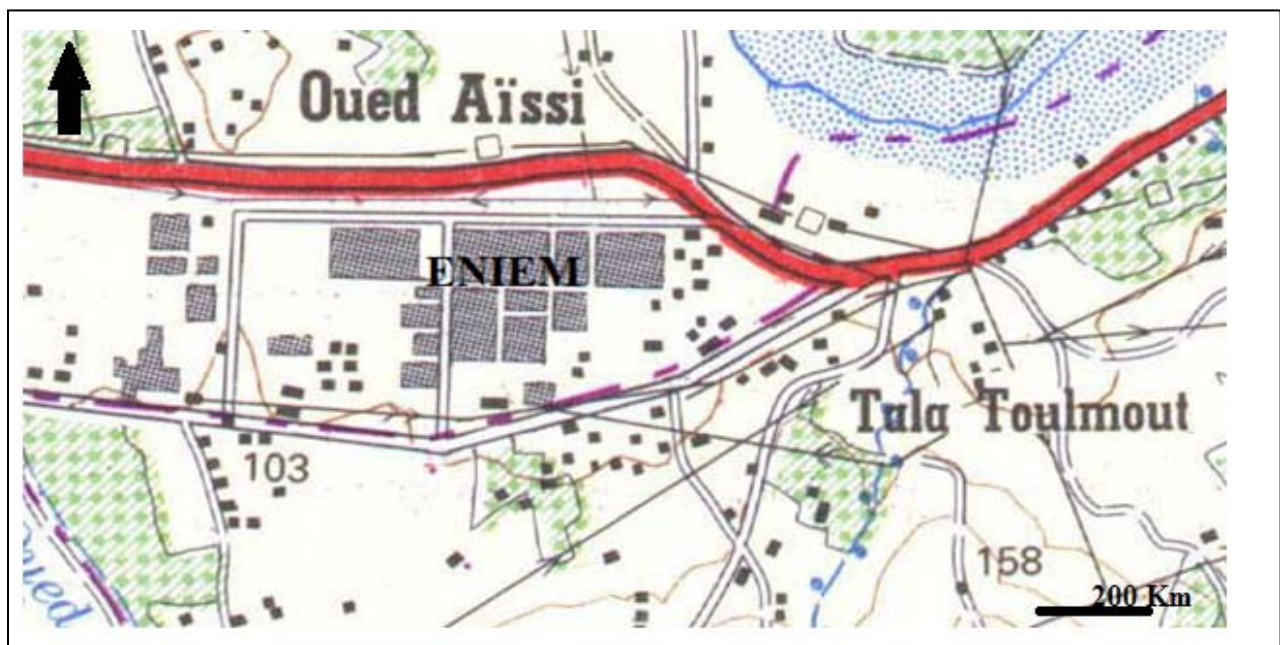


Figure 27: Localisation de l'ENIEM (AUDIT ENVIRONNEMENTAL, 2008).

II.2.3. Sources de pollution de l'ENIEM

La cellule "environnement" de l'ENIEM s'occupe de la collecte des déchets et rebus de production sous toutes les formes.

II.2.3.1. Déchets solides et leur mode de gestion

Les déchets de l'ENIEM sont triés puis entreposés sur une aire clôturée située à l'extrémité ouest du site industriel. Ces déchets sont vendus à des entreprises de récupération. Cependant divers produits et emballages dangereux (anciens fûts de cyanures) ne sont pas vendus et sont stockés sur des aires ou sous abris.

Les déchets solides de l'ENIEM sont :

- Des déchets divers (plastiques, bois, copeaux et rebuts métalliques, fûts, bidons, cartons...) triés, puis entreposés sur une aire clôturée située à l'extrémité ouest du site industriel.
- Des boues provenant de la station d'épuration des eaux usées, stockées dans des fûts métalliques de 200 litres et entreposés à côté des lits de séchage situés au nord-est du complexe.
- Des boues d'émaillage qui sont évacuées vers la décharge publique d'oued Sébaou.
- Divers produits et emballages sont entreposés ou stockés sur des aires ou sous abris, c'est le cas des anciens fûts de cyanures utilisés dans l'ancien mode de traitement qui sont entreposés dans un hangar aéré et posés sur une dalle en béton. Certains fûts sont rongés par la corrosion et nécessitent leur ré-emballage (Figure 28).



Figure 28: Aires de stockage des déchets à l'ENIEM (Originelle, 2012).

Les déchets produits annuellement sont indiqués ci-dessous dans le tableau 6.

Tableau 6: Les déchets produits annuellement par l'ENIEM (AUDIT ENVIRONNEMENTAL, 2008).

DESIGNATION	Observations	DESIGNATION	Observations
Ferraille	Cédés pour recyclage	Fûts plastiques 200 L	-
Plastiques	Cédés pour recyclage	Huiles usagées	Reprises** par NAFTL
Bois	Cédés pour recyclage	Email	Rejet en décharge
Cartons	<input type="checkbox"/>	Métaux non ferreux	<input type="checkbox"/>
Batteries usagées	<input type="checkbox"/>	Huiles minérales, huiles synthétiques	Non évalué
Aluminium	Cédés pour recyclage	Biphénil polychloré	Non évalué
Cuivre	Cédés pour recyclage	Mélanges de solvants organiques	Non évalué
Cuves moussées	<input type="checkbox"/>	Déchets de peinture	Non évalué
Fûts métalliques 200L	Isolés pour la toxicité*	Mousse de polyuréthane expansible	Non évalué
Jerricans plastiques	Cédés pour recyclage	Solvants gazeux ou déchets de mise en peinture	Non évalué
Fûts en carton	<input type="checkbox"/>	Boues d'eaux résiduaires	50 t/an
Polystyrène	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

*les fûts ayant contenu de l'isocyanate, très toxique et livrés à la fréquence moyenne de 30futs par mois, sont totalement retirés du recyclage et sont entreposés dans une aire grillagée dont le sol n'est pas imperméabilisé, ni couvert et donc le risque de contamination du sol, de la nappe et de l'air est très élevé.

**NAFTAL ne reprend que les huiles usagées de leur marque (NAFTAL).

II.2.3.2. Effluents liquides et leur mode de gestion

L'usine est pourvue d'un réseau de collecte des effluents séparatifs : un pour l'eau domestique et l'eau de lavage industrielle de refroidissement et de traitements divers (partie production) et un autre pour les eaux industrielles des ateliers de traitement de surface et les effluents chromés (concentrés et dilués) vers la station de neutralisation. Les deux systèmes se rejoignent dans un canal semi-enterré d'évacuation vers l'extérieur de l'usine où nous avons effectué notre échantillonnage (Figure 29). Le plan des réseaux est ancien et n'est pas mis à jour.



Figure 29: Vues du canal de sortie de l'ENIEM (ORIGINELLE, 2012).

II.2.3.2.1. Eaux usées

Elles proviennent des sanitaires et de la cantine. Elles ne sont pas quantifiées ni analysées. Elles sont mélangées aux autres eaux et s'écoulent vers l'oued.

II.2.3.2.2. Eaux Industrielles

La quantification des entrées et sorties n'est pas fait. En sortie, les réseaux d'acide concentré, d'acide dilué, de base concentrée et de base diluée sont séparés et arrivent dans la station de neutralisation.

Les autres ateliers et activités rejettent leurs eaux industrielles directement dans le réseau commun avec les eaux de vannes.

Grâce à la station de neutralisation et celle d'épuration, les eaux résiduaires sont traitées en respectant les procédés suivants:

- Réduction du chrome Cr^{6+} au bisulfite de sodium en Cr^{3+} .
- Neutralisation des eaux basiques et acides par auto-neutralisation par mélanges et /ou par addition de soude et d'acide sulfurique.
- Contrôles par analyse du pH et du Cr^{6+} .
- Floculation (polyélectrolyte) sur séparateur à lamelles dans les bassins de décantation
- Rejet des effluents liquides dans le canal d'assainissement.
- Envoie des boues vers les lits de séchage.
- Stocks des boues dans des fûts dans l'enceinte de l'entreprise

II.2.3.3. Caractéristiques des rejets des eaux et des boues

Les agents de la station de neutralisation suivent les performances du système de traitement par la mesure du pH, recherchant la neutralité et une teneur en chromes inférieure aux normes.

Les services de l'UPT procèdent, pratiquement, chaque mois à des prélèvements pour analyses dans un laboratoire externe. Pour notre part, des échantillonnages et des analyses ont été réalisés dont les résultats sont inscrits dans le chapitre III de la partie II.

III. Etude climatique

Le climat est considéré comme l'un des facteurs les plus importants qui ont une influence directe ou indirecte sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols (FAURIE *et al.*, 2003). Il joue un rôle important dans la répartition et la survie des êtres vivants.

Notre région d'étude se situe dans la vallée d'Oued Sébaou, dans l'étage bioclimatique Subhumide, à variante doux et tempéré. Elle fait partie du climat méditerranéen, dans la zone de contact et de lutte entre les masses d'air polaire et tropical : d'Octobre-Novembre à Mars-Avril, les masses d'air arctiques l'emportent généralement et déterminent une saison froide et humide : c'est l'hiver. Durant les autres mois de l'année, ce sont les masses d'air tropical qui remontent et créent une chaleur et une sécheresse : c'est l'été. Ce temps variable fréquent sur la wilaya, est créé par des fronts discontinus, dus à la circulation zonale (Ouest en Est) de l'air. L'humidité est due à des dépressions de front polaire qui balayent les montagnes et provoquent de la pluie et de la neige (c'est un climat fortement influencé par la situation géographique).

Dans le cadre de notre étude climatique, nous avons utilisé les données météorologiques fournies par l'Office National de Météorologie de Tizi-Ouzou relatives à la station de Boukhalfa pour la période qui s'étale de 2001 à 2011.

III.1. Températures

En météorologie, la température (T°) exprime la température ressentie sous l'effet du vent. Elle est subjective et représente l'impression de chaud ou de froid, ou encore la température du vent.

Selon la figure 25 (Tableau 1 de l'annexe 3), les moyennes mensuelles de la wilaya de Tizi-Ouzou montrent un maximum au mois de Juillet-Aout ($28,7^\circ\text{C}$) et un minimum au mois de Janvier ($11,02^\circ\text{C}$) avec une moyenne annuelle de $19,13^\circ\text{C}$.

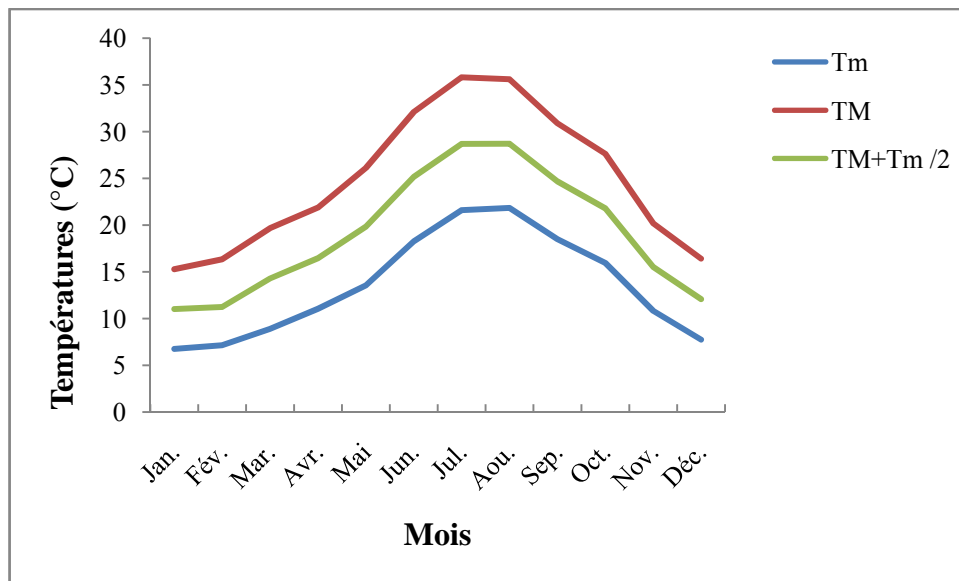


Figure 30 : Evolution des températures moyennes mensuelles dans la région de Tizi-Ouzou.

III.2. Précipitations

Les précipitations permettent une meilleure appréciation de la pluviométrie en facilitant l'analyse et la comparaison des moyennes mensuelles et annuelles.

Dans le cas de la wilaya de Tizi-Ouzou, où le climat est méditerranéen, la presque totalité des pluies tombent au printemps et à l'automne avec une moyenne de 600 à 1000 mm/an. Elle est relativement bien arrosée avec un gradient pluviométrique qui évolue du littoral vers le massif de Djurdjura, et un autre qui augmente avec l'altitude. Ces précipitations sont irrégulières d'une année à une autre avec l'abondance des neiges sur le Djurdjura et l'extrémité orientale du massif central, c'est le cas du dernier enneigement (Février 2012).

Généralement les pluies de la Kabylie sont soudaines, violentes et torrentielles, dont l'intensité dépasse toujours 30 mm en 24 heures (SELTZER, 1946).

La répartition et l'intensité des précipitations dans la wilaya de Tizi-Ouzou sont irrégulières d'une année à une autre, avec une moyenne annuelle de 613,37 mm. En effet, ces précipitations sont abondantes en hiver, importantes au mois de Janvier avec 142,45 mm, et très rares durant la période estivale, elles sont de 3,24 mm en Juillet comme le montre la figure 26 (Tableau 2 de l'annexe 3).

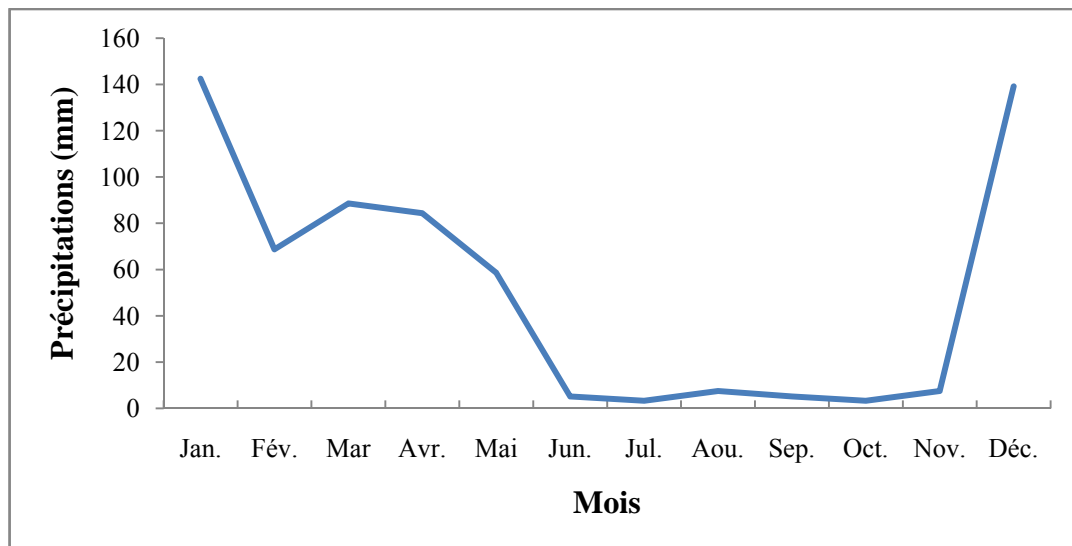


Figure 31: Courbe des variations mensuelles des précipitations pour la région de T.O.

III.3. Vent

Le vent exerce une grande influence sur les êtres vivants, il a une action indirecte, en abaissant ou en augmentant la température : dans les lieux très ventés, la croissance des végétaux peut être inhibée et la faune éliminée totalement ou partiellement.

Notre zone d'étude est caractérisée par un temps variable, crée par des fronts discontinus dus à la circulation zonale (de l'Ouest à l'Est) de l'air, avec l'intervention des vents nord, frais et humides, provenant de la mer. De plus le Sirocco (vent de Sud) souffle deux fois par an. C'est un vent chaud avec une action desséchante et une élévation marquée des températures, surtout en été (jusqu'à 46°C).

III.4. Synthèse climatique

L'analyse des températures et des précipitations d'une station permet de définir son étage bioclimatique, à travers le diagramme ombrothermique, le quotient pluviométrique et le climagramme d'Emberger.

III.4.1. Diagramme ombrothermique

Le climat méditerranéen se caractérise par une période sèche, illustrée par le diagramme ombrothermique, en partant d'une relation entre les précipitations moyennes annuelles et la température moyenne du même mois. De ce fait, BAGNOULS et GAUSSEN (1953) stipulent

qu'un mois est considéré sec quand le total des précipitations en millimètres est inférieur au double de la température en °C ($P < 2T$).

Le diagramme ombrothermique représenté dans la figure 27 (Tableau 3 de l'annexe 3), nous permet de déterminer la durée de la saison sèche ainsi que son intensité du moment qu'un mois est défini comme étant chaud lorsque sa température moyenne est supérieure à 20°C (BAGNOULS et GAUSSEN, 1953). Cette période s'étale de la fin Mai jusqu'au mi Septembre, elle dure 3 mois et quelques jours ; elle est longue et néfaste sur les êtres vivants, surtout la faune du sol. La saison humide s'étend quant à elle, sur le reste de l'année.

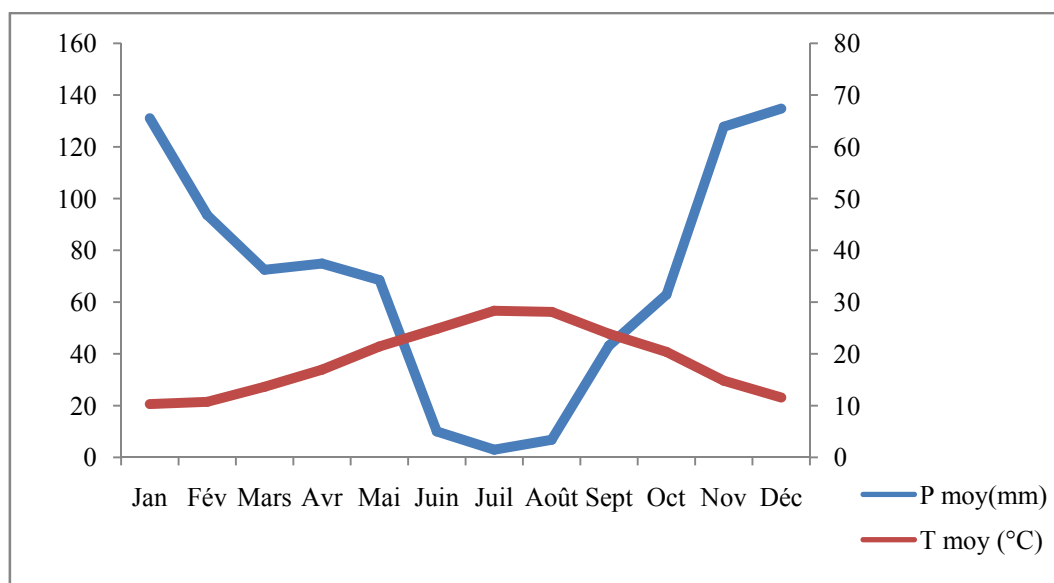


Figure 32 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour la station météorologique de Boukhalfa (2001-2011).

III.4.2. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q_2) élaboré en 1930 est spécifique au climat méditerranéen. Il tient compte des précipitations et des températures. Il est calculé à l'aide de la formule :

$$Q = \frac{100 P}{\frac{(M + m)(M - m)}{2}}$$

Cette formule a été simplifiée par STEWART (1969) pour l'Algérie et le Maroc:

$$Q = 3,43 \frac{P}{(M - m)}$$

Avec :

- ✓ Q : Quotient pluviométrique (mm/an)
- ✓ P : Précipitations moyennes annuelles (mm)
- ✓ M : Température maximale du mois le plus chaud (°C)
- ✓ m : Température minimale du mois le plus froid (°C)

Sur le climagramme d’Emberger (Figure 28), les stations d’étude (AZAZGA et OUED AISSI) situées dans la wilaya de Tizi-Ouzou sont classées dans l’étage bioclimatique subhumide à variante Tempérée.

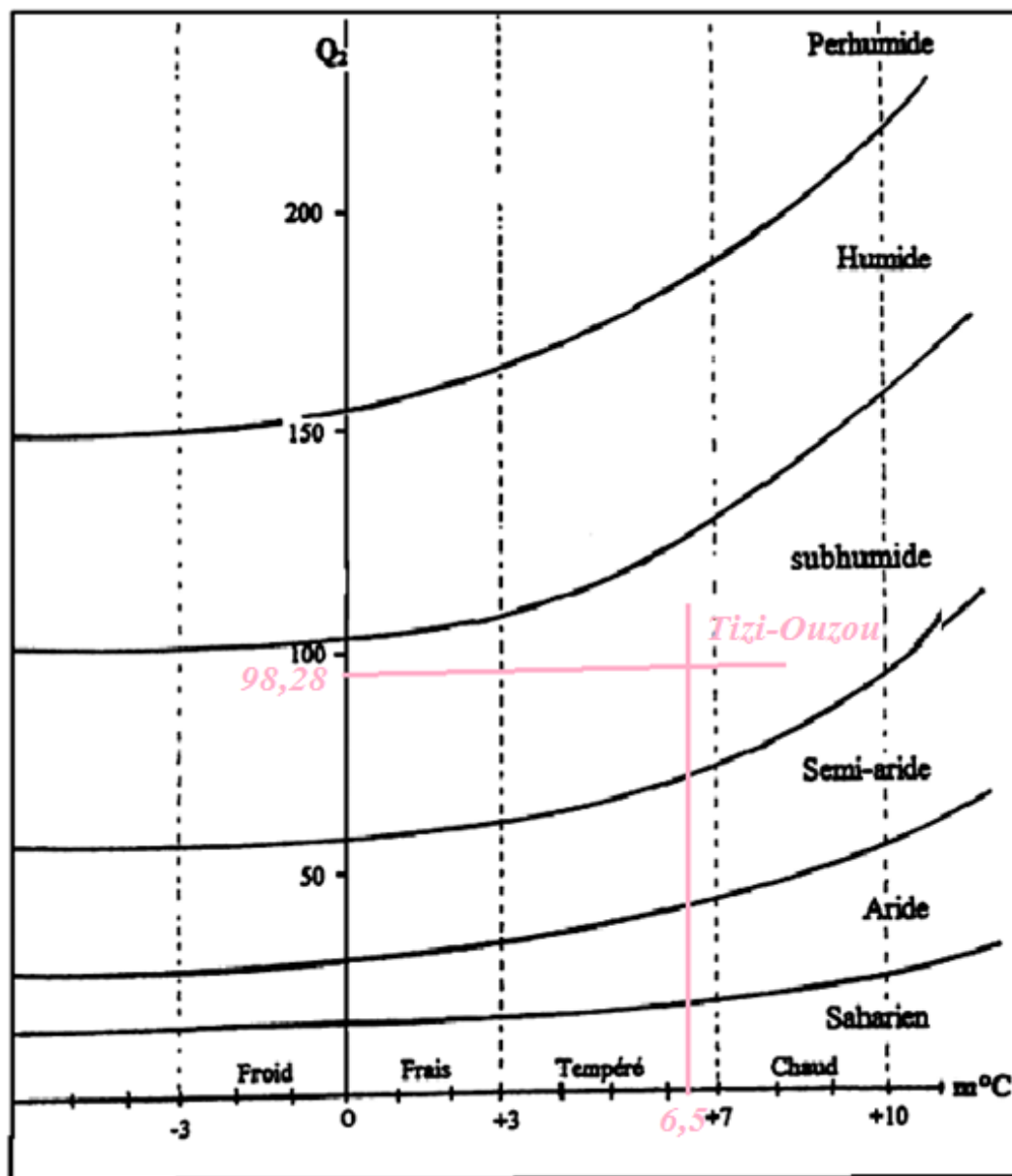


Figure 33 : Projection de la zone d’étude sur le climagramme d’Emberger.

CHAPITRE II

MATERIL ET METHODES

Il est vrai que le choix de stratégies d'échantillonnage apparait à première vue comme un problème très pragmatique et relevant d'avantage d'un ensemble de recettes que réellement d'une théorie ou d'une technique ; c'est pour cela que nous nous intéressons à l'identification physicochimique des polluants dans le milieu afin d'évaluer les conséquences qualitatives et quantitatives ainsi que leurs impacts sur la faune du sol.

I. Matériels et outils utilisés

I.1. Matériel d'échantillonnage

Afin de réaliser notre échantillonnage, nous avons utilisé le matériel suivant (Figure 34) :

- ✓ Des sacs en plastique pour assurer le transport des échantillons.
- ✓ Du papier et crayon graphite pour étiqueter immédiatement chaque prélèvement.
- ✓ Un piochant
- ✓ Un transplantoir
- ✓ De petits tubes contenant de l'alcool à 75°
- ✓ Quelques flacons ou pululiers secs ou contenant de l'alcool.
- ✓ Un quadrat d'échantillonnage de dimensions $L= l= 25$, $h=10$.



Figure 34: Matériel d'échantillonnage.

1.2. Matériel utilisé au laboratoire

Pour réaliser notre travail au laboratoire, nous avons utilisé (Figure 35) :

- ✓ Des entonnoirs (grands et petits)
- ✓ Une loupe binoculaire.
- ✓ Une trousse de dissection et un matériel de tri (pinces, mandibule, pipette, boîtes de Pétri, de petits piluliers, des gants,...).

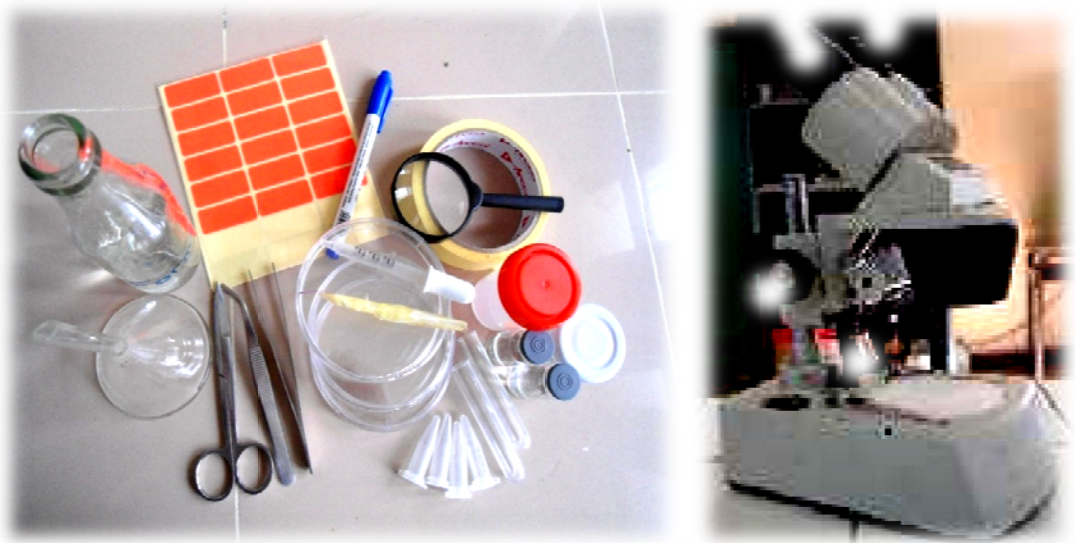


Figure 35: Matériel utilisé au laboratoire.

II. Protocole d'échantillonnage

L'étude biologique d'un milieu consiste à analyser une fraction représentative de la réalité des communautés présentes dans ce milieu. Elle met en œuvre, à cette fin, de nombreuses techniques d'échantillonnages et d'analyses dont le résultat ne prend de valeur qu'en comparaison avec un autre système, un autre milieu, ou une autre période (FREYSSINEL, 2007). Dans notre étude, nous nous intéressons à l'effet du rejet industriel sur la pédofaune avec succession de plusieurs périodes d'échantillonnage dans les deux stations à raison d'un prélèvement par mois durant trois saisons (Hiver, Printemps et Eté).

II.1. Analyse pédologique du sol

Dans le but de réaliser l'analyse pédologique, nous avons étalé les fractions du sol sur papier pour les sécher à l'air libre pendant deux semaines environ, puis nous les avons broyées avant de les faire passer au tamis à 2 mm de diamètre et sont bien conservées à sec à une température ambiante.

Une fois ces étapes achevées, on procède aux différentes analyses physico-chimiques. Ces dernières sont réalisées au laboratoire de l'Institut National de Recherche Forestière (INRF.) de Bainem, elles portent sur les éléments suivants :

II.1.1. Analyses physiques

II.1.1.1. La granulométrie

L'analyse granulométrique s'effectue sur 10 g de terre fine. Elle a pour but de déterminer le pourcentage des différentes fractions des particules minérales constituant les agrégats, tout en permettant l'évaluation de la stabilité structurale du sol. Cette analyse a été réalisée par la méthode internationale, modifiée par l'emploi de la pipette de ROBINSON. Elle consiste premièrement à détruire la matière organique par une attaque à l'eau oxygénée (H₂O₂), puis disperser les particules par un dispersant énergétique qui est l'examétaphosphate de sodium et par agitation mécanique, et enfin effectuer des prélèvements en respectant le temps de sédimentation.

II.1.1.2. L'Humidité résiduelle

C'est le pourcentage massique d'humidité de l'échantillon utilisé pour les analyses, par rapport à l'échantillon séché à 105 °C (% = g/100 g ou ‰ = g/kg).

II.1.2. Analyses chimiques

II.1.2.1. Le pH

Le pH représente l'acidité de la solution du sol exprimée par la quantité d'ions H⁺ libres qu'elle contient. Il est mesuré à l'aide d'un pH mètre en respectant le rapport sol/eau qui est de 1/5.

II.1.2.2. Le calcaire total

Le calcaire est une source importante de calcium dans le sol, ce qui permet l'activité de certains micro-organismes en milieux neutres ou légèrement alcalins.

Le calcaire total est déterminé par la méthode volumétrique à l'aide du calcimètre de BERNARD, en décomposant les carbonates de calcium par l'acide chlorhydrique en mesurant le volume de CO₂ dégagé.

II.1.2.3. Le calcaire actif

Le CaCO₃ actif (%) est déterminé par la méthode DROUINEAU - GALET en utilisant l'oxalate d'ammonium qui se combine au calcium du calcaire facile à dissoudre pour former des oxalates de calcium insolubles. L'excès d'oxalate d'ammonium est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique.

II.1.2.4. La matière organique

C'est une mesure de la qualité des résidus en décomposition, exprimée en pourcentage (%).

Le taux de carbone organique est déterminé par la méthode d'ANNE. Il est oxydé par du bichromate de potassium en excès, en milieu sulfurique. L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est titré par une solution de sel de MOHR (Sulfates de fer et d'ammonium) en présence de diphénylamine.

Dans le cas général, le taux de matière organique est approximativement obtenu par la formule suivante : $M.O.(%) = 1,72C(%)$.

II.1.2.5. La conductivité électrique (CE)

La CE (ds/m) est déterminée à l'aide d'un conductimètre sur un extrait aqueux au 1/5 du sol.

II.2. Analyse chimique des métaux lourds

Après leur tamisage à 2mm, les échantillons de sol ont été séchés dans une étuve à 105°C jusqu'à poids constant, puis ils sont mis en solution totale par une attaque acide et oxydante (HF, HNO₃, H₂O₂). Ce traitement permet le dosage de la majorité des éléments du

tableau périodique dans lequel font partie les métaux lourds, après l'élimination des matières organiques présentes.

Le dosage des métaux lourds (Cd, Pb, As, Zn,...) a été réalisé en utilisant les normes de la méthode ISO (ISO 8288, 1986 pour le Pb ; ISO 9174, 1998 pour le Cr ; ISO 8288, 1986 pour le Zn ; ISO 8288, 1986 pour le Cd ; ISO 8288, 1998 pour le Cu ; ISO 12020, 1984 pour le Al ; ISO 5666, 1999 pour le Hg). Les analyses sont faites au laboratoire du ministère de l'environnement à Benaknoun précisément au niveau de l'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable (ONEDD.).

II.3.Méthode de prélèvement

En matière de prélèvement, il faut pouvoir adapter certaines techniques, voire mixer plusieurs d'entre elles afin d'effectuer des prélèvements dans le sol et ses annexes (COINEAU, 1974).

Dans le cadre de notre étude, l'échantillonnage est aléatoire et s'est fait à l'aide d'un quadrat afin d'effectuer un prélèvement chaque mois (de Décembre 2011 à Aout 2012) avec un niveau d'échantillonnage de 0 à 30 cm répartis comme suit :

- le premier niveau (N_1) correspond à la couche 0 à 10 cm de profondeur,
- le deuxième niveau (N_2) correspond à la couche 10 à 20 cm de profondeur,
- le troisième niveau (N_3) correspond à la couche 20 à 30 cm de profondeur.

Ces prélèvements concernent un sol pollué et un sol témoin prélevés au niveau d'une pente distante d'environ 1Km du site pollué.

A l'aide d'une pelle, nous avons ramassé les échantillons de sol tout en récoltant la pédofaune. Chaque échantillon est mis dans son propre sac afin d'assurer son transport.

Cette méthode d'échantillonnage permet de capturer des organismes dans leur milieu et de faire un inventaire (FREYSSINEL, 2007).

II.4.Méthode d'extraction des micro-organismes et conservation des échantillons

L'extraction des micro-organismes du sol consiste à les séparer de leur substrat. Il existe plusieurs méthodes d'extraction, mais dans notre étude, nous avons opté pour l'extraction par

voie sèche, c'est la méthode classique de Berlese-Tullgren. C'est une méthode sélective (dynamique) par laquelle les microarthropodes (Acariens, collemboles, et autres larves de petits insectes ptérygotes) sont récoltes sans l'intervention d'un opérateur (AMRI, 2006).

La technique consiste à modifier les conditions de vie des micro-organismes par l'utilisation d'agents thermodynamiques : l'éclairage, l'élévation de la température et le dessèchement incitant les animaux à quitter l'échantillon, grâce à leur tactisme. Le principe de cette technique est de placer un volume de terre sur un tamis à large mailles posé sur un entonnoir avec une ouverture de 27 cm de diamètre. L'embout de ce dernier est enfoncé dans un autre entonnoir plus petit de 10 cm de diamètre qui oriente la faune dans le pululier contenant de l'alcool éthylique à 75° où elle est piégée (Figure 36).



Figure 36: Appareil de Berlese-Tullgren simplifié.

Afin d'accélérer la fuite des microarthropodes, nous avons placé une lampe à filament d'une puissance de 70 watts, située à une distance de 25 cm au dessus du tamis pendant 5 jours.

Des précautions sont à prendre pour une meilleure conduite de l'extraction afin d'améliorer le rendement :

* Les échantillons de sol doivent être manipulés avec précautions pour ne pas les compacter et empêcher les animaux d'en sortir, cela pendant les 48 à 72h qui suivent l'échantillonnage.

* Retarder d'une journée l'allumage de la lampe pour ne pas abimer les microarthropodes de la surface et qu'ils aient le temps pour descendre.

Remarque

- Avant l'emplacement de l'appareil de Berlèse, toute la macrofaune visible à l'œil nu est prélevée et mise dans des flacons contenant de l'alcool conservateur à 70°.
- Pour une bonne conservation des échantillons, nous utilisons généralement de l'alcool à 70° pour la majorité des microarthropodes, mais dans certains cas, nous utilisons du formol à 4° pour la conservation de certaines caractéristiques telle que la couleur des organismes à corps mou (vers de terre, larves,...).
- Il faut étiqueter les flacons contenant les échantillons de faune récoltée afin de faciliter l'identification tout en indiquant la station, la date de l'échantillonnage et le numéro de l'échantillon.

II.5. Identification et dénombrement de la récolte

Pour bien pouvoir identifier et dénombrer les organismes recueillis nous avons procédé comme suit :

II.5.1. Le tri

Les individus extraits d'un échantillon sont mis dans une boîte de Pétri pour entamer le tri et séparer chaque groupe faunistique tout seul, à l'aide d'une pince. La pédofaune visible à l'œil nu est facilement reconnaissable, alors que les microarthropodes sont reconnus à la loupe binoculaire au grossissement suffisant pour pouvoir les différencier en collemboles, acariens, araignées, pseudo-scorpions, en larves et adultes pour les petits insectes. Une fois tout est séparé, nous procédons à un premier comptage qui permet de déterminer le nombre total d'individus de chaque taxon présent dans chaque échantillon. Puis suivra un deuxième comptage après l'identification (Figure 37).

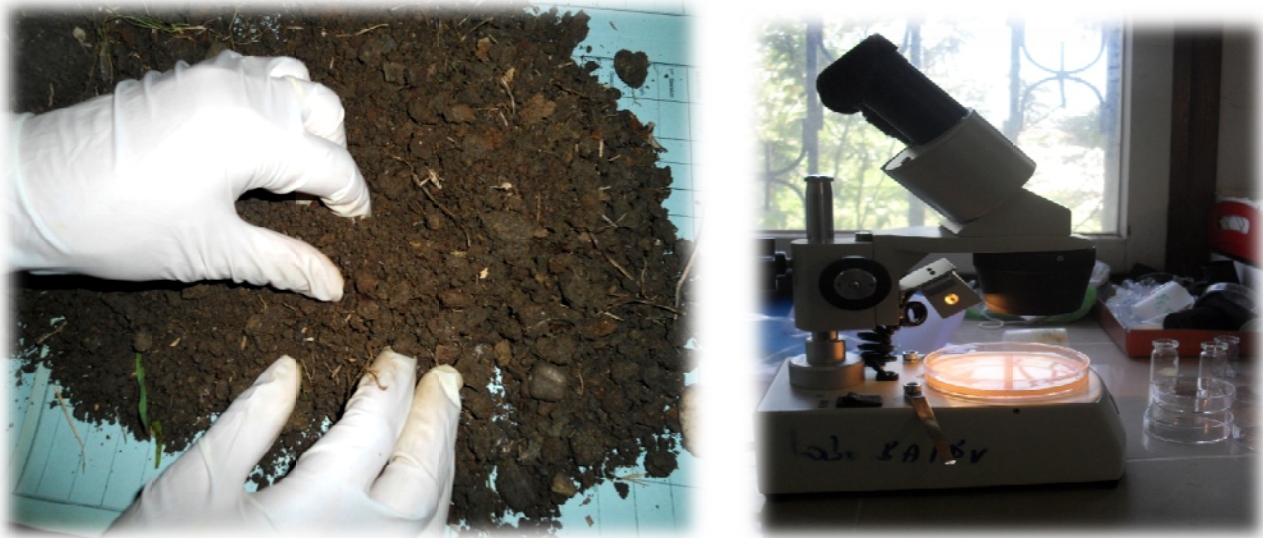


Figure 37: Le tri de la pédofaune.

II.5.2.L'identification et la détermination

C'est la partie laborieuse du travail, car seule la détermination correcte des organismes permet de franchir le pas suivant, celui de leur écologie et du rôle joué par chacun dans le sol (GOBAT *et al.*, 2003). Il faut aussi accumuler les informations pour comprendre la place et l'impact qu'ils ont dans le milieu (FREYSSINEL, 2007) (Figure 38).



Figure 38: Conservation des échantillons.

L'identification des êtres vivants à l'espèce constitue le niveau le plus intéressant. En effet, l'ensemble des connaissances biologiques et comportementales des organismes sont connues et organisées à ce niveau, mais elles restent très inégales d'un groupe à l'autre et obligent souvent à avoir recours à des spécialistes.

L'approche fonctionnelle ne nécessite pas forcément d'atteindre ce niveau de détermination et permet néanmoins d'obtenir une information suffisante pour appréhender de manière globale le fonctionnement du milieu. Le niveau varie donc en fonction du groupe étudié, de la qualité d'information souhaitée, mais aussi des outils à disposition (FREYSSNEL, 2007).

Notre Identification est orientée par des clés d'identification et des outils de détermination basés sur les caractères morphologiques du corps (Voir annexe 2) parmi lesquelles, nous citons :

- ✓ La clé de détermination de JEAN-JACQUES GEOFFROY (1999-2000).
- ✓ La clé de détermination de MOLINATTI, URGELLI et CHARRON, mise en forme par MARCINIAK.
- ✓ la clé des ordres et familles des collemboles selon Jordana et ARBEA, 1989 traduite de l'espagnol par HAMRA-KROUA, 2005, citée par AMRI, 2006.

Cette identification est complétée par l'aide de M^{lle} SETBEL, Docteur d'Etat, spécialiste en entomologie, et M^{lle} BOUNOUA S. Magister, au laboratoire de Biologie animale au département de Biologie à l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, ainsi que le professeur DOUMANDJI de l'Institut National d'Agronomie à Alger.

II.6. Analyse écologique

Pour une meilleure approche de la structure des peuplements étudiés sur sols témoins et pollués des deux stations (EI. et ENIEM.), nous avons calculé les paramètres descriptifs suivants :

II.6.1. Qualité de l'échantillonnage

Selon BLONDEL (1969), la qualité d'échantillonnage (Q) est calculée par le rapport du nombre d'espèces comptées une seule fois (a) sur le nombre total des relevés (N). Elle s'exprime par $Q = a/N$.

Si Q tend vers 0, l'inventaire est qualitativement réalisé avec précision mais si Q tend vers 1, la précision de l'échantillonnage est insuffisante.

II.6.2. Richesse spécifique

La richesse spécifique (S) représente le nombre total des espèces que comporte un peuplement considéré dans un écosystème donné. C'est l'un des paramètres fondamentaux qui caractérise un peuplement (RAMADE, 1984).

II.6.3. Abondance des espèces

Elle est estimée par le rapport du nombre d'individus de l'espèce considérée et le nombre total des individus. Elle est exprimée par la formule $F\% = n_i/N \times 100$

II.6.4. Dominance de Berger-Parker

C'est la contribution de l'espèce la plus abondante par rapport à l'abondance totale du peuplement dans un relevé. Elle est calculée avec l'indice de Berger-Parker (BP) :

$$BP = N_{\max}/N$$

Avec

- ✓ N_{\max} : nombre d'individus de l'espèce dominante dans un relevé,
- ✓ N : nombre total d'individus dans ce même relevé.

II.6.5. Indice de Shannon-Weaver (H')

Selon DAJOZ (1985), H' permet d'évaluer la diversité faunistique d'un milieu donné et de comparer les faunes de différents milieux malgré la variation des nombres d'individus récoltés. Il est exprimé en bits par la formule suivante :

$$H' = -\sum (p_i \log p_i)$$

- ✓ i : espèce du milieu d'étude,
- ✓ p_i : proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces dans le milieu d'étude. Elle se calcule par la formule suivante :

$$p_i = n_i/N$$

- ✓ n_i : nombre d'individus de l'espèce i ,
- ✓ N : effectif total des individus de toutes les espèces.

Une communauté est d'autant plus diversifiée que l'indice de Shannon-Weaver (H') sera plus grande.

II.6.6. Équitabilité

L'équitabilité correspond au rapport entre la diversité observée (\overline{H}) et la diversité maximale (H_{\max}). Elle est donnée par la formule suivante :

$$E = \overline{H} / H_{\max}$$

Avec $H_{\max} = \log S$ où S est la richesse totale.

D'après RAMADE (1984), l'équitabilité varie de **0** à **1**. Si **E** tend vers **0**, ça signifie qu'il y a dominance de quelques espèces ; mais si **E** tend vers **1**, toutes les espèces présentent la même dominance.

II.7. Analyses statistiques

Afin d'évaluer l'impact de la pollution industrielle sur la pédofaune, nous avons opté pour des analyses statistiques appropriées à notre thème d'étude, réalisées par le logiciel "Statistica".

II.7.1. Analyse de la variance (ANOVA)

Elle est proposée par DAGNELIE en 1975, afin d'étudier la variabilité des données expérimentales. C'est une analyse à deux facteurs (Pollution, Saisons), réalisée dans le but de déterminer la variabilité des groupes faunistiques verticalement à travers les différents niveaux de profondeur du sol en fonction des saisons et horizontalement à travers la pollution des différentes stations, puis estimer la variabilité des populations pour l'ensemble de ces facteurs.

Dans le cas significatif, cette analyse est complétée par le test de Newman et Keuls qui permet la comparaison des moyennes puis la détermination des groupes homogènes.

II.7.2. Analyse en composantes principales (ACP)

Proposée par ROBERT en 1989, c'est une méthode essentiellement descriptive des données quantitatives qui permettent de représenter, sous forme de graphiques, le maximum d'informations contenues dans un tableau de données tout en minimisant les pertes d'informations (SAPORTA, 1996).

L'utilisation de cette méthode permet de mettre en évidence d'une manière synthétique, les affinités et les impacts entre les groupes faunistiques, la pollution et les saisons.

II.7.3. Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Méthode très répandue en Ecologie et utilisée pour traiter des données qualitatives nombreuses (BONIN et TATONI, 1990).

Elle nous permet de montrer l'influence saisonnière et celle de la pollution sur les groupes faunistiques étudiés.

CHAPITRE III

RESULTATS ET DISCUSSION

I. Caractéristiques pédologiques des sols étudiés

Les résultats des analyses physico-chimiques obtenus sont illustrés dans les tableaux 7 et 8 interprétés selon les normes internationales (voir annexe 1).

I.1. La station 1 (E.I)

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols de l'E.I sont représentés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Résultats des analyses physico-chimiques des sols de l'E.I.

Sols	Analyses physiques					Analyses chimiques							Texture
	A%	LF%	LG%	SF%	SG%	pH	CACO ₃ Total	CACO ₃ Actif	C.E ds/cm	C Total	M.O	H%	
Témoin	39	9	28,8	3,97	19,16	7,8	3,2	□□	1,9	4,63	7,96	1,6	<i>L.A</i>
Pollué	25	7,5	38,8	6,2	22,4	7,5	16,62	5	2,1	10,33	17,76	0,01	<i>L</i>

La caractérisation physico-chimique de nos sols nous a permis de distinguer un sol témoin qui se situe sur une pente faible, de texture limono-argileuse avec un pH alcalin de 7,8. C'est un sol faiblement salé qui présente une CE=1,9 ds/cm, faiblement calcaire de l'ordre de 3 et bien pourvu en matière organique (MO=7,96%). Il est occupé par une végétation naturelle d'herbacées. Par contre, le sol pollué est de texture limoneuse proche de 50% de limons. C'est un sol à pH neutre de 7,5, salé (CE=2,1 ds/cm), moyennement calcaire avec un total de 21,62% par combinaison du calcaire total et actif. Ce sol est garni de racines denses et profondes et très bien pourvu en matière organique qui est de l'ordre de 18%, ce qui explique sa couleur noire (Voir les normes d'interprétation de l'annexe 1).

I.2. La station 2 (ENIEM)

Les résultats des analyses physico-chimiques des sols de l'ENIEM sont représentés dans le tableau 8.

Tableau 8 : Résultats des analyses physico-chimiques des sols de l'ENIEM.

Sols	Analyses physiques					Analyses chimiques							Texture
	A%	LF%	LG%	SF%	SG%	pH	CaCO ₃ Total	CaCO ₃ Actif	C.E ds/cm	C Total	M.O %	H%	
Témoin	22,5	16	41,6	8,16	11,6	8,2	9,7	7,1	2,3	2,10	3,61	3,3	L
Pollué	23,5	15	40	9,5	11,9	8,3	8,9	2,1	1,8	2,31	3,97	3,02	L

Les résultats obtenus nous montrent que ces sols de l'ENIEM. sont de texture limoneuse avec 57,6% et 55% respectivement pour le témoin (champs d'agrumes) et le pollué qui est occupé par une végétation naturelle et un réseau dense de Graminées (roseau) qui reflète sa pollution. Ce sont des sols faiblement salés (CE entre 1,8 et 2,3 ds/cm), de couleur brune, bien pourvus en matière organique (de l'ordre de 4%), avec un pH alcalin de 8,2 et 8,3 successivement pour le témoin et le pollué. Ils sont modérément calcaires avec un total allant de 11% à 17%, ce qui permet la formation d'agrégats qui facilitent la circulation de l'eau et des éléments nutritifs.

II. Caractérisation chimique des métaux lourds dosés

Les résultats des analyses chimiques des métaux lourds effectuées sur les sols étudiés sont indiqués dans le tableau 9. Nous avons opté pour l'analyse du sol témoin afin de l'utiliser comme référence et norme de comparaison avec le sol pollué du moment que l'Algérie ne possède pas de normes concernant la pollution des sols ou des sédiments.

Tableau 9 : Résultats des analyses chimiques des métaux lourds des sols de l'E.I et de l'ENIEM.

Stations	Echantillons	Pb	Cr	Zn	Cd	Cu	Al	Hg
		mg/kg						g/kg
ENIEM.	Sol Témoin	33,6	45,4	90,9	<3	26,2	4,5	1109
	Sol pollué	34,8	47,1	94,3	< 3	27,2	11,9	1281
EI.	Sol Témoin	< 20	< 20	< 3	<3	66	9,6	470
	Sol pollué	33,6	48,4	70,6	< 3	89,9	14,6	3842

Selon les résultats du tableau 9 nous constatons une différence significative entre le sol témoin et le sol pollué au niveau de l'E.I. où la teneur en métaux lourds augmente dans le sol pollué (Pb=33,6 mg, Cr=48,4 mg, Zn=70,6 mg), par rapport au sol témoin (Pb et Cr < 20 mg,

Zn < 3mg). Cela est dû au stockage des déchets à l'air libre et sur le sol directement, sans oublier de citer le bassin de rejets de divers produits toxiques (exemple des cyanures) déjà mis à ce niveau, ainsi que le rejet sortant depuis les stations de neutralisation et celle d'épuration défaillantes.

Au niveau de l'ENIEM., les résultats des analyses des métaux lourds du tableau 9 ne montrent pas de différence significative entre le sol témoin et le sol pollué (Pb=33,6 et 34,8 mg, Cr=45,4 et 47,1 mg, Zn=90,9 et 94,3 mg pour le sol témoin puis le pollué) suite à l'utilisation du rejet final de cette usine, qui est riche en métaux, par les agriculteurs de la région afin d'arroser leurs champs d'agrumes depuis des générations selon le témoignage des propriétaires.

III. Caractérisation de la faune récoltée

La distribution de la pédofaune dépend de la nature physico-chimique du sol, de la variation saisonnière des facteurs climatiques du milieu, du rythme saisonnier ainsi que le régime alimentaire de la population animale considérée (BACHELIER, 1978 ; GOBAT *et al.*, 2003).

III.1. Composition faunistique globale

Les résultats de l'échantillonnage révèlent la présence d'un total de 18 Ordres réparties en 60 familles et 102 espèces (Tableau 10 et annexe 4).

Tableau 10 : Ensemble des groupes faunistiques identifiés dans les stations étudiées.

Groupes	Annélides	Arachnides	Collemboles	Crustacés	Gastéropodes	Insectes	Myriapodes
Ordres	1	2	3	1	1	8	2
Familles	1	9	7	2	6	30	5
Espèces	1	18	18	4	9	52	6

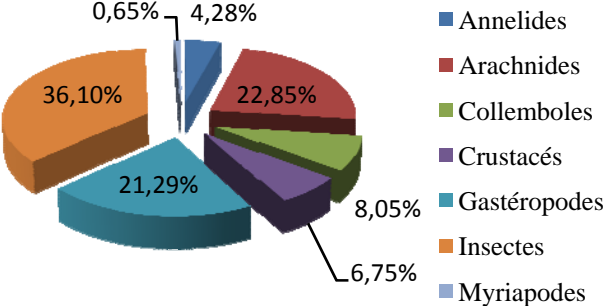
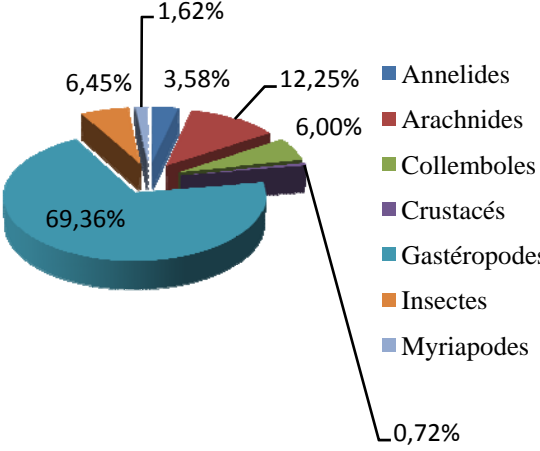
D'après le tableau 10, la richesse faunistique de notre région d'étude est représentée par les Insectes, les Collemboles, les Arachnides, les Gastéropodes, les Myriapodes, les Crustacés et les Annélides. Ces groupes sont cités selon leur prédominance.

III.2. Résultats d’inventaire

III.2.1. Résultats d’inventaire à l’EI.

Le tableau 11 réunit les différents groupes faunistiques recensés dans les sols témoins et pollués de l’EI.

Tableau 11 : Abondance des classes de pédofaune récoltée dans les sols témoin et pollué de l’EI.

<i>Résultats d’inventaire du sol témoin</i>	<i>Résultats d’inventaire du sol pollué</i>																												
<p>Au cours de notre échantillonnage au niveau du sol témoin de l’EI. nous avons récolté un effectif total de 770 individus dont les proportions sont représentées dans la figure 34.</p> <div data-bbox="102 1061 804 1704" style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>Sol témoin</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>■ Annelides</td><td>4,28%</td></tr> <tr><td>■ Arachnides</td><td>22,85%</td></tr> <tr><td>■ Collemboles</td><td>0,65%</td></tr> <tr><td>■ Crustacés</td><td>8,05%</td></tr> <tr><td>■ Gastéropodes</td><td>21,29%</td></tr> <tr><td>■ Insectes</td><td>36,10%</td></tr> <tr><td>■ Myriapodes</td><td>6,75%</td></tr> </table> </div> <p>Figure 39: Abondance relative des individus recensés dans le sol témoin de l’EI.</p> <p>D’après la figure 39, le sol témoin de l’EI. comporte les Insectes, c’est le groupe le plus représentatif avec</p>	■ Annelides	4,28%	■ Arachnides	22,85%	■ Collemboles	0,65%	■ Crustacés	8,05%	■ Gastéropodes	21,29%	■ Insectes	36,10%	■ Myriapodes	6,75%	<p>Au cours de notre échantillonnage au niveau du sol pollué de l’EI. nous avons récolté un effectif total de 1534 individus dont les proportions sont représentées dans la figure 35.</p> <div data-bbox="836 1061 1490 1704" style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <p>sol pollué</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>■ Annelides</td><td>3,58%</td></tr> <tr><td>■ Arachnides</td><td>12,25%</td></tr> <tr><td>■ Collemboles</td><td>0,72%</td></tr> <tr><td>■ Crustacés</td><td>6,00%</td></tr> <tr><td>■ Gastéropodes</td><td>69,36%</td></tr> <tr><td>■ Insectes</td><td>6,45%</td></tr> <tr><td>■ Myriapodes</td><td>1,62%</td></tr> </table> </div> <p>Figure 40: Abondance relative des individus recensés dans le sol pollué de l’EI.</p> <p>D’après la figure 40, dans le sol pollué de l’EI. nous signalons la dominance des Gastéropodes</p>	■ Annelides	3,58%	■ Arachnides	12,25%	■ Collemboles	0,72%	■ Crustacés	6,00%	■ Gastéropodes	69,36%	■ Insectes	6,45%	■ Myriapodes	1,62%
■ Annelides	4,28%																												
■ Arachnides	22,85%																												
■ Collemboles	0,65%																												
■ Crustacés	8,05%																												
■ Gastéropodes	21,29%																												
■ Insectes	36,10%																												
■ Myriapodes	6,75%																												
■ Annelides	3,58%																												
■ Arachnides	12,25%																												
■ Collemboles	0,72%																												
■ Crustacés	6,00%																												
■ Gastéropodes	69,36%																												
■ Insectes	6,45%																												
■ Myriapodes	1,62%																												

<p>un taux de 36,10%, suivis par les Arachnides avec 22,85% puis les Gastéropodes avec 21,29%, alors que les Collemboles et les Crustacées ne représentent que 8,05% et 6,75%. En fin les Annélides sont faiblement représentés avec un taux faible de 4,28% et les Myriapodes avec un taux presque nul de 0,65%.</p>	<p>avec un taux de 69,36%, puis viennent les Arachnides avec 12,25%, les Collemboles et les Insectes avec un taux presque similaire de 6%. En fin les taux faibles sont ceux des Annélides avec 3,58%, des Myriapodes avec 1,62% et des Crustacées avec 0,72%.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Par comparaison des figures 39 et 40 nous constatons une différence marquée dans la composition et la répartition des divers groupes de pédofaune recensés entre le sol témoin et le sol pollué de l'EI. Le sol témoin montre des taux voisins qui ne dépassent pas les 40% entre les différents groupes de pédofaune repérés. Cela signifie que cette dernière s'est acclimatée avec le milieu et ses conditions naturelles environnantes; contrairement au sol pollué qui montre une dominance visible des Gastéropodes, au voisinage de 70% par rapport aux autres groupes faunistiques, suite à l'humidité élevée du milieu due au rejet industriel, la disponibilité du calcaire et l'adaptation à la pollution en raison de leurs caractéristiques éco-physiologiques et leur résistance à la pollution industrielle par les métaux lourds. C'est pour cela qu'elles sont classées comme des espèces bio-indicatrices.

Selon BACHELIER (1978) et GOBAT *et al.* (2003), la distribution de la pédofaune dépend de la nature physico-chimique du sol, de la variation des conditions climatiques du milieu, du rythme saisonnier et du régime alimentaire de la population animale considérée.

Les figures 40 et 41 représentent les différentes espèces de pédofaune inventoriées dans le sol témoin et le sol pollué de la station 1.

discussion

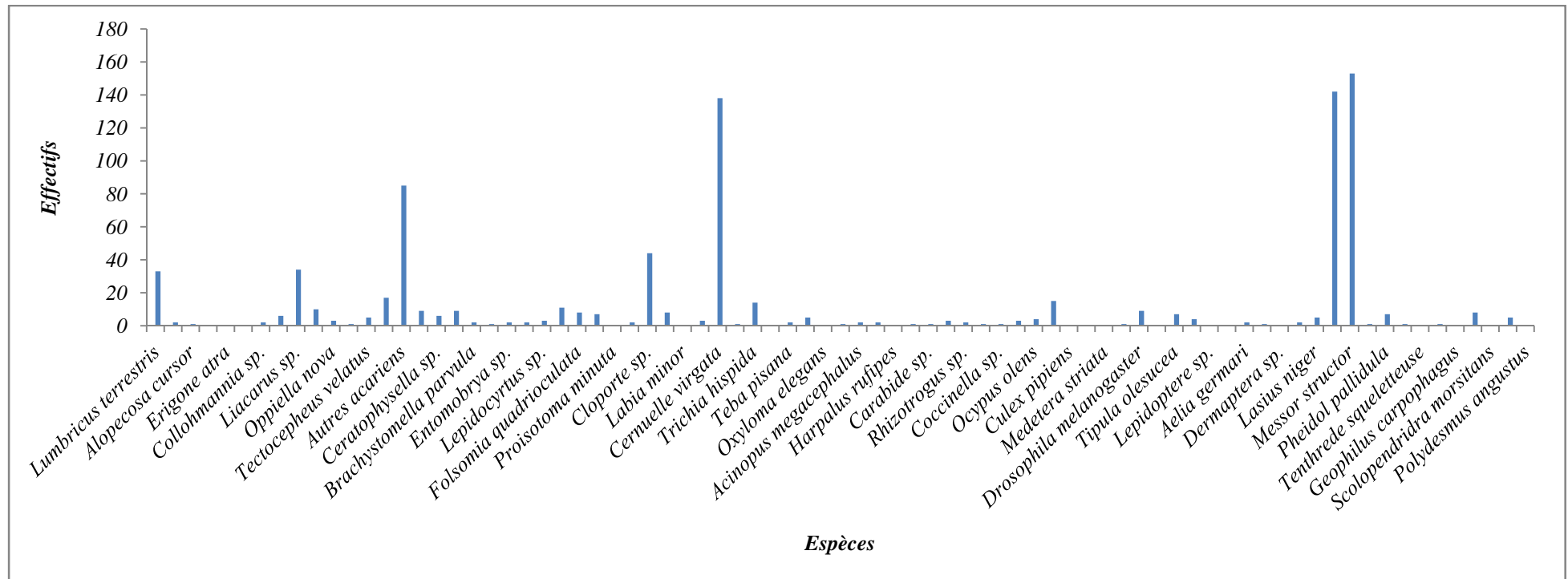


Figure 41 : Espèces de la pédofaune inventoriées dans le sol témoin de l'EI.

discussion

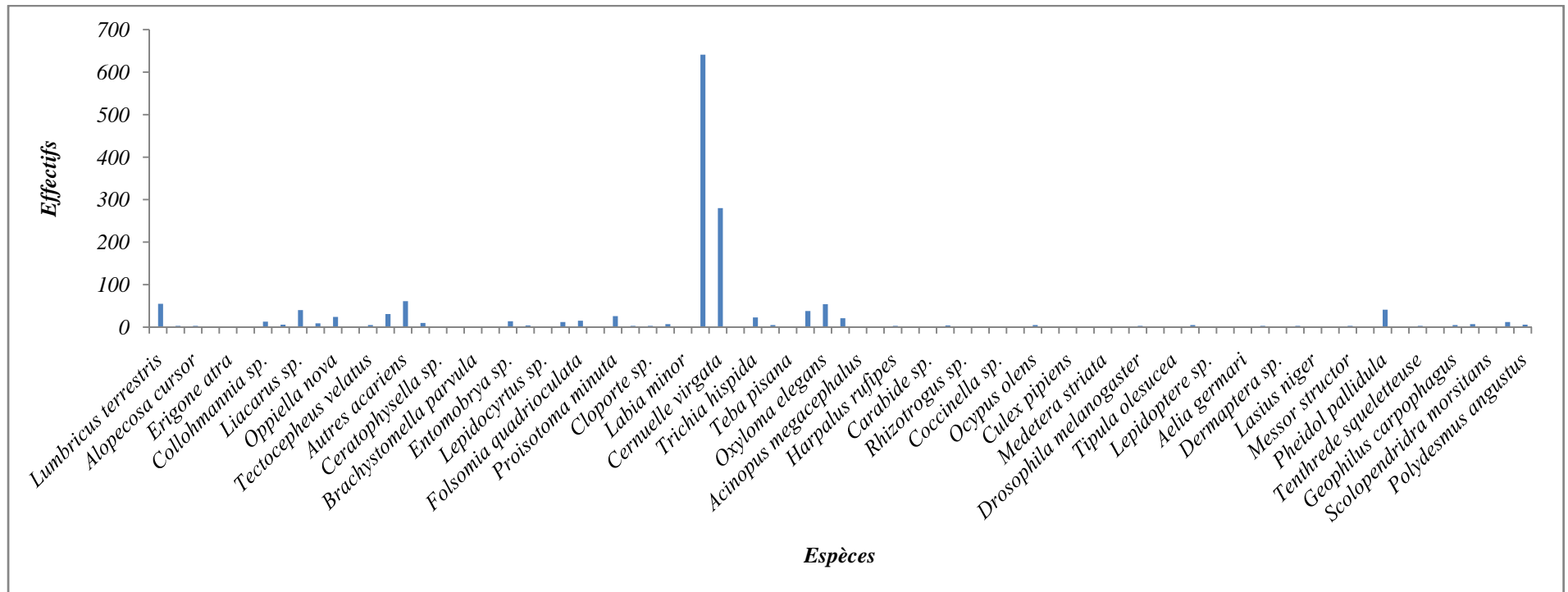


Figure 42 : Espèces de la pédofaune inventoriées dans le sol pollué de l’EI.

D'après les figures 41 et 42, nous recensons une richesse spécifique de 59 espèces dans le sol témoin et 67 espèces dans le sol pollué. Nous constatons que ces organismes dépendent de leur milieu de vie par la disponibilité de certains facteurs édaphiques principalement l'humidité, la structure, la matière organique et le pH. La diversité du sol pollué par rapport au sol témoin peut être expliquée par la qualité du rejet industriel de l'EI. qui fournit aux espèces l'humidité et la M.O (comme le montrent les analyses pédologiques) nécessaires à leur survie tout en développant une adaptation et une certaine résistance à cette pollution.

Dans le sol témoin, nous remarquons l'abondance de *Messor structor* avec 153 individus, *Liasus niger* représentée par 142 individus et *Cernuella virgata* par 138 individus; alors que dans le sol pollué nous notons l'abondance remarquable des gastéropodes tels que : *Cernuella virgata* représentée par 641 individus, *Trichia hispida* avec 280 individus et *Teba pisana* qui présente un effectif moins élevé de 54 individus. .

Selon BACHELIER (1978), les Gastéropodes sont abondants dans les litières humides avec une préférence pour les milieux calcaires. Ce sont des consommateurs primaires de la matière organique du sol.

III.2.2. Résultats d'inventaire à l'ENIEM.

Le tableau 12 réunit les différents groupes faunistiques recensés dans les sols témoins et pollués de l'ENIEM.

Tableau 12 : Abondance des classes de pédofaune récoltées dans les sols témoin et pollué de l'ENIEM.

<i>Résultats d'inventaire du sol témoin</i>	<i>Résultats d'inventaire du sol pollué</i>																																
<p data-bbox="124 450 799 651">Au cours de notre échantillonnage au niveau du sol témoin de l'ENIEM., nous avons récolté un effectif total de 951 individus dont les proportions sont représentées dans la figure 43.</p> <div data-bbox="129 667 783 1288"> <table border="1" data-bbox="129 667 783 1288"> <caption>Sol témoin</caption> <thead> <tr> <th>Classe</th> <th>Proportion (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Annelides</td> <td>4%</td> </tr> <tr> <td>Arachnides</td> <td>41,32%</td> </tr> <tr> <td>Collemboles</td> <td>29,96%</td> </tr> <tr> <td>Crustacés</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Gastéropodes</td> <td>15,66%</td> </tr> <tr> <td>Insectes</td> <td>8,93%</td> </tr> <tr> <td>Myriapodes</td> <td>0,32%</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p data-bbox="167 1310 759 1397">Figure 43 : Abondance relative des individus recensés dans le sol témoin de l'ENIEM.</p> <p data-bbox="124 1473 799 1899">D'après la figure 43, le sol témoin de l'ENIEM. regroupe les Arachnides, comme groupe dominant avec un taux de 41,32%, suivis par les Collemboles avec 29,96% puis les Gastéropodes avec 15,66% et les Insectes avec 8,93%, alors que les Annélides ne représentent que 4%. Enfin nous avons les Myriapodes avec un taux très faible de 0,32%. Nous signalons l'absence des Crustacés.</p>	Classe	Proportion (%)	Annelides	4%	Arachnides	41,32%	Collemboles	29,96%	Crustacés	0%	Gastéropodes	15,66%	Insectes	8,93%	Myriapodes	0,32%	<p data-bbox="826 450 1485 651">Au cours de notre échantillonnage au niveau du sol pollué de l'ENIEM., nous avons récolté un effectif total de 399 individus dont les proportions sont représentées dans la figure 44.</p> <div data-bbox="831 667 1469 1288"> <table border="1" data-bbox="831 667 1469 1288"> <caption>Sol pollué</caption> <thead> <tr> <th>Classe</th> <th>Proportion (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Annelides</td> <td>10,77%</td> </tr> <tr> <td>Arachnides</td> <td>15,53%</td> </tr> <tr> <td>Collemboles</td> <td>4,51%</td> </tr> <tr> <td>Crustacés</td> <td>0,50%</td> </tr> <tr> <td>Gastéropodes</td> <td>50,12%</td> </tr> <tr> <td>Insectes</td> <td>17,79%</td> </tr> <tr> <td>Myriapodes</td> <td>0,75%</td> </tr> </tbody> </table> </div> <p data-bbox="858 1310 1450 1397">Figure 44 : des Abondance relative individus recensés dans le sol pollué de l'ENIEM.</p> <p data-bbox="826 1473 1485 1951">D'après la figure 44, le sol pollué de l'ENIEM., nous constatons la dominance des Gastéropodes avec un taux de 50,12%, puis viennent les Insectes et les Arachnides avec des taux représentatifs de 17,79% et 15,53%, les Annélides représentent 10,77% de la faune totale. Viennent enfin les Collemboles avec un taux faible de 4,51%, et des taux très faibles sont observés pour les Myriapodes (0,75%) et les Crustacés (0,50%).</p>	Classe	Proportion (%)	Annelides	10,77%	Arachnides	15,53%	Collemboles	4,51%	Crustacés	0,50%	Gastéropodes	50,12%	Insectes	17,79%	Myriapodes	0,75%
Classe	Proportion (%)																																
Annelides	4%																																
Arachnides	41,32%																																
Collemboles	29,96%																																
Crustacés	0%																																
Gastéropodes	15,66%																																
Insectes	8,93%																																
Myriapodes	0,32%																																
Classe	Proportion (%)																																
Annelides	10,77%																																
Arachnides	15,53%																																
Collemboles	4,51%																																
Crustacés	0,50%																																
Gastéropodes	50,12%																																
Insectes	17,79%																																
Myriapodes	0,75%																																

Par comparaison des figures 43 et 44 nous constatons une différence marquée dans la composition et la répartition des divers groupes de pédofaune recensée entre le sol témoin et le sol pollué au niveau de l'ENIEM. Le sol témoin montre une répartition presque équitable des différents représentants de la pédofaune dont le taux avoisinant les 40%; contrairement au sol pollué qui montre une dominance visible des Gastéropodes, à plus de 50% par rapport aux autres groupes faunistiques, suite à l'humidité du milieu par le rejet industriel et leur adaptation physiologique ou comportementale des individus à la pollution en raison de leurs caractéristiques éco-physiologiques et leur résistance à la pollution industrielle par les métaux lourds, c'est pour cela qu'elles sont classées comme des espèces bio-indicatrices.

Les figures 45 et 46 représentent les espèces de pédofaune inventoriées dans le sol témoin et le sol pollué de la station 2.

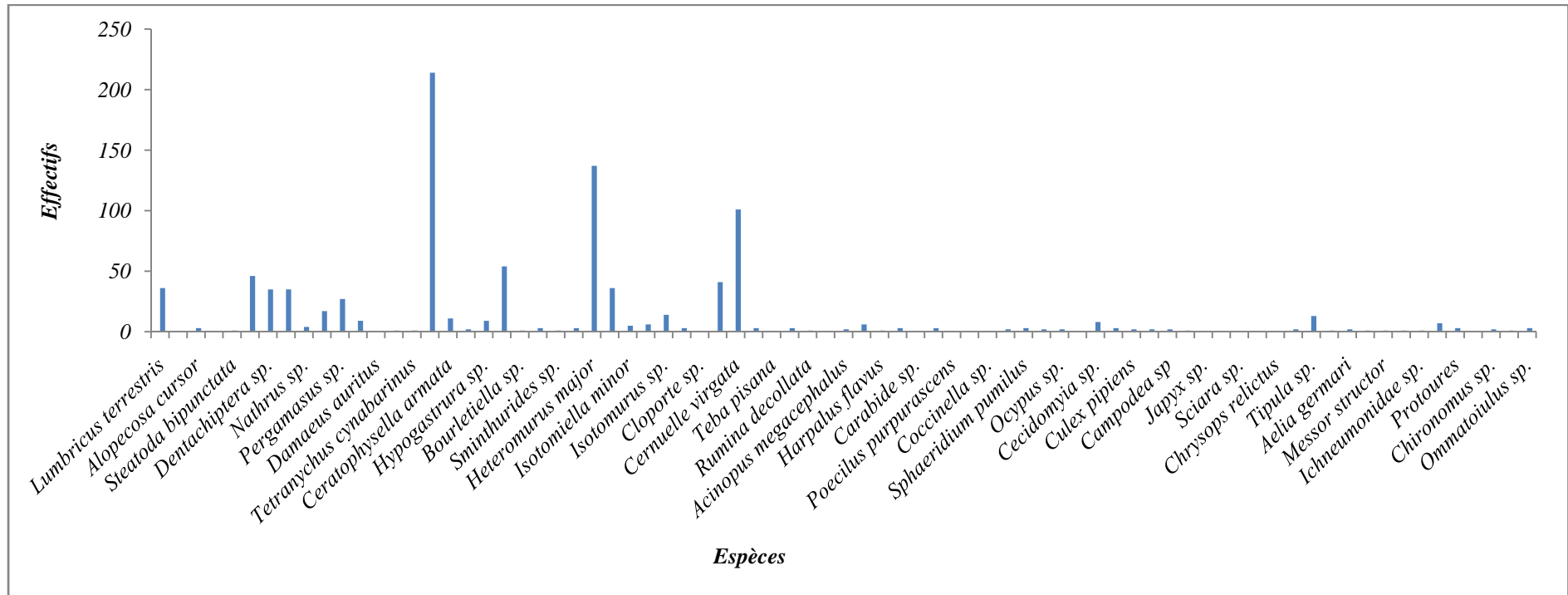


Figure 45 : Espèces de la pédofaune inventoriées dans le sol témoin de l'ENIEM.

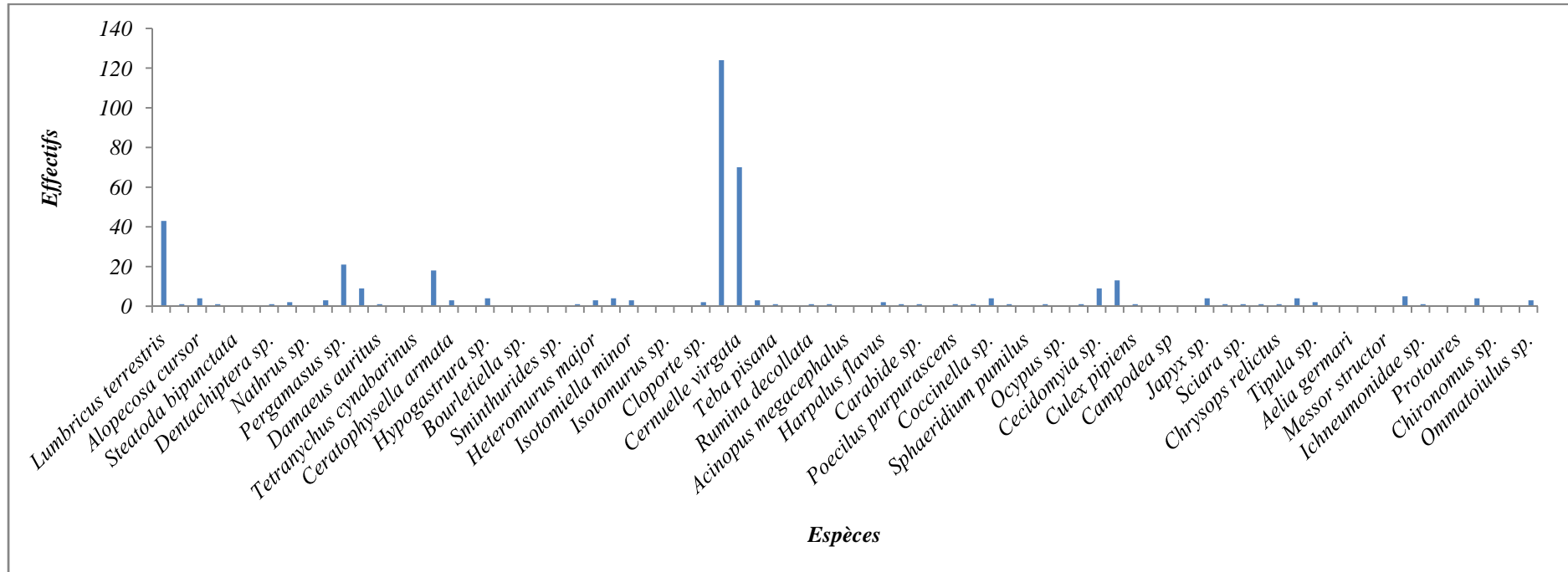


Figure 46 : Espèces de la pédofaune inventoriées dans le sol pollué de l'ENIEM.

D'après les figures 45 et 46 nous recensons une richesse spécifique de 59 espèces dans le sol témoin et 47 espèces dans le sol pollué. Nous constatons que ces organismes dépendent de leur milieu de vie par la disponibilité de certains facteurs édaphiques principalement l'humidité, la structure, la matière organique et le pH. Dans l'ensemble des échantillons étudiés nous avons obtenu des taux variables ; plus importants dans le sol témoin représentés par *Heteromerus major* avec 137 individus, *Cernuelle virgata* avec 101 individus, inversement au sol pollué où les proportions de la majorité des espèces sont faibles à l'exception des Gastéropodes notamment les espèces *Cerneuella virgata* (124 individus) et *Teba pisana* (70 individus) sans oublier le taux important de *Lumbricus terrestris* qui est de 43 individus.

III.3. Variation saisonnière de la pédofaune recensée

III.3.1. Variation saisonnière de la pédofaune recensée à l'EI.

La variation saisonnière de la pédofaune recensée à l'EI est représentée dans la figure 47.

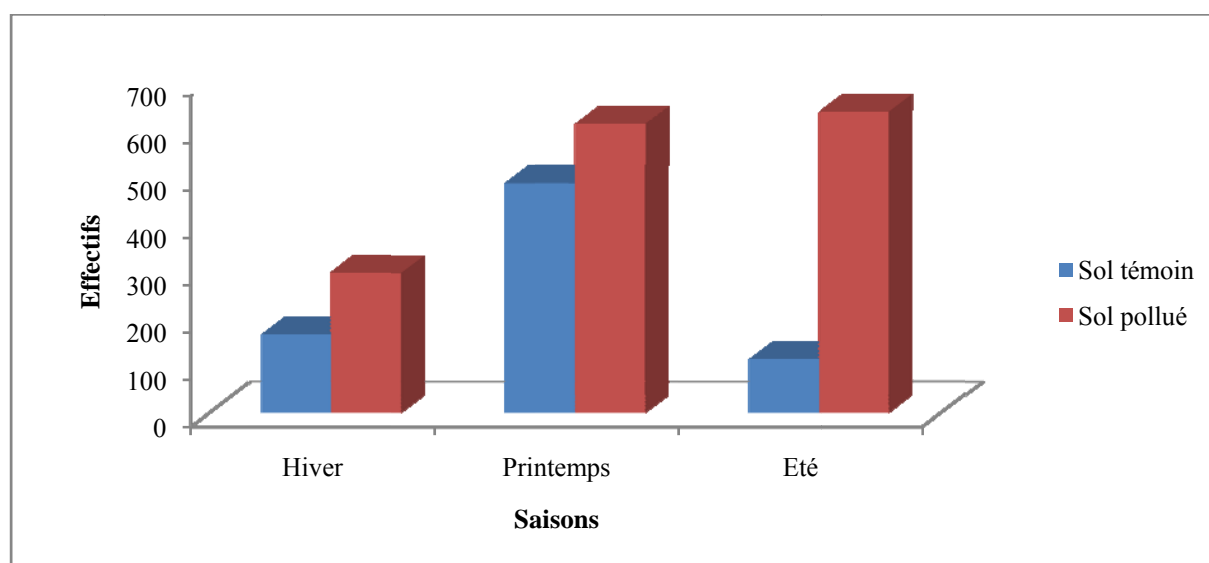


Figure 47 : Variation saisonnière de la pédofaune recensée à l'EI.

Selon la figure 47, les effectifs sont plus élevés au printemps (486 individus) qu'en hiver (165 individus) et en été (119 individus) dans le sol témoin suite aux conditions climatiques favorables au printemps et défavorables en hiver et en été où la majorité des animaux rentrent en diapause. Par contre dans le sol pollué, les effectifs sont plus importants au printemps (630 individus) et en été (610) mais faibles en hiver (295 individus), cela serait

dû à la pollution par le rejet industriel de l'EI qui perturbe la régularité du cycle de développement de la plupart de ces êtres vivants.

III.3.2. Variation saisonnière de la pédofaune recensée à l'ENIEM.

La variation saisonnière de la pédofaune recensée à l'ENIEM est représentée dans la figure 48.

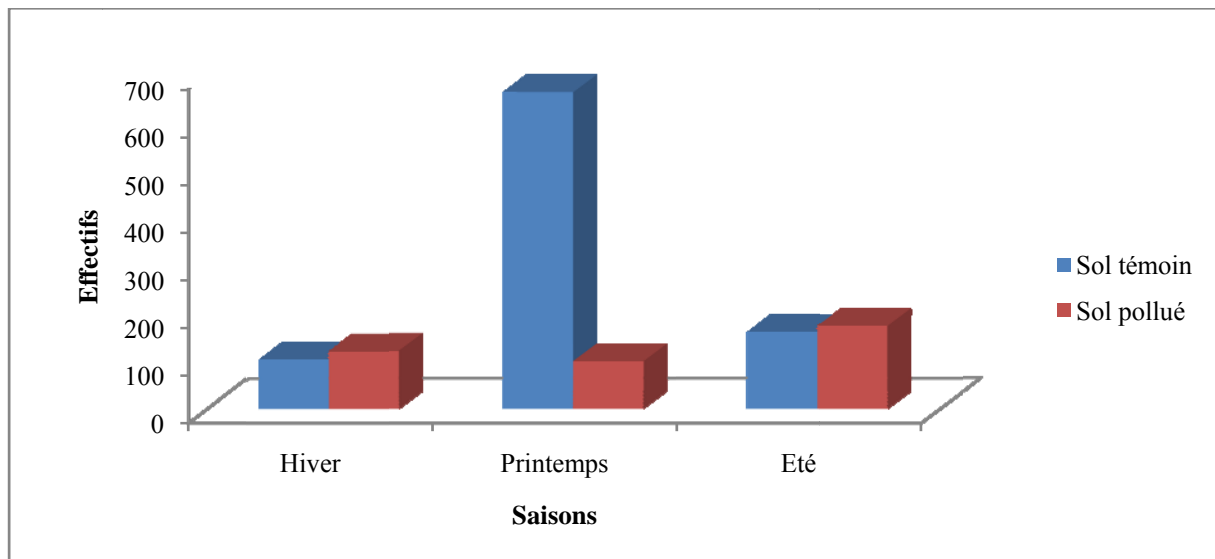


Figure 48: Variation saisonnière de la pédofaune recensée à l'ENIEM.

Selon la figure 48, les effectifs sont très élevés au printemps avec 667 individus et faible en hiver et en été avec respectivement 178 et 106 individus dans le sol témoin. Par contre dans le sol pollué, l'effectif (de l'ordre de 100 individus) est presque constant pour toutes les saisons. Cette perturbation serait causée par la pollution du rejet industriel de l'ENIEM riche en métaux lourds toxiques qui limitent la vie de la pédofaune à l'exception de cette minorité qui a adopté une certaine résistance vis-à-vis de cette pollution.

IV. Résultats d'analyse écologique

IV.1. Qualité de l'échantillonnage(Q)

Les tableaux 13 et 14 rapportent les résultats de la qualité de l'échantillonnage pour le sol témoin et le sol pollué de l'E.I. et l'ENIEM.

Tableau 13 : Résultats de la qualité de l'échantillonnage de l'EI.

Q	Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9
Sol témoin	0,55	0,29	0,29	0,92	0,77	0,70	0,25	0,33	0,44
Sol pollué	0,62	0,55	0,40	1	1	0,66	0,59	0,48	0,74

Tableau 14 : Résultats de la qualité de l'échantillonnage de l'ENIEM.

Q	Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9
Sol témoin	0,29	0,37	0,22	1	0,70	0,48	0,51	0,44	0,33
Sol pollué	0,25	0,18	0,18	0,62	0,62	0,25	0,37	0,40	0,48

Les résultats des tableaux 13 et 14 montrent que l'inventaire est qualitativement réalisé pour la majorité des échantillons que ça soit pour le sol témoin ou le sol pollué puisque ça tend plus vers zéro ($Q=0,18$; $0,22$; ...). Pour $Q=1$ ça se peut qu'il est dû aux erreurs lors de l'échantillonnage.

IV.2. Richesse spécifique

Les figures 49 et 50 représentent la richesse spécifique des sols témoin et pollué de l'EI. et de l'ENIEM. selon la profondeur.

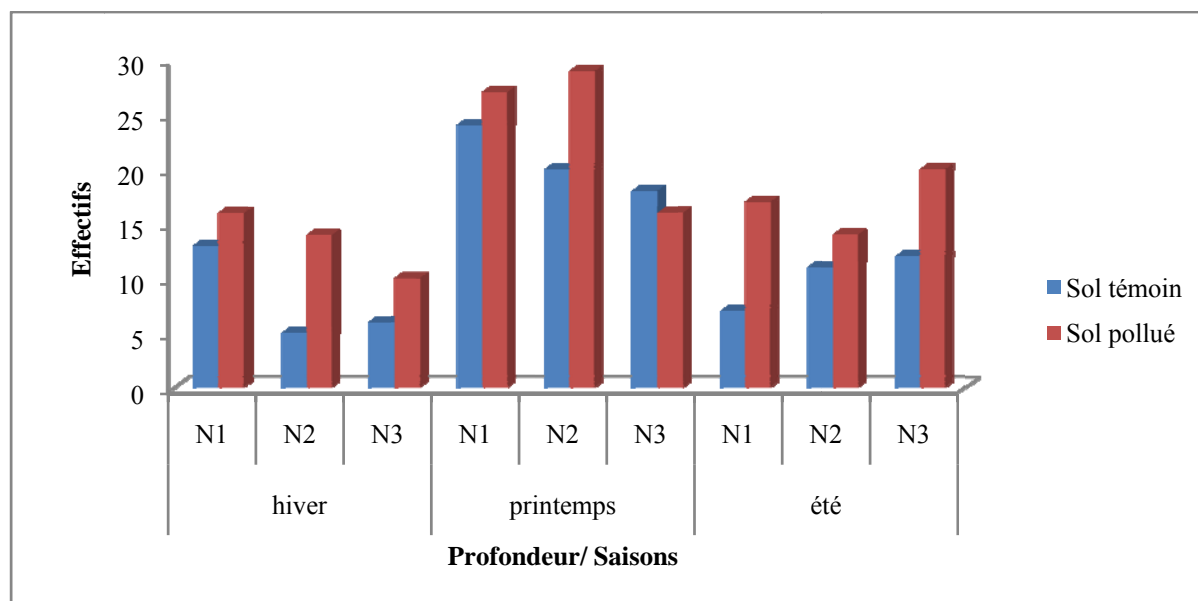


Figure 49 : Richesse spécifique de l'EI.

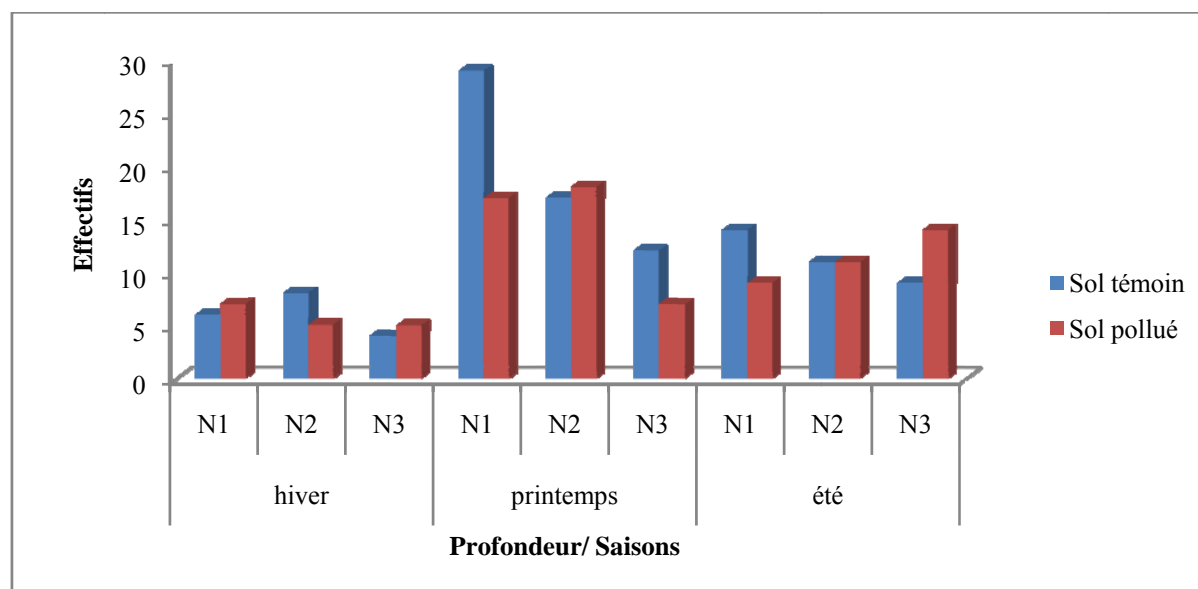


Figure 50 : Richesse spécifique de l'ENIEM.

Suivant les figures 49 et 50, il ressort que la richesse spécifique est plus importante dans le sol témoin de l'ENIEM. par rapport au sol pollué surtout durant le printemps (un pic au mois de Mars avec 29 espèces) que durant les autres saisons ; contrairement à l'EI. qui présente une richesse spécifique importante dans le sol pollué et dans le sol témoin surtout au printemps (pics au mois de Mars et Avril avec respectivement 27 et 29 espèces dans le sol pollué) en raison de la richesse du rejet de l'EI. en MO. Ces figures permettent de bien distinguer le fonctionnement dégradé des cycles de vie des animaux suite à la pollution et à la migration en profondeur.

IV.3. Dominance de Berger-Parker

IV.3.1. A l'EI.

La dominance de Berger-Parker (BP) est exprimée par la dominance des Fourmis surtout *Lasius sp* avec un effectif de 153 individus dans le sol témoin et la dominance des Gastéropodes représentée par *Cochlicella barbara* avec 641 individus dans le sol pollué. Cette dominance est mentionnée dans le tableau 15.

Tableau 15 : Dominance de Berger-Parker de la station de l'EI.

Sol	Témoin	Pollué
Dominance BP	0,17	0,41

IV.3.2. A l'ENIEM.

La dominance de Berger-Parker (BP) est exprimée par la dominance des Collemboles notamment l'espèce de *Heteromerus major* avec 137 individus dans le sol témoin et la dominance des Gastéropodes représentée par *Cochlicella barbara* avec 124 individus dans le sol pollué. Cette dominance est mentionnée dans le tableau 16.

Tableau 16 : Dominance de Berger-Parker de la station de l'ENIEM.

Sol	Témoin	Pollué
Dominance BP	0,14	0,31

IV.4. Indice de Shannon-Weaver (H')

Nous avons opté pour le calcul de l'indice de diversité de Shannon afin de mettre en évidence l'abondance relative des différents taxons, c'est pour cela que nous l'avons calculé séparément pour le sol témoin et le sol pollué. Les résultats obtenus sont traduits dans les figures 51 et 52.

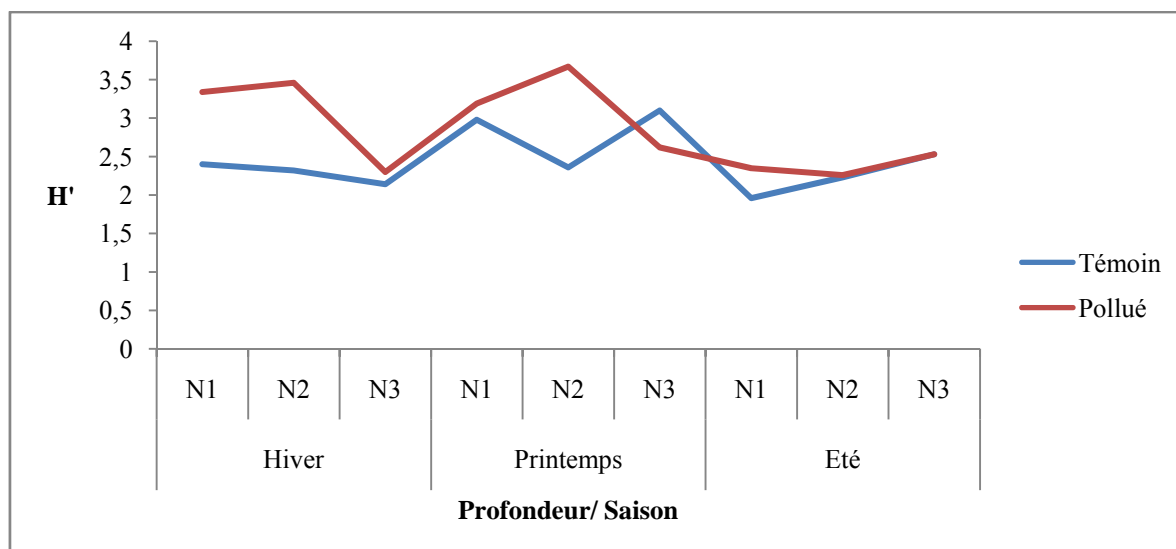


Figure 51 : Indice de Shannon-Weaver pour le sol de l’EI.

Il ressort de la figure 51 qu’au niveau de l’EI., l’indice de Shannon (H') est variable avec un maximum de 3,67 dans le sol pollué et un minimum de 1,96 dans le sol témoin. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans le sol pollué suite à la grande richesse du rejet de l’EI. en MO. Par contre dans le sol témoin les valeurs de H' sont inférieures à 3 ce qui traduit une diversité moyenne des peuplements avec une bonne représentation de quelques taxons. Cet indice est important dans le niveau 1 du sol témoin mais ce n’est pas le cas du sol pollué qui présente H' plus important dans le niveau 2. L’indice de Shannon est plus élevée durant le Printemps par rapport aux autres saisons que ça soit dans le sol témoin ou dans le sol pollué.

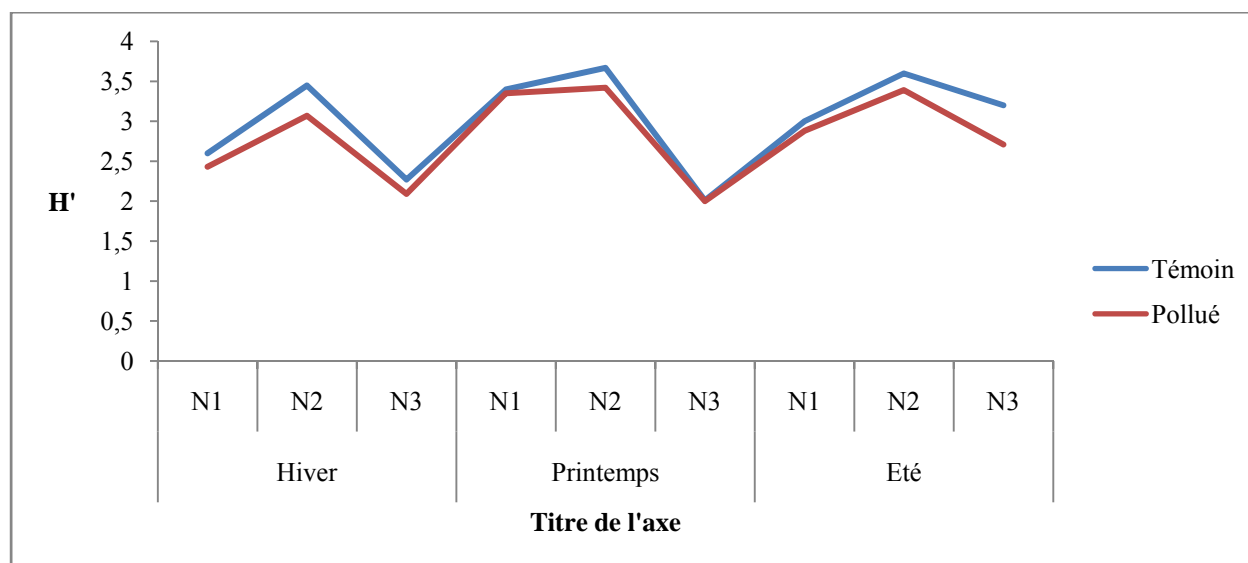


Figure 52: Indice de Shannon-Weaver pour l’ENIEM.

Au niveau de l'ENIEM., les résultats de la figure 52 montrent que l'indice de Shannon (H') est variable avec un maximum de 3,67 dans le sol témoin et un minimum de 2 dans le sol pollué. Les valeurs de H' enregistrées dans les sols témoin et pollué sont proches en raison de la pollution rencontrée, et sont plus importantes durant le Printemps dans le niveau 2 pour le sol témoin et le sol pollué.

IV.5.Équitabilité

L'équitabilité ou l'indice de diversité relative est calculé pour les deux stations (EI. et ENIEM.) et les résultats sont représentés dans les figures 53 et 54. D'une manière générale, l'équitabilité augmente avec le nombre d'espèces, c'est-à-dire qu'un indice faible est la conséquence d'un faible nombre de taxons et/ou de la dominance de quelques espèces.

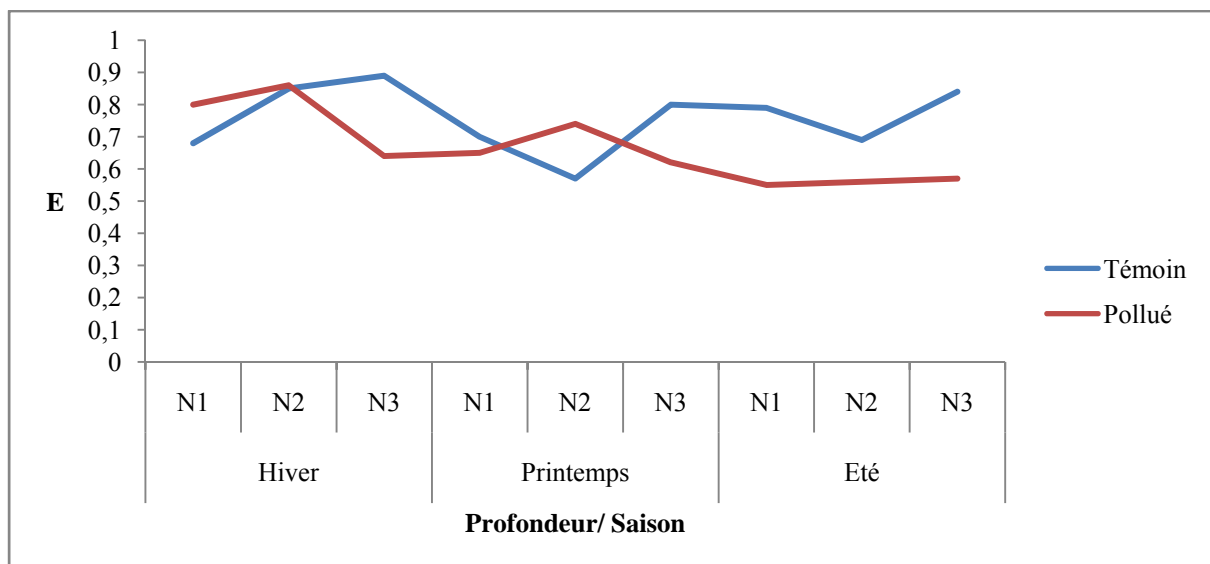


Figure 53 : Équitabilité du sol de l'EI.

Selon la figure 53, nous constatons que l'équitabilité est inférieure à 1 que ça soit dans le sol témoin ou pollué. Le pic est à 0,89 dans le sol témoin durant l'Hiver et le minimum est de 0,55 dans le sol pollué pendant l'Été. Cette équitabilité est plus importante dans le niveau 2 du sol pollué et dans le niveau 3 du sol témoin.

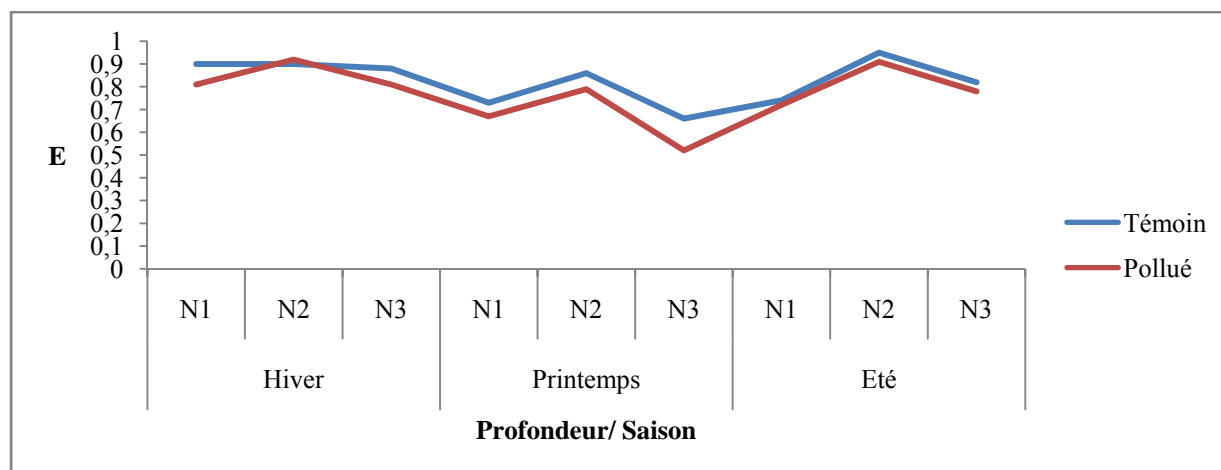


Figure 54 : Equitabilité du sol de l'ENIEM.

Selon la figure 54, nous constatons que l'équitabilité est inférieure à 1 que ça soit dans le sol témoin ou pollué. Le pic est à 0,95 dans le sol témoin durant l'Eté et le minimum est de 0,52 dans le sol pollué durant le Printemps. Cet indice est important dans le niveau 2 pour les deux sols.

V. Résultats de l'analyse statistique

Compte tenu de la complexité des relations entre les caractéristiques biologiques ou écologiques et la structure du peuplement et, afin d'obtenir une description plus objective possible de nos données en mettant l'accent sur les facteurs significatifs à l'étude qualitative classique, nous avons associé différentes méthodes d'analyse parmi lesquelles figurent l'ANOVA., l'ACP. et l'AFC.

V.1. Résultats de l'ANOVA

L'analyse de la variance pour la variable nombre d'individus des facteurs pollution et profondeur a donné les résultats présentés dans les tableaux ci-dessous.

V.1.1. La station 1 (E.I)

Les résultats de l'analyse de la variance de l'E.I. sont soulignés dans le tableau 17.

Tableau 17: Résultats de l'analyse de la variance pour la station de l'E.I.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.	S(*)
VAR.TOTALE	97226,27	17	5719,192					
VAR.FACTEUR 1	8002,766	2	4001,383	3,7694	0,05294			*
VAR.FACTEUR 2	15429,38	1	15429,38	14,5347	0,00252			**
VAR.INTER F1*2	61055,46	2	30527,73	28,7576	0,00004			***
VAR.RESIDUELLE 1	12738,66	12	1061,555			32,5815	25,38%	

* significatif

Facteur1 : Pollution

** hautement significatif

Facteur 2 : Saison

*** très hautement significatif

A partir du tableau 17 nous constatons que $P_1 = 0,05294 > 0,05$ ce qui signifie qu'elle est significative, $P_2 = 0,00252 < 0,001$ cela est hautement significatif et la probabilité de l'interaction $P_3 = 0,00004 < 0,0001$ est très hautement significative, ce qui traduit la grande influence de la pollution et des saisons, ainsi que leur interaction et leur effet simultané sur le nombre d'individus et leur répartition.

Le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% révèle deux groupes homogènes A et B. Dans le groupe A nous retrouvons les effectifs du sol pollué avec une moyenne de 157,67 alors que le groupe B regroupe les effectifs du sol témoin avec une moyenne de 99,11.

Tableau 18: Résultats du test de NEWMAN-KEULS pour le facteur pollution à l'EI.

F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		SEUIL
1.0	Sol pollué	157,6667	A		5%
2.0	Sol témoin	99,1111		B	

Ce test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5% révèle deux groupes homogènes A et B pour l'interaction des facteurs précédents (pollution, saison) (tableau 19).

Tableau 19: Résultats du test de NEWMAN-KEULS pour l'interaction des facteurs pollution et saison à l'EI.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0 1.0	printemps sol pollué	212,3333	A	
1.0 2.0	hiver sol témoin	203,6667	A	
3.0 1.0	été sol pollué	162	A	
1.0 1.0	hiver sol pollué	98,6667		B
2.0 2.0	printemps sol témoin	55		B
3.0 2.0	été sol témoin	38,6667		B

Le groupe A représente l'ensemble des espèces du sol pollué pendant les saisons printemps et été et les espèces du sol témoin pendant la saison hivernale. Dans ce groupe, la moyenne est beaucoup plus élevée dans le sol pollué pendant le printemps (212,33) que dans le sol témoin en hiver (203,66) et le sol pollué en été (162). Le groupe B représente

l'ensemble des espèces du sol témoin pendant les saisons printemps et été ainsi que les espèces de la saison hivernale du sol pollué. Les résultats de ce tableau nous réaffirment complètement l'effet de la pollution du rejet de l'EI. sur la pédofaune.

V.1.2. La station 2 (ENIEM)

L'analyse de la variance de l'ENIEM. a donnée les résultats présentés dans le tableau 20.

Tableau 20: Résultats de l'analyse de la variance pour la station de l'ENIEM.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	164902,5	17	9700,147				
VAR.FACTEUR 1	13351,02	2	6675,508	0,6791	0,52946		
VAR.FACTEUR 2	12220,05	1	12220,05	1,2432	0,28694		
VAR.INTER F1*2	21378,11	2	10689,05	1,0875	0,36954		
VAR.RESIDUELLE 1	117953,3	12	9829,444			99,1436	132,49%

Facteur1 : Pollution

Facteur 2 : Saison

Les résultats de l'analyse de variance de l'ENIEM. motionnés dans le tableau 20 n'ont donné aucune différence significative pour les facteurs étudiés ($P_1=0,52$; $P_2=0,28$; $P_3=0,36$ \square 0,05), ce qui explique l'effet de la pollution et le degré des perturbations qu'elle provoque sur la faune étudiée. cela est confirmé et réaffirmé par les résultats de l'analyse chimique des métaux lourds déjà réalisée.

V.2. Résultats de l'ACP.

L'étude des facteurs environnementaux mesurés au cours de la période d'étude a été approchée par l'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP.) afin d'obtenir une approche perspective.

V.2. 1.Station 1 (EI.):

L'ACP. fait apparaitre clairement dans l'espace (figures 55 et 56) les deux facteurs significatifs F1 (axe 1) et F2 (axe 2) :

- ✓ Les relations entre les variables d'une part ;
- ✓ La distribution des groupes faunistiques en tenant compte de l'ensemble des caractéristiques environnementales d'autre part.

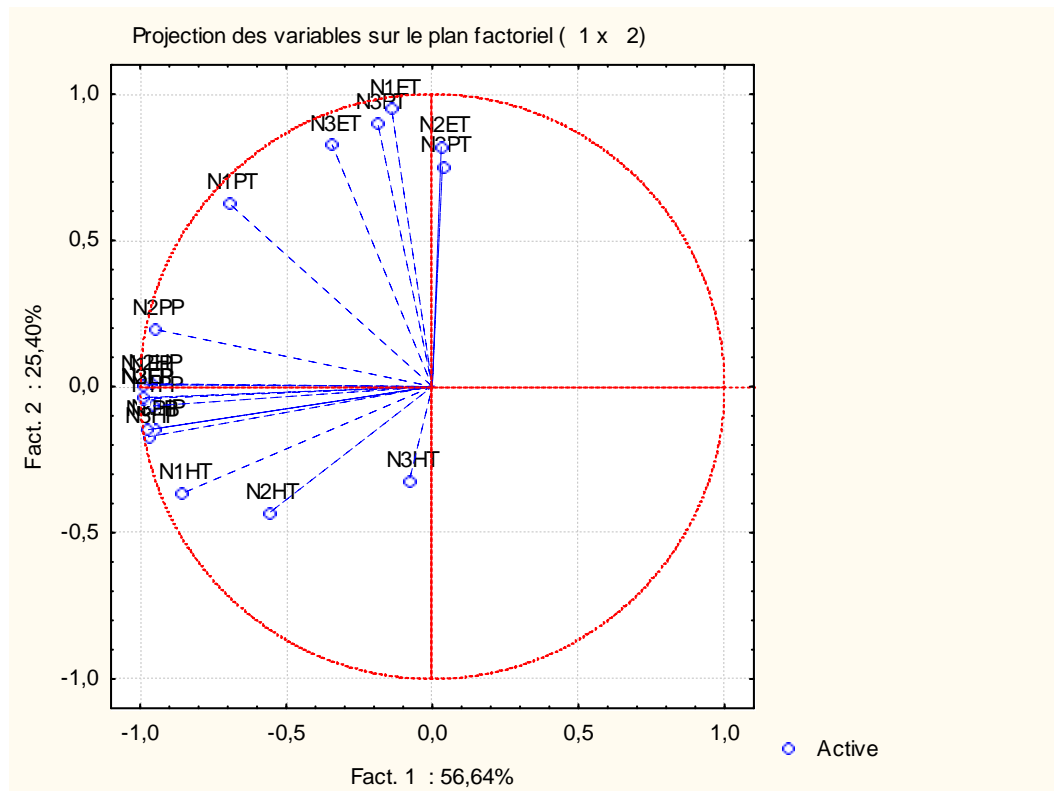


Figure 55 : ACP. représentative de la distribution des paramètres environnementaux de l'EI.

Les deux premiers facteurs significatifs prennent en compte 82,04% (F1= 56,64%, F2= 25,40%) de la variance totale.

Vu l'interprétation des axes, la structure du nuage des relevés obtenus par l'ACP. peut être résumé en un gradient assez bien exprimé le long de l'axe 2 et parfaitement assimilable à l'action négative de la pollution qui représente le facteur 1.

A travers la figure 55, la répartition des facteurs témoins est distincte de celle des facteurs pollués où ces derniers sont liés entre eux et avec l'axe 2 (en position négative) et bien représentés dans le plan F1-F2 (extrémités des vecteurs proches du cercle de corrélation).

Cette première ACP. est complétée par une deuxième qui répartit les groupes faunistiques récoltés dans le sol pollué tout en confirmant la première suite à l'emplacement des Gastéropodes en position négative par rapport aux autres groupes faunistiques recensés.

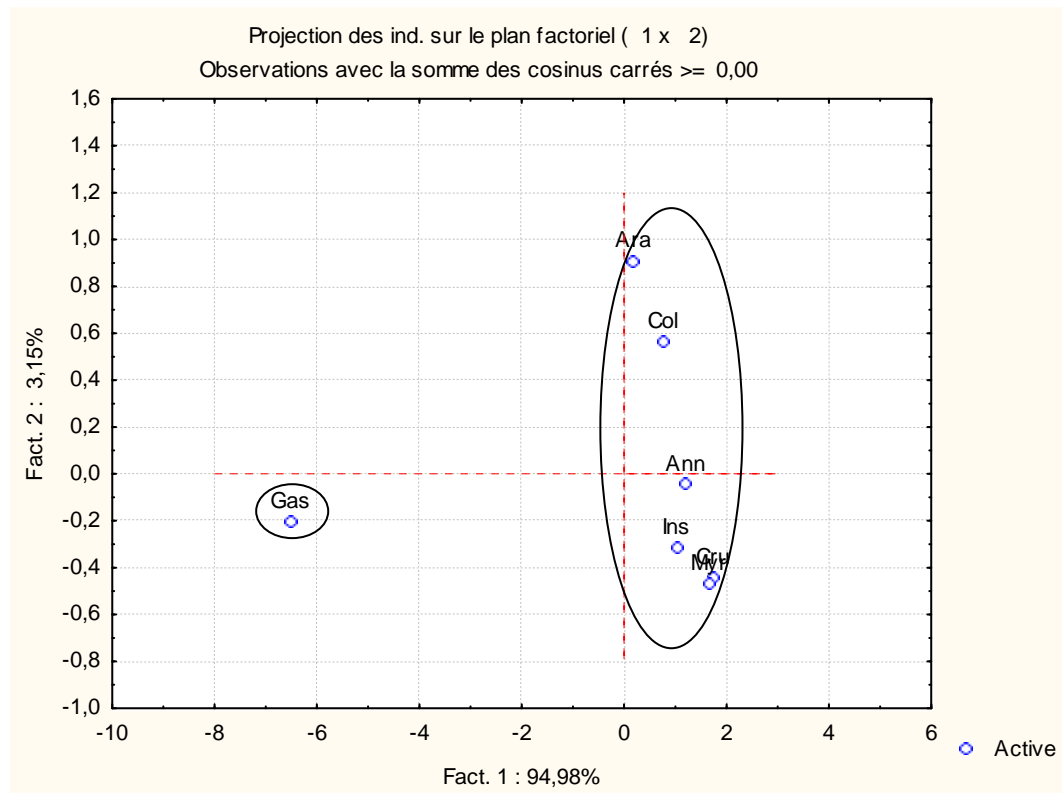


Figure 56: ACP. représentative de la distribution des groupes de faune récoltée dans le sol pollué de l’EI.

L’ACP. nous a fourni un résumé objectif de l’ensemble des données, une classification ascendante hiérarchique (CAH.), réalisée sur la base des résultats de l’ACP. qui visualise bien les relations entre ces variables (figure 57 et 58).

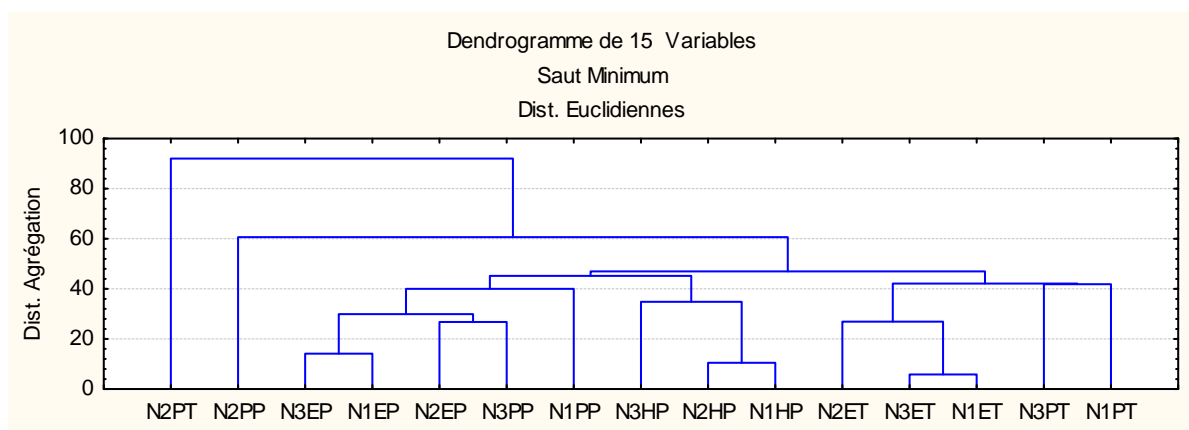


Figure 57: Dendrogramme visualisant les relations entre les variables environnementales à l’EI.

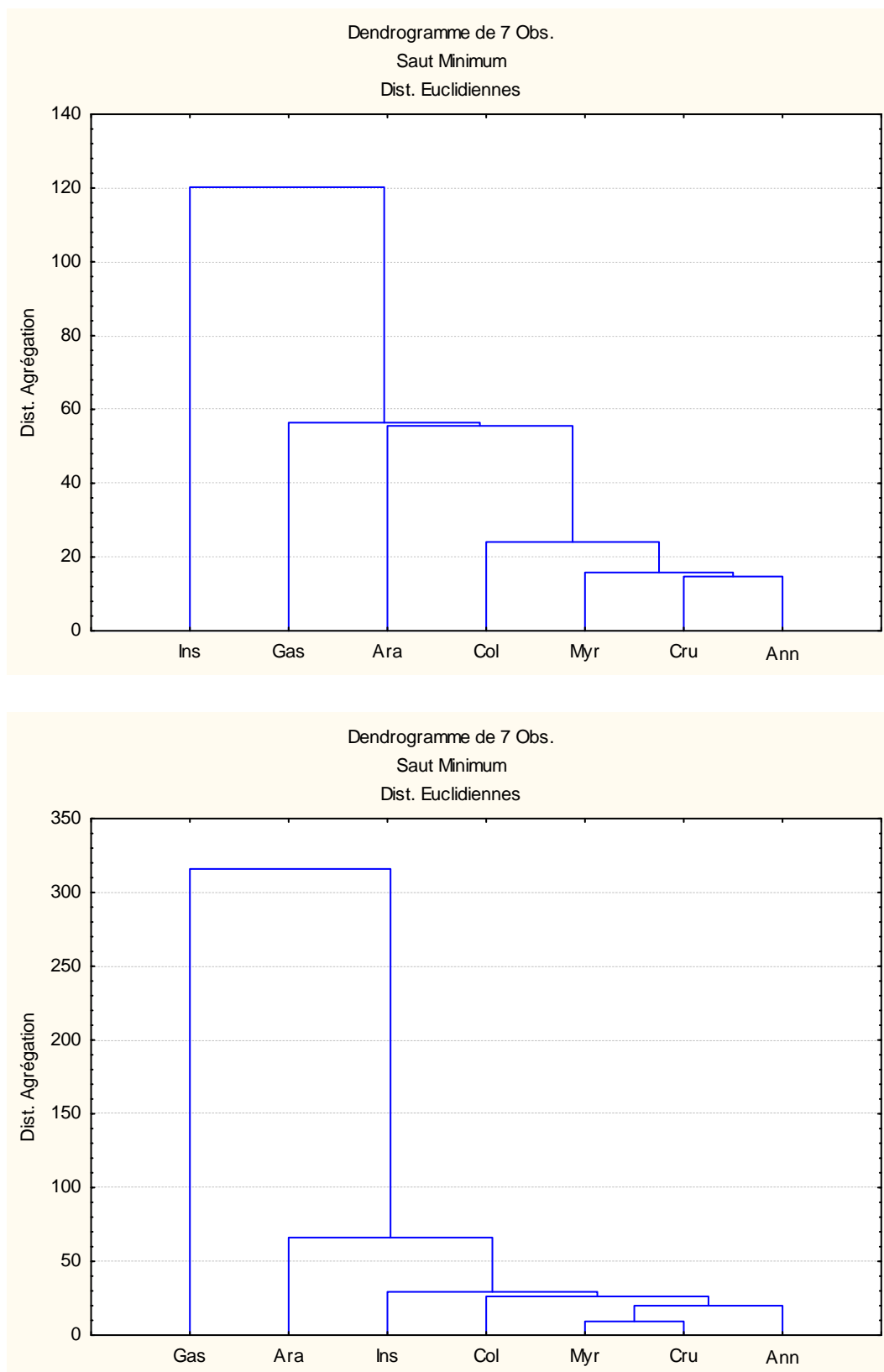


Figure 58: Dendrogramme visualisant les relations entre les groupes de faune récoltée à l’EI.

La classification ascendante hiérarchique représentée dans les figures 57 et 58 montre la dominance des Insectes dans le niveau 2 du sol témoin suite aux conditions favorables à

leur pullulation et la dominance des Gastéropodes dans le niveau 2 du sol pollué pendant le printemps ce qui signifie leur bio-indication.

V.2. 2. Station 2 (ENIEM.)

L'ACP. fait apparaître clairement dans l'espace (figures 59 et 60) les deux facteurs significatifs F1 (axe 1) et F2 (axe 2) :

- ✓ Les relations entre les variables d'une part ;
- ✓ La distribution des groupes faunistiques en tenant compte de l'ensemble des caractéristiques environnementales d'autre part.

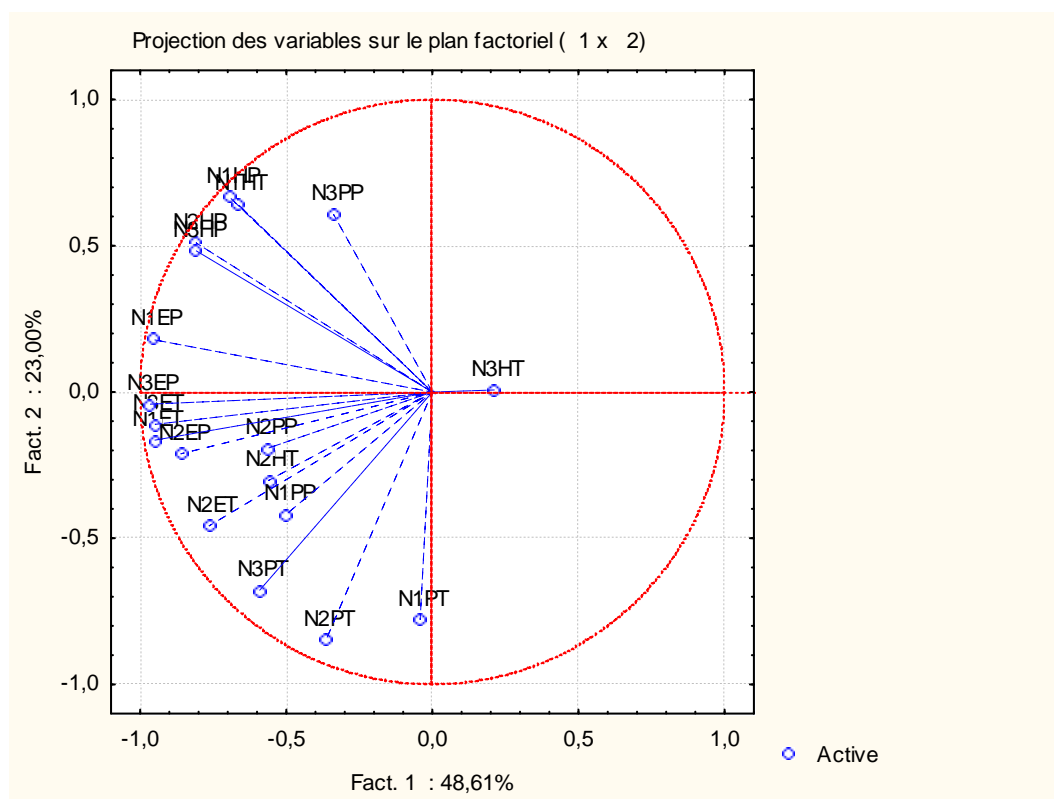


Figure 59: ACP. représentative de la distribution des paramètres environnementaux de l'ENIEM.

Les deux premiers facteurs significatifs prennent en compte 71,61% (F1= 48,61%, F2= 23%) de la variance totale.

Vu l'interprétation des axes, la structure du nuage des relevés obtenus par l'ACP. peut être exprimé le long de l'axe 2 et parfaitement assimilable à l'action négative de la pollution sur les deux sols témoin et pollué.

A travers la figure 59, la répartition des facteurs témoins est chevauchée avec celle des facteurs pollués où ces derniers sont liés entre eux et avec l'axe 2 (en position négative) et bien représentés dans le plan F1-F2 (extrémités des vecteurs proches du cercle de corrélation).

Cette première ACP. est complétée par une deuxième (Figure 60) qui répartit les groupes faunistiques récoltés dans le sol témoin et dans le sol pollué tout en confirmant la première suite à l'emplacement des Gastéropodes et des Arachnides en position négative par rapport aux autres groupes faunistiques recensés.

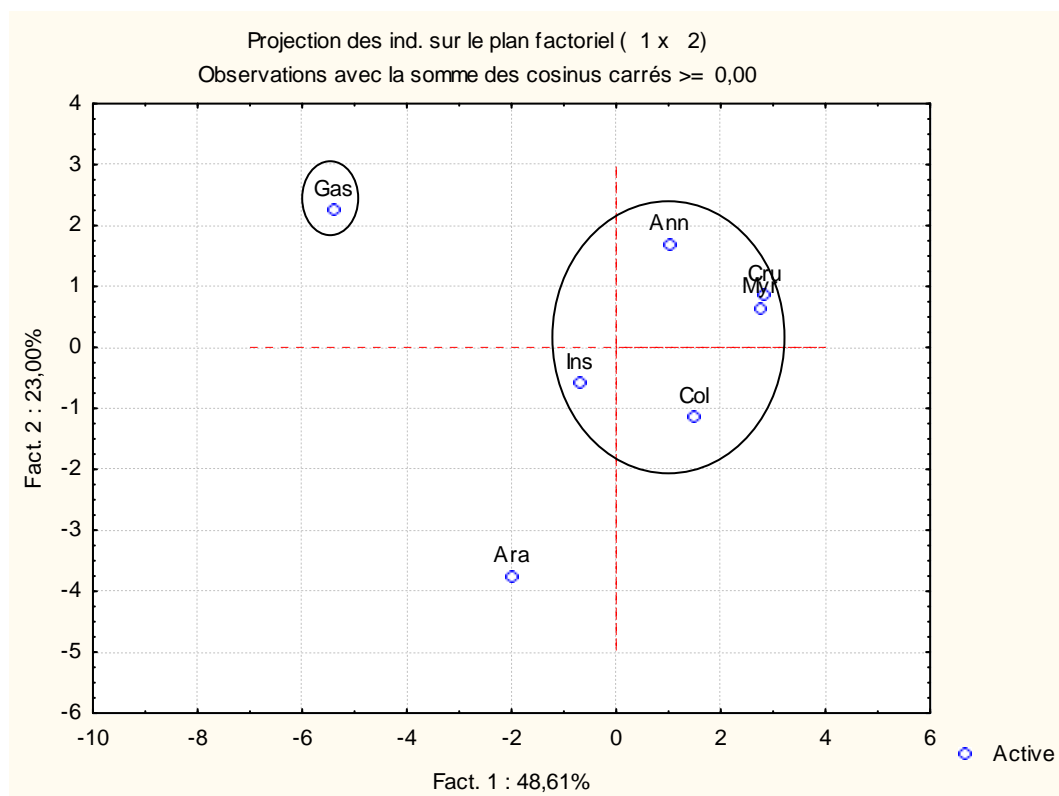


Figure 60: ACP. représentative de la distribution des groupes de faune récoltée de l'ENIEM.

Cette ACP. nous a permis de tracer les dendrogrammes des figures 61 et 62.

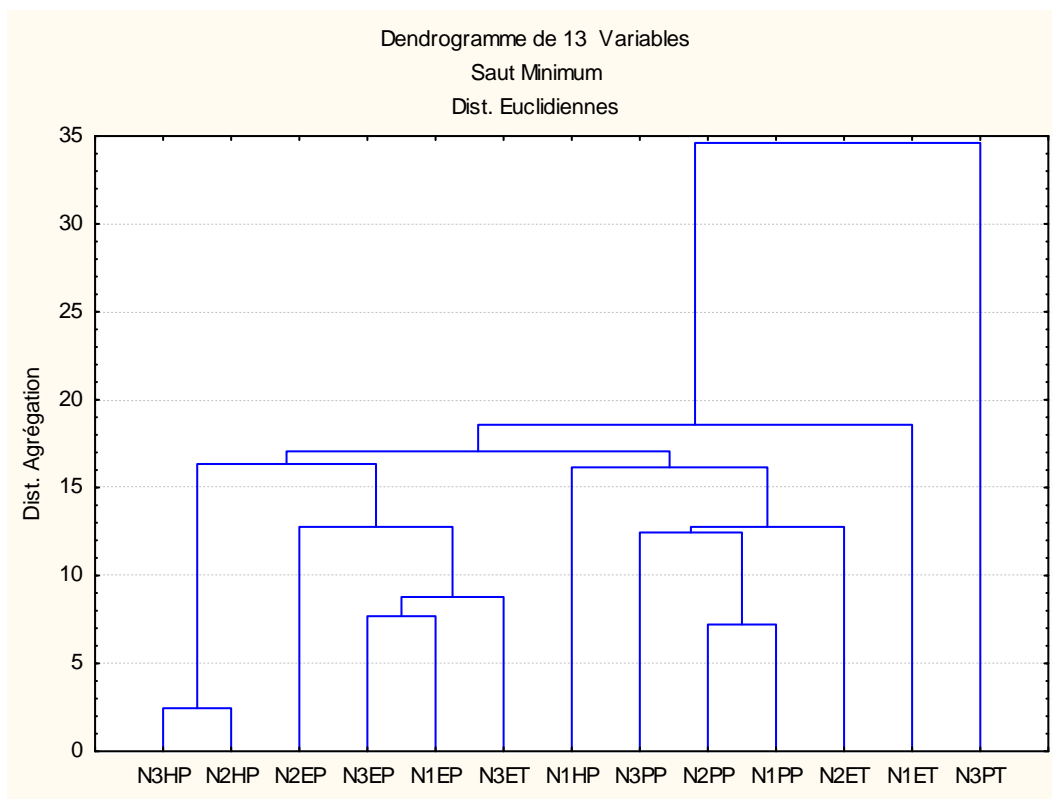


Figure 61: Dendrogramme visualisant les relations entre les variables environnementales à l'ENIEM.

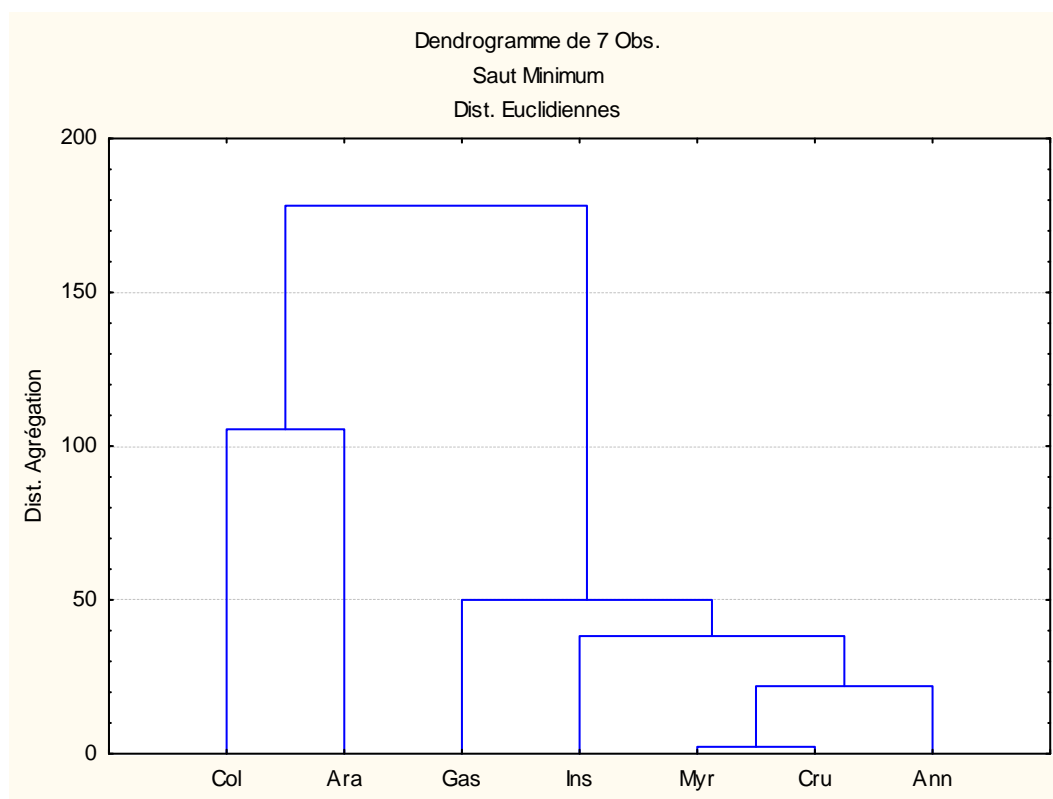


Figure 62: Dendrogramme visualisant les relations entre les groupes de faune récoltée à l'ENIEM.

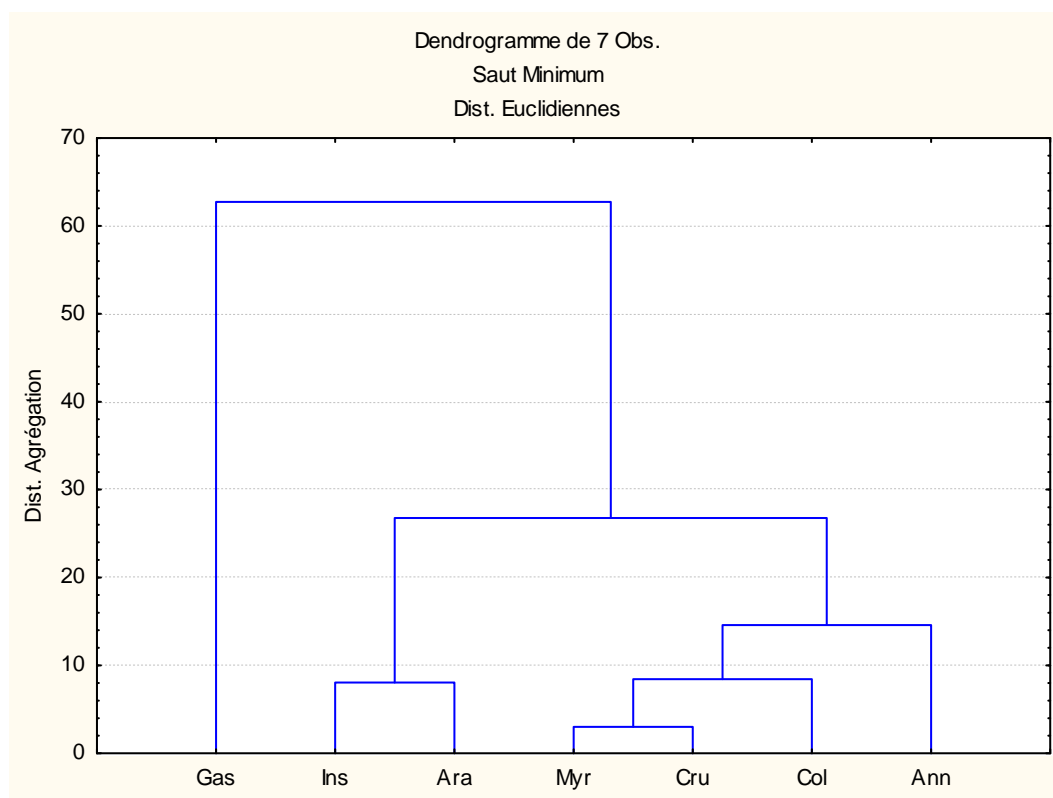


Figure 62': Dendrogramme visualisant les relations entre les groupes de faune récoltée à l'ENIEM.

La classification ascendante hiérarchique représentée dans les figures 61 et 62 montre la dominance des Insectes et des collemboles dans le sol témoin suite aux conditions favorables à leur pullulation et la dominance des Gastéropodes dans le sol pollué pendant le printemps ce qui signifie leur bio-indication.

V.3. Résultats de l'AFC.

La distribution spatiale des espèces est précisée grâce à une analyse factorielle des correspondances (AFC.) réalisée sur la matrice niveau \times espèces (18 niveaux \times 79 espèces).

Les axes de l'AFC. permettent une représentation plane de l'ensemble des lignes et des colonnes de la matrice, où chaque facteur exprime une part d'information sur l'analyse. Les structures dessinées par les nuages de variables sont souvent très significatives et facilitent la mise en évidence des phénomènes et des facteurs écologiques.

Les figures 63 et 64 présentent les résultats de l'AFC. réalisée au niveau de l'EI. et de l'ENIEM.

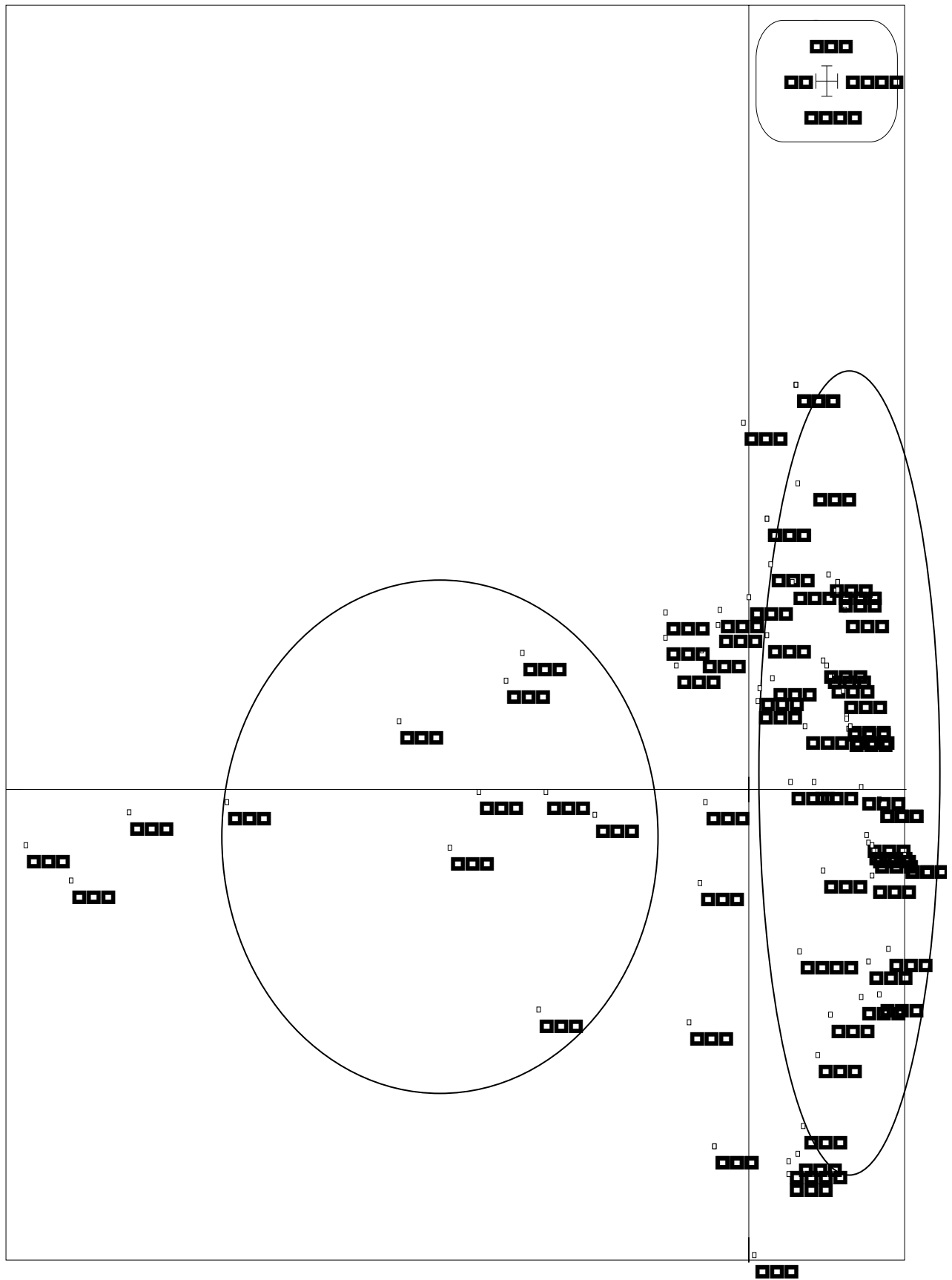


Figure 63: Distribution et noyaux d'affinité des espèces et des niveaux dans le plan factoriel $F1 \times F2$, à l'EI.

Les deux premiers axes cumulent 61,4% d'inertie contenue dans la matrice des données (F1= 60%, F2= 1,4%).

Compte tenu des objectifs de cette étude, il n'était pas essentiel de déterminer la signification exacte de chaque axe, mais plutôt de différencier des groupes d'espèces cohérents au plan de leur écologie ; alors à partir des deux axes (F1 × F2) nous avons distingué les groupes suivants :

- **Groupe A** : regroupe les espèces sensibles à la pollution dans le sens négatif.
- **Groupe B** : regroupe les espèces qui tolèrent et résistent à la pollution dans le sens positif.

Les résultats de ce plan factoriel nous confirment des corrélations positives et négatives présentées par les deux axes significatifs de l'effet de la pollution sur les espèces.

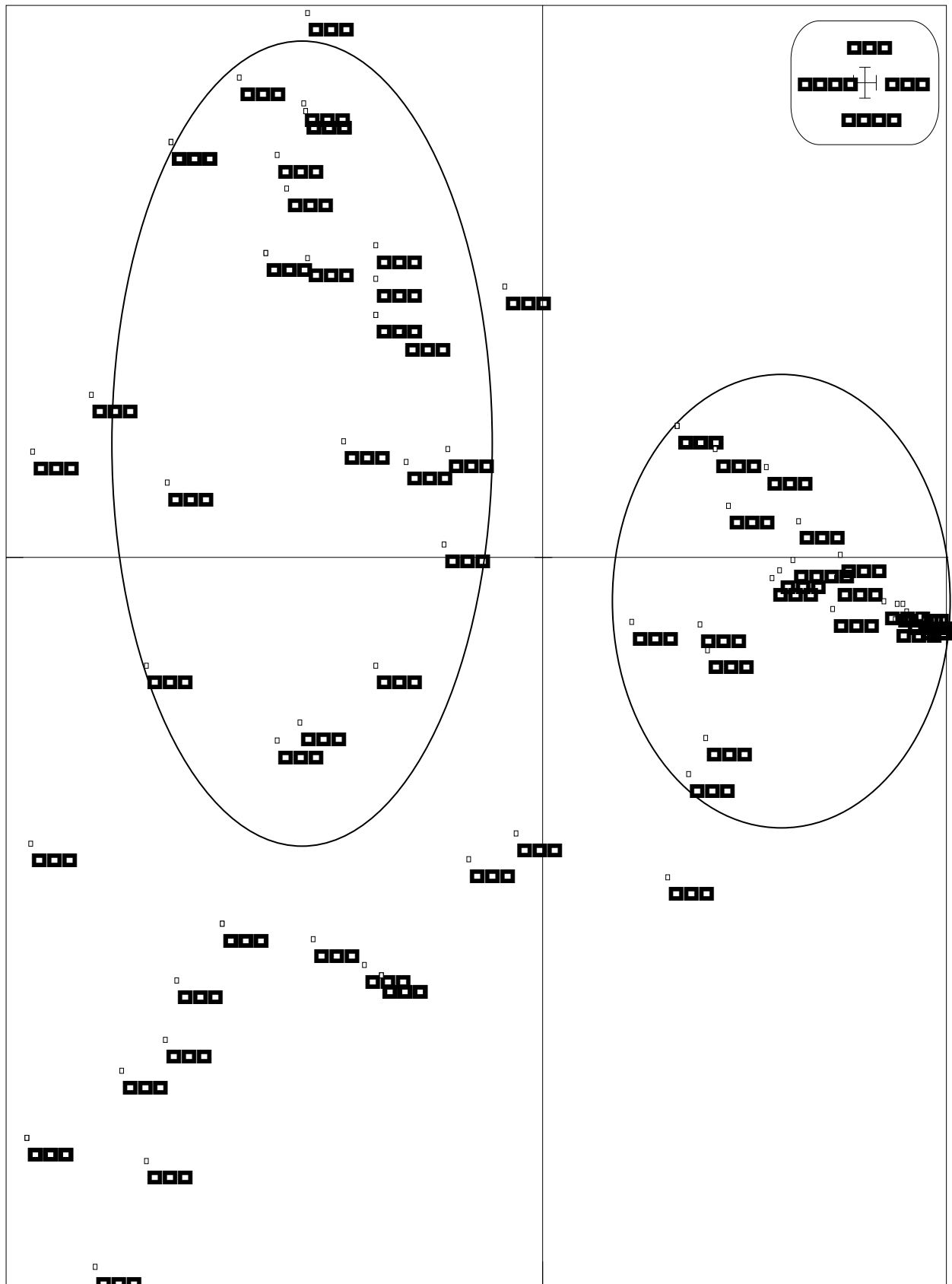


Figure 64: Distribution et noyaux d'affinité des espèces et des niveaux dans le plan factoriel $F1 \times F2$. à l'ENIEM.

Les deux premiers axes cumulent 72% d'inertie contenue dans la matrice des données (F1= 44%, F2= 28%).

A partir des deux axes (F1 × F2) nous avons distingué les groupes suivants :

- **Groupe A** : regroupe la majorité des espèces de Gastéropodes dans le sens négatif.
- **Groupe B**: regroupe les espèces d'acariens dans le sens positif.

Les résultats de ce plan factoriel nous confirment des corrélations positives et négatives présentées par les deux axes, significatifs de l'effet de la pollution sur les espèces et la dégradation de l'écosystème.

VI. Discussion

Les zones d'études sont prospectées pour la première fois dans le but d'étudier l'impact éventuel de la pollution industrielle sur la pédofaune où aucune étude de ce genre n'a été réalisée avant notre travail. L'inventaire faunistique dans les deux stations a donné 79 espèces sur un ensemble de 2309 individus récoltés dans le site de l'EI. et 79 espèces sur un ensemble de 1341 individus dans le site de l'ENIEM. pendant 9 mois (de Décembre 2011 à Aout 2012).

Toutes les espèces récoltées et identifiées dans ce travail appartiennent à sept classes d'invertébrés terrestres (Annélides, Arachnides, Collemboles, Myriapodes, Insectes, Crustacés et Gastéropodes).

Dans cette étude, les Annélides sont représentés par une seule espèce *Lumbricus terrestris* qui constituent un groupe abondant durant la saison hivernale suite à leur recherche de l'humidité alors que leur absence en été est liée à leur diapause (PESSON, 1971) et à leur sensibilité à la pollution générée par ces entreprises. Ils sont abondants à l'ENIEM. où le sol est argileux et imbibé d'eau où ils cherchent l'humidité (DAVET, 1996). Ces derniers présentent une capacité élevée d'accumulation des métaux lourds ce qui fait d'eux de bons indicateurs de pollution (ALVAREZ *et al.*, 2002). Dans nos deux stations nous retrouvons les Arachnides représentés surtout par les acariens qui sont cosmopolites. Ils supportent les chaleurs qui favorisent leur reproduction, et remontent en litière durant la période humide (BACHELIER, 1978).

La variabilité moins importante des Coléoptères, des Diptères, des Hyménoptères et des Collembolés, des Myriapodes et des Isopodes est due à leur vie ralentie et leur migration puisqu'ils sont géophiles (GOBAT *et al.*, 2003).

Cette variation saisonnière de la pédofaune s'explique par les variations climatiques, les cycles de développement de la faune, les caractéristiques physico-chimiques des sols, la qualité et l'abondance de la matière organique (LAMBERT, 1998).

➤ Le site de l'EI.

La pédofaune récoltée sur ce site se localise majoritairement dans le niveau 1 où les conditions sont favorables à la dynamique de la biocénose à savoir une bonne oxybiose, un bon potentiel énergétique et alimentaire comme le confirme la littérature (DEPRINCE, 2003). Le printemps est la saison la plus propice à l'inventaire pendant laquelle la majorité des espèces reprennent leur activité après la diapause (PESSON, 1971) ce qui nous a permis de récolter plus d'espèces durant cette belle saison. La richesse spécifique est plus importante dans le sol pollué suite à la présence intense de la MO. ce qui se traduit par la présence d'espèces résistantes et bio-indicatrices de pollution industrielle en général et en métaux lourds en particulier, surtout les Gastéropodes qui présentent un taux de 69,36% malgré que nos sols soient argileux (PESSON, 1971 ; BACHELIER, 1978 ; DEPRINCE, 2003, GOBAT *et al.*, 2003). L'analyse de la variance pour le nombre d'individus et la richesse spécifique de ce site d'étude par les facteurs pollution et profondeur associée aux saisons est significative ce qui explique la dominance des espèces polluo-résistantes telles que les Gastéropodes qui s'adaptent aux conditions du milieu. En plus des Gastéropodes, nous avons détecté une espèce de Coléoptères : *Rhisotropus sp* résistante aux produits chimiques et une autre espèce de Fouridae qui fréquente les saletés selon l'identification du professeur DOUMANDJI au cours de l'année 2012 cela est déjà confirmé par le docteur SETBEL en 2010.

L'indice de Shannon est plus important dans le sol pollué que dans le sol témoin ainsi que l'Equitabilité qui atteint une valeur maximale de 0,89 ce qui signifie que les espèces sont réparties équitablement. Il en ressort que l'abondance de la pédofaune signifie l'abondance de la MO. et de l'humidité qui sont fournis par le rejet industriel.

➤ Le site de l'ENIEM.

La majorité des espèces récoltées dans cette station sont localisées dans le niveau 1, où il y a une disponibilité d'éléments nutritifs, la richesse en MO. et une température favorable (notre échantillonnage s'est effectué pendant les jours ensoleillés) (BACHELIER, 1978).

Sur le total des espèces rencontrées dans cette localité d'étude, le groupe des Gastéropodes est le plus dominant dans tous les échantillons de sol pollué, avec une abondance marquée de *Cerneuella virgata*, *Trichia hispida* et *Teba pisana*. Ce groupe semble préférentiel des sols pollués et tolérant aux conditions de ce milieu avec un pH basique (8,3) et bien pourvu en MO. Ces derniers sont des bio-indicateurs de pollution organique et surtout les métaux lourds (Cd) (PESSON, 1971 ; DEPRINCE, 2003 ; GOBAT, *et al.*, 2003).

A ce niveau, nous avons détecté *Chironomus sp* comme espèce vivant et résistant aux produits toxiques (BUR, 2008).

L'analyse de la variance pour le nombre d'individus et la richesse spécifique de ce site d'étude par les facteurs pollution et profondeur (niveau 1, niveau 2, niveau 3) est non significative suite à la pollution des deux sols que ça soit le sol témoin ou pollué à cause de l'utilisation du rejet industriel pour l'arrosage des agrumes du site témoin, qui est confirmé par l'analyse chimique des métaux lourds.

L'indice de Shannon est plus important dans le sol témoin ainsi que l'Equitabilité qui atteint une valeur maximale de 0,92 ce qui signifie que les espèces sont réparties équitablement.

Les résultats des analyses biologiques montrent une nette dégradation du secteur de ces stations (EI. et ENIEM.) surtout dans le sol pollué, ce qui est bien confirmé par les analyses pédologiques, chimiques (concernant les métaux lourds) et statistiques (ANOVA, ACP et AFC) malgré que l'EI. assure le traitement de ses rejet, et le cas est contraire à l'ENIEM.

CONCLUSION

Conclusion

Le présent travail sur l'impact de la pollution industrielle générée par l'EI. d'Azazga et l'ENIEM. d'Oued Aissi sur la faune du sol a pour objectif la définition de l'impact des polluants du rejet industriel de ces deux entreprises sur la pédofaune.

L'analyse pédologique de l'EI. a révélée que le sol témoin est de texture limono-argileuse avec un pH alcalin, faiblement calcaire et bien pourvu en matière organique. Par contre, le sol pollué est de texture limoneuse, à pH neutre, salé, moyennement calcaire et très bien pourvu en matière organique, ce qui explique sa couleur noire. Pour le sol de l'ENIEM., l'analyse a révélée que c'est un sol limoneux aussi bien pour le témoin (champs d'agrumes) que le pollué, faiblement salés, bien pourvus en matière organique, avec un pH alcalin et modérément calcaires.

L'analyse chimique des métaux lourds effectués sur ces sols nous a permis de constater une différence significative entre le sol témoin et le sol pollué au niveau de l'EI où la teneur en métaux lourds est élevée dans le pollué à cause du rejet industriel. Contrairement à l'ENIEM, qui ne montre aucune différence significative entre le sol témoin et le sol pollué suite à l'utilisation du rejet final de cette usine, qui est riche en métaux, par les agriculteurs de la région afin d'arroser leurs champs d'agrumes depuis des générations selon le témoignage des propriétaires.

Notre étude nous a permis de recenser sept groupes faunistiques (Insectes, Collemboles, Arachnides, Gastéropodes, Myriapodes, Crustacés et Annélides) répartis en 60 familles et 108 espèces. D'après les résultats obtenus, la faune préexistante sur ces sols touchés par les effluents liquides de ces usines, semble être affectée dans sa structure, sa diversité ainsi que sa richesse spécifique.

Par comparaison du sol pollué au sol témoin à l'EI. le deuxième montre un effectif de 767 individus appartenant à 79 espèces, qui est moins important par rapport au premier qui présente 1544 individus appartenant 79 espèces. Cela serait dû à la grande richesse du rejet industriel de l'EI en MO. C'est aussi le cas de l'ENIEM. où le sol pollué montre une diversité et une abondance moins importantes (399 individus pour 79 espèces) par rapport au sol témoin (948 individus pour 79 espèces). Dans ces deux stations il est à signaler la dominance des Gastéropodes dans le sol pollué, ce qui

Conclusion

les classent comme des bio-indicateurs de pollution organique et surtout des métaux lourds.

Cette recherche nous a permis de mettre en évidence l'effet toxique du rejet industriel sur la pédofaune vu son importance dans l'écosystème sol. Cette pollution n'est que la conséquence inévitable du train du développement de la société dans tous ses aspects, technologique et même social sur l'écologie locale ; et ainsi instaurer des processus pour éviter leur inflation et limiter de fâcheuses conséquences sur la biocénose et le biotope.

A ce niveau, il est souhaitable que ces deux potentialités industrielles cessent d'empoisonner l'environnement en tenant compte de leurs rejets par amélioration des processus de traitement de toutes sortes de déchets (solides, liquides et gazeux) surtout la rénovation des canalisations qui n'ont jamais été renouvelées depuis leur installation et la possession d'un incinérateur.

Ces résultats obtenus durant cette étude ouvrent de nouvelles portes pour une recherche et un suivi plus détaillé du devenir de ces métaux lourds dans l'organisme des espèces de la faune et dans le fruit des champs d'agrumes tout en comparant à un ou plusieurs sites témoins.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

1. ALVAREZ G., CHAUSSOD R., CLUSEAU D., GODDEN B., LEMARIE CH., METZGER L., NICOLARDOT B., PARAT J., ET SALDUCCI X., 2002. *Activité biologique et fertilité des sols : Intérêts et limites des méthodes analytiques disponibles.* Edition ITAB, Paris, 27p.
2. AMRI C., 2006. *Les collemboles de quelques habitats et biotopes de l'est algérien- Inventaire et dynamique saisonnière,* Mémoire de Magister 108p, Université de Constantine.
3. *Audit environnementale de l'Electro-Industries,* 2007. Centre d'Etude et de Gestion de Projets, 6 Bd Saïd Hamdine, Hydra, Alger.
4. *Audit environnementale de l'ENIEM,* 2008. Centre Horizon bleu, société d'étude et de réalisation, cité les Orangers, 17 Résidences Roxanne Rouïba.
5. BACHELIER G., 1963. *La vie animale dans le sol ;* Edition O.R.S.T.O.M. 278p.
6. BACHELIER G., 1978. *La faune des sols ; son écologie et son action.* Edition O.R.S.T.O.M. 391p.
7. BACHELIER G., 1979. *La faune des sols ; son écologie et son action.* Edition O.R.S.T.O.M. 391p.
8. BAGNOULS F., GAUSSEN H., 1957. *Les climats biologiques et leurs classifications.* *Ann. Geogr.*, 66(355), pp 193-220.
9. BEAUMONT A. et CASSIER P., 2000. *Biologie animale des Protozoaires aux Métazoaires épithélioneuriens,* Edition DUNOD Université, France, 954p.
10. BLONDEL J., 1969. *Synécologie des passereaux résidents et migrateurs dans le midi méditerranéen français.* Thèse de doctorat. Sc. C.R.D.P. Marseille, 240p.
11. BOUCHE MB., 1972. *Lombriciens de France : Ecologie et systématique,* Institut National de la Recherche scientifique, Edition, 671p.
12. BOURNAUD M. ET TACHET H., 1974. *Introduction à l'étude des macro-invertébrés des cours d'eau (Détermination et écologie).* 92p.
13. BUGGE CH., 1976. *La pollution industrielle, problèmes juridiques et administratifs.* Edition P.U.F., 257p.

Références Bibliographiques

14. BUR T., 2008. Impact anthropique sur les éléments traces métalliques dans les sols agricoles de Midi-Pyrénées. implications en termes de limites et de charges critiques, Thèse de doctorat, INPT de Toulouse, 399 p.
15. CALVET R., 2003. Le sol : Propriétés et fonctions, Tome 2 : Phénomènes physiques et chimiques applications agronomiques et environnement. Edition France Agricul.
16. CHAUSSOD R., 1996. La qualité biologique des sols : Evaluation-Implication, Edition I.N.R.A, pp261-264.
17. COINEAU Y., 1974. Introduction à l'étude des microarthropodes du sol et de ses annexes, Document pour l'enseignement pratique de l'écologie, DOIN, Paris, 117p.
18. DAJOZ R., 1983. Dynamique des populations. Edition Dunod, pp 134-155.
19. DAVET P., 1996. La vie microbienne du sol et production végétale, Edition I.N.R.A, 383p.
20. DEHARVENG L., 1981. Morphologie évolutive de Collemboles Neanuridae, en particulier de la lignée Néanurienne. Trav. Lab. Ecobiol. Arthr. Edaph. Toulouse 4 (2).
21. DEPRINCE A., 2003. La faune du sol, diversité, méthodes d'étude, fonctions et perspectives- Le courrier de l'environnement de l'INRA n° 49, pp 123-138, En ligne à www.inra.fr/deprinc49.htm DI CASTRI 1981.
22. DUCHAUFOR PH., 1994. Pédologie, sol, végétation, environnement, Edition Masson, 289p.
23. FAURIE C., FERRA C., MEDORI P., DEVAUX X.J., HEMPTINNE J.L., 2003. Ecologie, approche scientifique et pratique, 5^{eme} édition, Lavoisier Tec & Doc, Londres-Paris-New York, 407p.
24. FREYSSINEL G., 2007. Etude de la diversité de la pédofaune dans les systèmes agro forestiers, programme CASDAR Agroforesterie 2006-2008, Recherche et développement de la France, 46p.
25. GEOFFROY J.J., 2000. Clé des principaux groupes d'invertébrés terrestres, CNRS, Muséum National d'Histoire Naturelle- IEGB, Laboratoire d'Ecologie générale, Centre International de Myriapodologie.
26. GIRARD JM., WALTER C., REMY JC., BERTHELIN J. ET MOREL JL., 2005. Sols et environnement, Edition Campus DUNOD, Paris, 816p.

Références Bibliographiques

27. GOBAT J. M, ARAGNO M. ET MATTY W., 2003. Bases de pédologie ; Biologie des sols : le sol vivant. 2^{ème} Edition PPUR Edition Lausanne. 569 p.
28. GOBAT J. M, ARAGNO M. ET MATTY W., 2010. Le sol vivant. 3^{ème} Edition. Revue et augmenté. pp 150-165.
29. GRASSE PP. ET DOUMENC D., 2000. Zoologie, Invertébrés, Edition Masson, 296p.
30. GREEN RE., CORNELL SJ., SCHARLEMAN JPW., BALMFORD A., 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science*, **307**(5709): pp 550-555.
31. KOLLER E., 2004. Traitement des pollutions industrielles : Eau, air, déchets, sols, boues, Edition DUNOD, Paris, pp 424.
32. LANDRIN G., 2001. Les termites de France continentale, France, 2p.
33. LANDRIN G., 2005. Les termites comment s'en prévenir ?, 2p.
34. LANDRIN G., 2007. Les termites de France continentale, France, 2p.
35. LAVELLE P., 2001. *Soil ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-Londres, 654p.
36. LAVELLE P., 2003. Diversité de la faune du sol et contrôle des ennemis des cultures, Edition Académie des sciences.
37. LEGUAY J.P., 2007. La pollution industrielle au moyen âge. 5^{ème} édition, Gisserot, pp14.
38. LOISELLE R., 2002. Démythifions les acariens. Bulletin de l'entomofaune N°21, Centre de données sur la biodiversité du Québec, pp 12-22.
39. LOZET J. ET MATHIEU C., 1997. Dictionnaire des sciences du sol, Lavoisier Tec & Doc, Londres-Paris-New York, 488p.
40. LUBBOCK J., 1873. Monograph of the Collembola and Thysanura. Ray Society. London. 1-276.
41. MATILE L., 1993. Diptères d'Europe occidentale, tome I, Edition Boubée, Paris, 439p.
42. MESROUK A., 1984. Caractérisation et genèse des sols de la région de Tizi-Ouzou, Grande Kabylie, Algérie. Thèse de doctorat, 173p.
43. MOINEAU Y., 1974. Introduction à l'étude des microarthropodes du sol et de ses annexes, Edition DOIN, Paris, 117p.

Références Bibliographiques

44. MORIN R., 2002. Exploitation et élevage des vers de terre pour le marché des appâts vivants, Edition Direction de l'innovation et de technologies, Québec, 11p.
45. NICOLAS J., 1997. Echantillonnage, Environnement, CEBEDOC Editeur, STAVELOT, Belgique, 189p.
46. NICOLET H., 1842. Recherches pour Servir à l'Histoire des Podurelles. Nouv. Mém. Soc. Helvet. Sci. Nat., 6, p.1-88.
47. NOIROT CH., 1999. La caste des ouvrières, élément majeur du succès évolutif des termites, France, pp 473-477.
48. PESSON P., 1971. la vie dans les sols : aspects nouveau, études expérimentales. Coll. Géobiologie, écologie, aménagement, Edition Gauthier-Villars Paris, 417p.
49. PIHAN G., 1986. Les insectes, Edition Masson, 160p.
50. PONGE JF., 1993. Biocenoses of collembola in Atlantic temperate grass-land ecosystems, *Pedobiologia* 37: 1123-244.
51. RAMADE F., 1982. Elément d'écologie-Ecologie appliquée, action de l'Homme sur la biosphère, Edition MC GRAW-HILL, Paris, 422p.
52. RAMADE F., 1992. Précis d'Eco toxicologie, Edition Masson, Paris p09.
53. RAMADE F., 1993. Equitabilité in Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, Edition Science Internationale-Paris, 822p.
54. RAMADE F., 1994. Elément d'écologie-Ecologie fondamentale. Edition Science Internationale, Paris, 517p.
55. RAMADE F., 2003. Elément d'écologie-Ecologie fondamentale, Edition DUNOD, Paris, 689p.
56. RAMADE F., 2007. Introduction à l'écotoxicologue, Fondements et applications, Edition TEEC&DOC, Paris- Sud, 584p.
57. REBAH M., 2005. Les risques écologiques en Algérie, Edition A.P.I.C. Alger, 221p.
58. ROBERT P., 1996. Le sol : interface dans l'environnement, ressources pour le développement, 3^{ème} cycle de recherche, sciences l'environnement, Edition Masson, Paris, 241p.
59. SAPORTA G., 1996. L'analyse de données évolutives, méthodes et applications. Edition TEC, 223p.

Références Bibliographiques

60. SELTZER, 1946. Le climat d'Algérie, I.N.S.T. météo, physique du globe, de l'U.N.I. Alger, 219p.
61. SOLTNER D., 2005. Les bases de la production végétale-le-le climat-la plante. 21^{ème} Edition Sciences et techniques agricoles, 111p.
62. STEWART P., 1969. Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique : quelques réflexions. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 65(1/2), pp 239-252.
63. VERON G., 2002. Organisation et classification du monde animal, Edition Nathan, Paris, 145p.
64. VIALA A. et BOTTA A., 2005. Toxicologie. Edition Lavoisier, 1122p.
65. YAAKOUBI A.A., CHALAOUD M., RAHMANI M., LYACHIONT ET OULHOTE Y., 2009. Effet des margines sur la microflore du sol. Edition Agro-Solution. PP 1-9.

ANNEXES

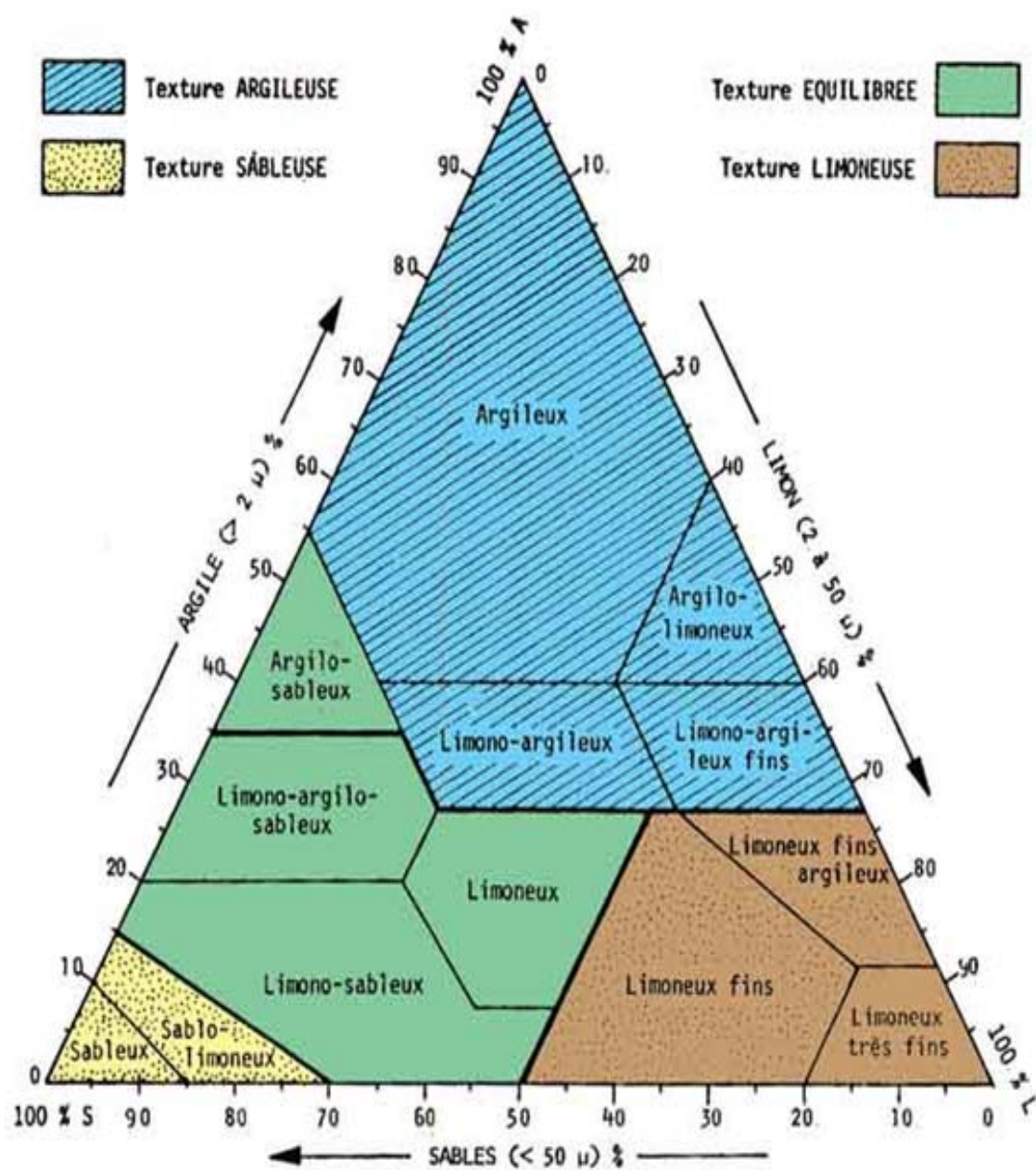


Figure 1 : Triangle des textures d'après JAMAGNE

Tableau 1 : Normes d'interprétation de la réaction du sol (pH)

<i>Valeurs du pH</i>	<i>Qualification</i>
□4,5	<i>Extrêmement acide</i>
4,6 à 5	<i>Très fortement acide</i>
5,1 à 5,5	<i>Fortement acide</i>
5,6 à 6,75	<i>Faiblement acide</i>
6,75 à 7,3	<i>Neutre</i>
7,4 à 7,8	<i>Légèrement alcalin</i>
7,9 à 8,4	<i>Moyennement alcalin</i>
8,5 à 9	<i>Fortement alcalin</i>
□9,1	<i>Très fortement alcalin</i>

Tableau 2 : Normes d'interprétation du calcaire total (Caco₃)

<i>% de Caco₃</i>	<i>Qualification</i>
5 à 12,5	<i>Faiblement calcaire</i>
12,5 à 25	<i>Modérément calcaire</i>
25 à 37,5	<i>Assez fortement calcaire</i>
37,5 à 50	<i>Fortement calcaire</i>
Plus de 50	<i>Très fortement calcaire</i>

Tableau 3 : Normes d'interprétation pour la matière organique

<i>Taux en argiles (%)</i>	<i>Taux souhaitable de MO (%)</i>
□10	3-3,5
10-15	2,5-3
15-20	2-2,5
20-25	2,5
25-30	2,5-3
30	3-3,5

Tableau 4: Normes d'interprétation du calcaire actif

<i>% de Caco₃ actif</i>	<i>Qualification</i>
□8	<i>Pas d'effet de blocage des éléments nutritifs</i>
8-12	<i>Effet chlorosant</i>
□15	<i>Effet très chlorosant</i>

1. CLE DES PRINCIPAUX GROUPES D'INVERTEBRES TERRESTRES :

1- Présence de pattes articulées. Corps partiellement ou totalement recouvert d'une cuticule sclérifiée.**2**

* Pas de pattes articulées ou nombreux appendices locomoteurs non articulés mais annelés. Corps mou. **9**

2- Trois paires de pattes visibles; ou deux paires de pattes visibles et des ailes de couleur brillante. Une paire d'antennes. Corps présentant habituellement trois régions distinctes : la tête, le thorax et l'abdomen..... **HEXAPODA (= INSECTES)**

* Trois paires de pattes. Corps de forme très variable et à segmentation distincte. Des antennes. **LARVES D'INSECTES** ou **INSECTES "APTERYGOTES"**

* Trois paires de pattes. Corps court et non segmenté. Pas d'ailes, pas d'antennes. **LARVES D'ACARIENS**

* Plus de trois paires de pattes (rarement, deux paires). Pas d'ailes. Corps en une ou deux régions distinctes. **3**

3- Quatre paires de pattes (rarement, deux paires), ou apparence de cinq paires de pattes. Une paire de chélicères (Ch.). Une paire de pédipalpes (Pm). Pas d'antennes. Corps habituellement arrondi ou ovale comportant deux parties : le céphalothorax (= PROSOME) et l'abdomen (= OPISTHOSOME). ... **ARACHNIDA (= ARACHNIDES** : seuls sont représentés ici les cinq ordres principaux d'Arachnides d'Europe. Pour une identification de tous les ordres d'Arachnides, se reporter à une clé des arachnides) **4**

* Plus de cinq paires de pattes. Une (ou deux) paires d'antennes. Corps habituellement allongé, parfois ovale. **7**

- 4-** Partie postérieure (Abdomen ou opisthosome) à segmentation apparente. **5**
- * Partie postérieure non segmentée. **6**
- 5-** Pédipalpes (Pm) grands terminés par une pince. Corps ovoïde en un seul tenant. Opisthosome (Abdomen) à segmentation visible. Taille en général petite (1 à 8mm) **PSEUDOSCORPIONIDA** (= PSEUDOSCORPIONS)
- * Pédipalpes (Pm) très grands terminés par une pince forte et large. Corps de forme ovale, allongé. Abdomen fortement segmenté prolongé par un post-abdomen ("queue") lui-même nettement segmenté et terminé par un crochet lié à une glande à venin..... **SCORPIONIDA** (= SCORPIONS)
- * Corps globuleux apparemment en une seule partie. Abdomen à segmentation visible. Pédipalpes parfois longs et ressemblant à des pattes courtes. Pattes très longues et grêles, souvent fragiles..... **OPILIONES** (= OPILIONS = "fauchoux")
- 6-** Corps en deux régions très nettement séparées par un pédoncule. Toujours quatre paires de pattes apparentes et des pédipalpes plus courts, deux ou trois paires de filières à l'extrémité de l'abdomen. **ARANEAE** (= ARAIGNEES)
- * Corps en une seule région apparente : globuleux, ou légèrement allongé, avec quatre paires de pattes; parfois allongé en forme de "saucisse" avec deux paires de pattes visibles..... **ACARI** (= ACARIENS)
- 7-** Corps de forme ovale plus ou moins aplati dorso-ventralement. Pas plus de trois fois plus long que large. Ventralement, sept paires de pattes locomotrices suivies de paires de "pattes" foliacées, réduites à de petites plaques. Dorsalement, deux régions: de grands anneaux de même largeur sont brutalement suivis d'anneaux plus étroits qui se réduisent jusqu'à l'extrémité postérieure terminée par des UROPODES (Ur). Se roulent parfois en boule..... **CRUSTACEA ISOPODA** (= ISOPODES = "CLOPORTES")
- * Corps le plus souvent très allongé. Nombreuses paires de pattes locomotrices, toutes d'apparence semblable. Pas de réduction brutale des anneaux dans la région postérieure. Une paire d'antennes. **"MYRIAPODA"** (= MYRIAPODES = "MILLE-PATTES".) **8**

* Corps le plus souvent très allongé. Nombreuses paires d'appendices locomoteurs annelés, tous d'apparence semblable. Pas de réduction brutale des anneaux dans la région postérieure. Une paire d'antennes annelées. **16**

8- Neuf paires de pattes locomotrices et six plaques dorsales. Antennes très délicates et trifurquées (deux puis trois branches). Très petit animaux blanchâtres de la mésofaune du sol. 1 à 5 mm..... **PAUROPODA** (= PAUROPODES)

* Sept à douze paires de pattes. Plaques dorsales plus nombreuses que les pattes. Des filières à l'extrémité postérieure (Fi). Animaux de la faune du sol, blanchâtres, petits (2 à 10 mm) et très mobiles..... **SYMPHYLA** (= SYMPHYLES)

* Corps allongé ou très allongé, aplati dorso-ventralement. Une paire de pattes par anneau. Une paire de volumineux crochets à venin sous la tête: les FORCIPULES..... **CHILOPODA** (= CHILOPODES = "CENT-PATTES".)

* Corps cylindrique ou hémicylindrique, parfois aplati et caréné dorsalement. Segments du corps rassemblés par deux en un anneau (= DIPLOSEGMENT). Deux paires de pattes locomotrices par anneau. Nombre d'anneaux et de pattes le plus souvent élevé. **DIPLOPODA** (= DIPLOPODES = "MILLE-PATTES".)

9- Corps présentant une segmentation nettement visible..... **10**

* Corps non visiblement segmenté. **12**

10- Corps allongé terminé en pointe aux deux extrémités et composé de nombreux segments en forme d'anneaux. **ANNELIDA OLIGOCHAETA** (= OLIGOCHETES)..... **11**

* Corps allongé et annelé possédant une ventouse à chaque extrémité. Plus de 14 anneaux Vit dans l'eau ou près de l'eau..... **ANNELIDA HIRUDINAE** (= "Sangsues")

* Corps segmenté présentant moins de 14 anneaux visibles. Capsule céphalique parfois sclérifiée. Prolongements parfois présents à l'extrémité du corps..... **LARVES APODES D'INSECTES**

* Corps allongé et d'apparences multiannelées possédant à l'extrémité antérieure une paire d'antennes annelées. **16**

11- Corps blanc ou rose pâle, généralement moins de 25 mm. Soies latérales implantées: vu de dessus, la bordure des segments forme une pointe sur laquelle est implantée la soie latérale **ENCHYTRAEIDAE** (Enchytraeides)

* Corps pigmenté. Plus de 25 mm. Rétractile. Soies latérales implantées vu de dessus, la bordure des segments forment un bourrelet arrondi sur lequel est implantée la soie latérale. **LUMBRICIDAE** ("Vers de terre")

12- Corps caché par une coque plate en écaille ou en forme de dôme. Animaux sédentaires fixés sur les rameaux ou sous les feuilles..... **HOMOPTERA**

* Corps réduit en forme de kyste ou de sphère. Sur le sol ou dans le sol. **13**

* Corps allongé plus ou moins rétractile **14**

13- Kyste de plus de 1.5 mm, brun-doré..... **COCONS DE VERS DE TERRE**

* Kyste de moins de 1.5 mm, en forme de citron **NEMATODA**

* Transparent, ambré ou brun-translucide. Ovale ou sphérique. Plus de 1.5 mm. En amas, en chapelets ou isolés.....**OEUFS D'INVERTEBRES**..... (**Limaces, escargots, mille-pattes,...**)

14- Blanc, fin et cylindrique, lisse. Souvent moins de 1 mm ou bien au contraire long de 40 à 200 mm.....**NEMATODA** (= NEMATODES)

* Brun-clair ou noir. Corps très long, jusqu'à 30 cm. Ressemble à un crin de cheval. Dans les milieux humides..... **NEMATOMORPHA** (= GORDIACÉS)

* Deux paires de tentacules rétractiles en avant de la tête. Corps gluant recouvert d'un mucus abondant.....**MOLLUSCA GASTROPODA** (= GASTEROPODES)**15**

15- Possède une coquille externe développée bien visible.....**ESCARGOTS**

* Pas de coquille externe ou une coquille très réduite..... **LIMACES**

16- Corps grumeleux, vermiforme, mou et d'apparences multi-annelées, de coloration variée. Une paire d'appendices annelés en avant de la tête ("antennes"). De nombreuses paires d'appendices locomoteurs annelés le long du corps (= lobopodes, = oncopodes)
..... **ONYCHOPHORA** (= ONYCHOPHORES, = PERIPATES)

* Autres caractères que ceux mentionnés ci-dessus.....**AUTRE GROUPE**
(GEOFFROY, 2000)

2. CLÉ DE DÉTERMINATION ET CLASSIFICATION DES ANIMAUX DU SOL :

3. CLE DES CLASSES DE MYRIAPODES :

1- Taille moyenne ou grande : plus de 10 mm. Tégument le plus souvent dur..... **2**

* Taille réduite : moins de 10 mm. Tégument parfois mou. **3**

2- Pattes apparemment groupées par deux : 2 paires de pattes par anneau ; insérées ventralement, en dessous de l'animal. 1ère paire de pattes non modifiée ou parfois transformée en crochets beaucoup plus petit que les pattes marcheuses. Corps rarement très aplati. Se roule en boule ou en spirale.....**DIPLOPODA**

* Pattes non visiblement groupées par deux : 1 paire de pattes par anneau ; insérées latéralement, sur les côtes de l'animal. 1ère paire d'appendices modifiée en crochets à venin volumineux et aigus (Forcipules), nettement plus larges que les pattes marcheuses. Corps plus ou moins allongé, le plus souvent aplati dorso ventralement..... **CHILOPODA**

3- Nombreuses soies ("poils") épaisses, regroupées en bouquets et en faisceaux sur les côtés et en arrière de l'animal. Moins de 5 mm. Ne se roule pas en boule.....
DIPLOPODA PENICILLATA (=Penicillates) **POLYXENIDA**

* Soies présentes ou absentes, mais jamais regroupées en bouquets ou en faisceaux..... **4**

4- Antennes délicates et triramées, divisées en trois fouets par deux divisions successives. Neuf à onze paires de pattes locomotrices et six (- exceptionnellement 19 -) plaques dorsales au maximum. Chaque plaque porte une paire de longues soies (trichobothries). Petits animaux blanchâtres de la faune du sol : souvent moins de 2 mm (1 à 5 mm).....**PAUROPODA**

* Antennes simples, en une seule branche ; généralement filiformes, rarement en massue. Plus de 2 mm. Plus de six plaques dorsales..... **5**

5- Une paire d'appendices postérieurs, parfois courts et épais, non articulés (filières). Sept à douze paires de pattes ambulatoires. Plaques dorsales (= Tergites) plus nombreuses que

les pattes. Petits animaux de la faune du sol, blanchâtres et très mobiles (2 à 10 mm)

..... *SYMPHYLA* 6

* Appendices postérieurs absents ou nettement articulés. De trois paires à plus de douze paires de pattes. (Formes larvaires). 2

6- Tergites aussi larges que le tronc, à bords postérieurs arrondis.....*SYMPHYLA SCUTIGERELLIDAE*

* Tergites plus étroits que le tronc, à bords postérieurs munis de pointes triangulaires.....*SYMPHYLA SCOLOPENDRELLIDAE*.
(GEOFFROY, 2000)

4. CLE D'IDENTIFICATION DES QUATRE ORDRES ET DES PRINCIPALES FAMILLES DE COLLEMBOLS :

Classe COLLEMBOLA Lubbock, 1862.

1- Corps globuleux, segmentation du corps non apparente. Tout au plus les segments abdominaux V et VI sont segmentés.....3

1'-Corps allongé. Segmentation du corps apparente.....2

2- Prothorax (segment thoracique I) développé et avec soies dorsales. Corps avec trois segments thoraciques et six segments abdominaux.....Ordre **PODUROMORPHA**, BÖRNER, 1913.

2'-Prothorax réduit et sans soies dorsales
.....Ordre **ENTOMOBRYOMORPHA**, BÖRNER, 1913.

3-Animaux plus petits et sans pigments. Segments abdominaux V et VI non différenciés. Sans yeux. Tenaculum sans soies. Antennes plus courtes que la tête. Abdomen sans Trichobothries dorsales.....Ordre **NEELIPLEONA**, 1 seule famille **NEELIDAE**, FOLSOM, 1896.

3'-Animaux avec ou sans pigments. Segments abdominaux V et VI différenciés. 0 à 8 cornéules de chaque côté de la tête. Abdomen avec trichobothries.....Ordre *SYMPHYPLEONA*

Ordre *PODUROMORPHA*

1- Pièces buccales broyeuses composées de maxilles et mandibules avec plaque molaire..... 2

1'- Pièces buccales modifiées; mandibules sans plaque molaire ou absente.....4

2- Corps avec pseudocelles. Au sommet du segment antennaire III où il y a un organe sensoriel composé de soies sensorielles en forme de "masse", très apparentes et protégées par des papilles. Sans yeux. Corps sans pigmentation.....**F.ONYCHIURIDAE**, BÖRNER, 1901

2'- Corps sans pseudocelles. Organe sensoriel au sommet du 3^{ème} article antennaire composé par deux soies sensorielles cylindriques. 0-8 cornéules de chaque côté de la tête. Corps avec ou sans pigmentation.....3

3- Furca large, quand elle est rabattue sur le corps, dépasse les coxas de la seconde paire de pattes. Les deux branches de la dent présentent une courbature vers l'intérieur.....**F.PODURIDAE**, LUBBOCK, 1873: *Podura*, LINNEAEUS, 1758

3'- Furca très courte, quand elle est rebattue ne dépasse pas les coxas de la 3^{ème} paire de pattes, ou absente. Les deux branches de la dent, quand elles sont présentes, sont parallèles ou divergentes.....**F. HYPOGASTRURIDAE**, Börner, 1913

4- Métathorax (3^{ème} segment thoracique) généralement avec micro sensilles latérales. Furca présente. Mucron avec lames obliques ou en forme de gant.....**F. ONDONTPELLIDAE**, DEHARVENG, 1981

4'- Métathorax sans micro sensilles latérales. Furca présente ou absente.....**F. NEANURIDAE**

Ordre *ENTOMOBRYOMORPHA*

1-Corps couvert de soies simples ou faiblement cilié.....2

1'- Corps couvert de soies très pilosées, de gros cils. Avec ou écailles ou soies en forme d'écailles.....3

2- Segment abdominal III réduit, presque invisible en vue dorsale. Segment abdominaux IV et V fusionnés. Tibiotarse avec un éperon élargi en forme de feuillet. Tête relativement grosse. Antennes insérées vers le milieu de la tête.....**F.**

ACTALETIDAE, STACH, 1955: Genre *Actaletes*, GIARD, 1889.

2'- Segment abdominal III normal, non réduit. Segments abdominaux libres ou unis IV-V et V-VI. Tibiotarses sans éperon élargi en forme de feuillet mais porte une soie avec une pointe grossie.....**F.**

ISOTOMIDAE, Börner, 1913

3- Mucron court, avec une ou deux dents, avec ou sans épine basale. Dents régulièrement annelées en son côté postérieur.....**F.**

ENTOMOBRYIDAE,

TÖMÖSVARY, 1882

3'- Mucron d'autre forme, allongé. Dents non annelée.....4

4- Segments abdominaux III et IV de même longueur.....5

4'- Segment abdominal IV beaucoup plus large que le segment abdominal III.....6

5- Mucron falciforme ou allongé et avec de nombreuses dents, avec soies chez tous les individus adultes. Si la dent porte une épine, elle est située en position basale.....**F.**

TOMOCERIDAE, BÖRNER, 1913.

5'- Mucron cylindrique et plus allongé, avec 4-7 dents, avec soies. Dents avec 2 sub-segments qui portent des soies plumeuses, épines ou écailles sur la partie postérieure, les épines sont grandes et apparentes à la partie distale.....**F.**

ONCOPODURIDAE,

DENIS, 1932; Genre: *Oncopodura*, CARL & LEBEDDINSKY, 1905.

6- Dents sans épines, avec deux rangs d'écailles ciliées. Mucron cylindrique et allongé (1/3 plus moins que la longueur de la dent), griffe et empodium avec dents aliformes.....**F.**

CYPHODERIDAE, BÖRNER, 1913; Genre: *Cyphoderus*, NICOLET, 1842

6'- Dents avec griffes ou deux rangs d'épines ciliées. Mucronde forme conique et relativement court. Griffe et empodium sans dents aliformes.....**F.**

PARONELLIDAE

BÖRNER, 1913;Genre: *TROGLOPEDETES*, ABSOLON, 1907.

Ordre SYMPHYPLEONA

1- Tenaculum avec 4 dents depuis la phase juvénile II jusqu'à l'adulte (réellement avec 3 dents et un tubercule basal).....2

1'- Tenaculum avec 3 dents depuis la phase juvénile II jusqu'à l'adulte (réellement avec 2 dents et un tubercule basal).....5

2- Femelles sans appendice anal. Mâles avec les articles antennaires II et III modifiés en un organe de fixation. Deux paires de trichobothries sur le segment abdominal V. Trichobothrie du grand abdominal A, B et C équidistants et forment un angle ouvert vers l'arrière ou vers l'avant.....**F. SMINTHURIDIDAE**, BÖRNER, 1906.

2'- Femelle avec appendice anal. Mâle avec antennes non modifiés. . Au maximum 1 paire de trichobothries sur le segment abdominal V. Trichobothries du grand abdominal A, B et C en autre disposition.....3

3- Segment antennaire IV plus court que l'IIIème. Appendice anal dirigé vers l'anus. Trichobothries du grand abdominal forme un angle vers l'arrière, d'un A naît une papille à segmentation apparente.....**F.DICYRTOMIDAE**, BÖRNER, 1906.

3'- Segment antennaire IV plus court que le III^{ème}. Appendice anal dirigé vers l'orifice génital. Trichobothries A et B respectivement, proche et éloigné du C, formant un angle ouvert vers l'avant.....4

4- 0-1 cornéules de chaque côté de la tête. Corps sans piment. Tibiotarse sans éperons. Adultes avec épines sur toutes les dents.....**F.ARRHOPALITIDAE**, STACH, 1956; Genre *Arrhopalites*, BÖRNER, 1906.

4'- 8 cornéules de chaque côté de la tête. Tibiotarse avec éperons fins et redressés. Dents sans épines.....**F. KATIANNIDAE**, BÖRNER, 1913, sensu STACH, 1956.

5- Avec vésicules interoculaires. Appendices anaux dirigés vers l'orifice génital. Trichobothries du grand abdominal A, B et C équidistants et formant un angle ouvert vers l'avant..... Genre: *Vesicephalus*

5'- Sans vésicules interoculaires. Appendices anaux dirigés vers l'orifice anal.....6

6- Segment abdominal V avec une paire de trichobothries au maximum. Trichobothries A, B et C du grand abdominal équidistants et formant un angle ouvert vers l'arrière; le B peut manquer. Les tibiotarses presque toujours sans éperons.....**F.SMINTHURIDAE**, BÖRNER, 1913.

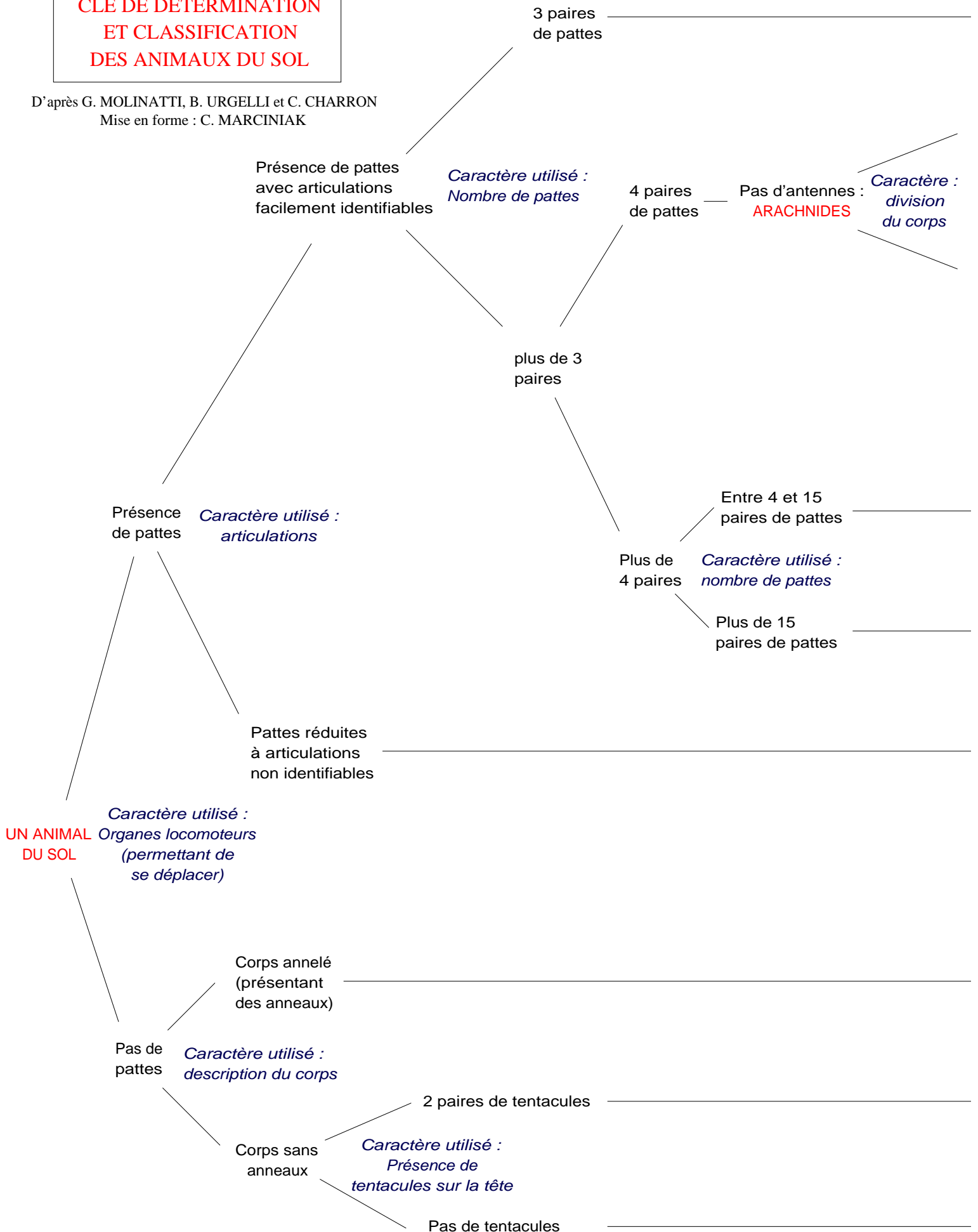
6'- Segment abdominal V avec deux paires de trichobothries. Trichobothries A, B et C du grand abdominal formant une ligne droite oblique. Tibiotarse avec 2-4 éperons appliquées sur la largeur de la griffe.....**F. BOURLETIELLIDAE** BÖRNER, 1913.

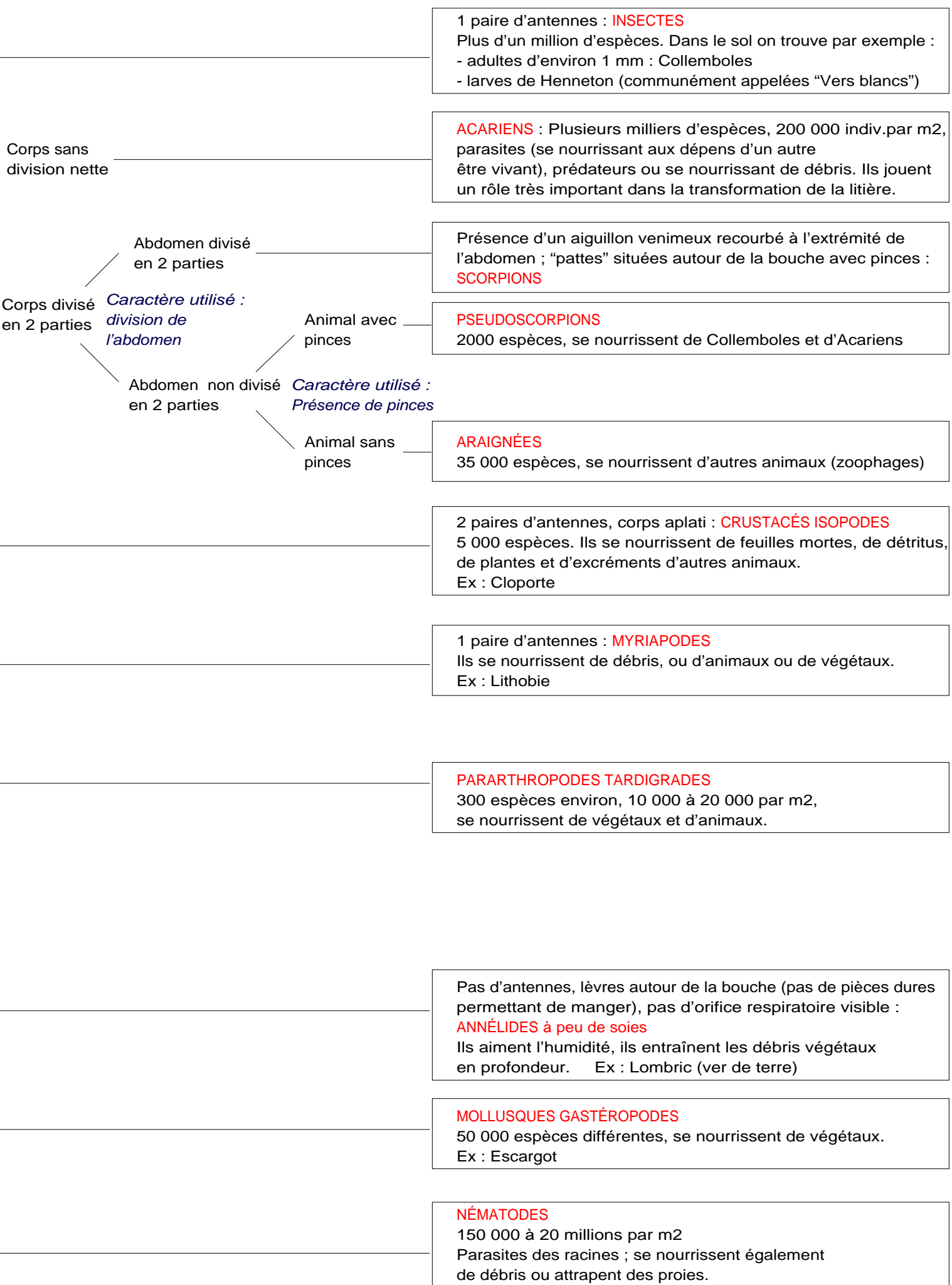
Ordre NEELIPLEONA

1- Animaux plus petits et sans pigments. Segments abdominaux V et VI non différenciés. Sans yeux. Tenaculum sans soies. Antennes plus courtes que la tête. Abdomen sans trichobothries dorsalesune seule famille ***NEELIDAE***, FOLSOM, 1896.

**CLÉ DE DÉTERMINATION
ET CLASSIFICATION
DES ANIMAUX DU SOL**

D'après G. MOLINATTI, B. URGELLI et C. CHARRON
Mise en forme : C. MARCINIAK





1 paire d'antennes : **INSECTES**

Plus d'un million d'espèces. Dans le sol on trouve par exemple :
 - adultes d'environ 1 mm : Collemboles
 - larves de Henneton (communément appelées "Vers blancs")

Corps sans division nette

ACARIENS : Plusieurs milliers d'espèces, 200 000 indiv.par m2, parasites (se nourrissant aux dépens d'un autre être vivant), prédateurs ou se nourrissant de débris. Ils jouent un rôle très important dans la transformation de la litière.

Abdomen divisé en 2 parties

Présence d'un aiguillon venimeux recourbé à l'extrémité de l'abdomen ; "pattes" situées autour de la bouche avec pinces : **SCORPIONS**

Corps divisé en 2 parties

Caractère utilisé : division de l'abdomen

Animal avec pinces

PSEUDOSCORPIONS
 2000 espèces, se nourrissent de Collemboles et d'Acariens

Abdomen non divisé en 2 parties

Caractère utilisé : Présence de pinces

Animal sans pinces

ARAIGNÉES
 35 000 espèces, se nourrissent d'autres animaux (zoophages)

2 paires d'antennes, corps aplati : **CRUSTACÉS ISOPODES**
 5 000 espèces. Ils se nourrissent de feuilles mortes, de détritus, de plantes et d'excréments d'autres animaux.
 Ex : Cloporte

1 paire d'antennes : **MYRIAPODES**
 Ils se nourrissent de débris, ou d'animaux ou de végétaux.
 Ex : Lithobie

PARARTHROPODES TARDIGRADES
 300 espèces environ, 10 000 à 20 000 par m2, se nourrissent de végétaux et d'animaux.

Pas d'antennes, lèvres autour de la bouche (pas de pièces dures permettant de manger), pas d'orifice respiratoire visible : **ANNÉLIDES à peu de soies**
 Ils aiment l'humidité, ils entraînent les débris végétaux en profondeur. Ex : Lombric (ver de terre)

MOLLUSQUES GASTÉROPODES
 50 000 espèces différentes, se nourrissent de végétaux.
 Ex : Escargot

NÉMATODES
 150 000 à 20 millions par m2
 Parasites des racines ; se nourrissent également de débris ou attrapent des proies.

Tableau 1 : Températures moyennes mensuelles pour la période 2001-2011(STATION METEOROLOGIQUE DE BOUKHALFA, 2012).

<i>Mois</i>	<i>Jan.</i>	<i>Fév.</i>	<i>Mar.</i>	<i>Avr.</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun.</i>	<i>Juil.</i>	<i>Aou.</i>	<i>Sep.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>
<i>Tm</i>	6,76	7,16	8,90	11,06	13,55	18,27	21,60	21,84	18,50	15,96	10,84	7,76
<i>TM</i>	15,29	16,35	19,68	21,89	26,13	32,10	35,82	35,61	30,90	27,64	20,20	16,42
<i>TM+Tm /2</i>	11,02	11,25	14,29	16,47	19,84	25,18	28,71	28,72	24,70	21,80	15,52	12,09

TM : moyennes mensuelles des températures maximales

Tm : moyennes mensuelles des températures minimales

(TM+Tm)/2 : Températures moyennes mensuelles

Tableau 2 : Précipitations moyennes mensuelles de la wilaya de T.O. pour la période 2001-2011 (station météorologique de Boukhalfa, 2012).

<i>Mois</i>	<i>Jan.</i>	<i>Fév.</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr.</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun.</i>	<i>Juil.</i>	<i>Aou.</i>	<i>Sep.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>
<i>Pmoy(mm)</i>	142,45	68,71	88,55	84,34	58,56	5,12	3,24	7,46	5,12	3,24	7,46	139,12

Tableau 3: Hauteurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures (2001-2011).

<i>Mois</i>	<i>Jan.</i>	<i>Fév.</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr.</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun.</i>	<i>Juil.</i>	<i>Aou.</i>	<i>Sep.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>
<i>Pmoy(mm)</i>	131,05	93,65	72,49	74,94	68,54	10,70	3,00	6,80	43,20	62,94	127,8	134,8
<i>Tmoy(°C)</i>	5,15	5,365	6,825	8,475	10,72	12,42	12,66	14,06	11,93	10,19	7,40	5,79

Tableau 8 : Totalité des espèces recensées pendant l'échantillonnage.

Groupes	Ordres	Familles	Espèces
Annélides	Oligochètes	Lumbricidae	<i>Lumbricus terrestris</i>
Arachnides	Aranéides	Dysderidae	<i>Dysdera sp.</i>
		Gnaphosidae	<i>Zelote sp.</i>
		Lycosidae	<i>Alopecosa cursor</i>
		Linyphiidae	<i>Congylidium rufipes</i>
			<i>Erigone atra</i>
			<i>Linyphia triangularis</i>
	Theridiidae	<i>Steatoda bipunctata</i>	
	Acariens	Actinédæ	<i>Trombididae sp.</i>
		Oribates	<i>Collohmanna sp.</i>
			<i>Dentachiptera sp.</i>
			<i>Liacarus sp.</i>
			<i>Nathrus sp.</i>
			<i>Oppiella nova</i>
			<i>Damaeus auritus</i>
		<i>Tectocephus velatus</i>	
	Parasitidae	<i>Pergamasus sp.</i>	
	Tetranychus	<i>Tetranychus sp.</i>	
<i>Tetranychus cynabarinus</i>			
Collemboles	Poduromorpha	Hypogastruridae	<i>Ceratophysella armata</i>
			<i>Ceratophysella sp.</i>
			<i>Hypogastrura sp.</i>
	Brachystomellidae	<i>Brachystomella parvula</i>	
		Symphypleiona	Bourletiellidae
	Sminthuridae		<i>Sminthurides aquaticus</i>
		<i>Sminthurides sp.</i>	
	Entomobryomorpha	Entomobryidae	<i>Entomobrya sp.</i>
			<i>Heteromurus major</i>
			<i>Lepidocyrtus sp.</i>
		Isotomidae	<i>Cryptopygus thermophilus</i>
			<i>Folsomia quadrioculata</i>
			<i>Isotomiella minor</i>
<i>Isotomiella sp.</i>			
<i>Isotomurus unifasciatus</i>			
<i>Isotomurus sp.</i>			
<i>Proisotoma minuta</i>			
Onychiuridae	<i>Protaphorura armata</i>		
Crustacés	Isopodes		<i>Cloporte sp.</i>
			<i>Isopode sp.</i>
			<i>Labia minor</i>
		Oniscoidae	<i>Oniscus asllus</i>

Gastéropodes	Stylommatophora	Cochlicellidae	<i>Cochlicella barbara</i>
		Hygromiidae	<i>Cernuelle virgata</i>
			<i>Helix aspersa</i>
			<i>Trichia hispida</i>
			<i>Trochia pyramidata</i>
		Helicidae	<i>Teba pisana</i>
		Limacidae	<i>Limax cinereoniger</i>
Succineidae	<i>Rumina decollata</i>		
Insectes	Coléoptères	Carabidae	<i>Acinopus megacephalus</i>
			<i>Amara sp.</i>
			<i>Elateride sp.</i>
			<i>Harpalus flavus</i>
			<i>Harpalus rufipes</i>
			<i>Harpalus sp.</i>
			<i>Carabide sp.</i>
			<i>Pisar optere trips</i>
			<i>Poecilus purpurascens</i>
		Scarabeidae	<i>Rhizotrogus sp.</i>
		Chrysomelidae	<i>Chrysomela sp.</i>
		Coccinellidae	<i>Coccinella sp.</i>
		Crambidae	<i>Pseudochoreutes sp.</i>
		Elaterides	<i>Elateride sp.</i>
	Labiduridae	<i>Nala lividipes</i>	
	Hydrophilidae	<i>sphaeridium pumilus</i>	
	Staphylinidae	<i>Ocypus olens</i>	
		<i>Ocypus sp</i>	
	Blattoptera	Blattodea	<i>Blattoptera sp.</i>
	Diptères	Cecidomiidae	<i>Cecidomyia sp.</i>
		Culicidae	<i>Culex pipiens</i>
			<i>Culiseta annulata</i>
			<i>Culiseta longiareolata</i>
		Campodeidae	<i>Campodea sp.</i>
		Dolichopodidae	<i>Medetera striata</i>
			<i>Brachycera sp.</i>
		Drosophilidae	<i>Drosophila melanogaster</i>
Japygidae		<i>Japyx sp.</i>	
Mycetophilidae		<i>Rhymosia fenestralis</i>	
Phoridae		<i>Phoridae sp.</i>	
Sciaridae		<i>Sciara sp.</i>	
Syrphidae		<i>Episyrphus balteatus</i>	
Tabanidae	<i>Chrysops relictus</i>		
Tipulidae	<i>Tipula olesucea</i>		
	<i>Tipula sp.</i>		
Lepidopteres	Lepidopterae	<i>Lepidoptere sp.</i>	

			<i>Lucindella sp.</i>
			<i>Macularia hieroglyphica</i>
	Hemiptera	Pentatomidae	<i>Aelia germari</i>
	Thysanaura		<i>Thysanoures sp.</i>
	Dermapteres	Anisolabidæ	<i>Anisolabis mauritanicus</i>
			<i>Dermaptera sp.</i>
	Hyménoptères	Formicidae	<i>Cartoglyphis bicolor</i>
			<i>Lasius niger</i>
			<i>Lasius sp.</i>
			<i>Messor structor</i>
			<i>Tapinoma simrothi</i>
			<i>Pheidol pallidula</i>
			<i>Plagiolepis berbera</i>
			Tenthredinidae
Ichneumonidae			<i>Ichneumonidae sp.</i>
Aphelinidae	<i>Aphelinidae sp.</i>		
Myriapodes	Chilopodes	Geophiles	<i>Geophilus carpophagus</i>
		Scolopendridae	<i>Scolopendridra morsitans</i>
	Diplopedes	Glomerie	<i>Glomeris marginata</i>
		Iulidae	<i>Ommatoiulus sp.</i>
		Polydesmidae	<i>Polydesmus angustus</i>
			<i>Polydesmus sp.</i>